

научно-теоретический и производственный журнал

# АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN  
SCIENCE

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

3  
2026



БЕСПЛАТНО  
скачать журнал  
и подписаться



Подпишитесь  
на наш  
Telegram канал!



## ВЕТЕРИНАРИЯ

Комплексная диагностика и терапия ламинита у спортивных лошадей в условиях ипподрома

28

## ЗООТЕХНИЯ

Влияние изотопов УДЧ металлов на физиолого-биохимические показатели цыплят-бройлеров

42

## АГРОНОМИЯ

Динамика накопления олигосахаридов в процессе созревания семян сои

82



**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»**

10.32634  
eLIBRARY.RU: да  
РИНЦ: да  
Ядро РИНЦ: да  
Перечень ВАК РФ: да  
Категория в Перечне ВАК РФ: 2  
"Белый список": да  
ЕГПНИ: да  
Уровень в ЕГПНИ: 2  
CrossRef: да  
RSCI: да  
Процентиль в рейтинге Science Index: 22  
Базы данных: AGRIS, РИНЦ, DOI, EBSCO  
DOAJ: нет  
Web of Science: нет  
Scopus: нет

## **XX Международная конференция «КОМБИКОРМА – 2026» «Производство высокотехнологичных комбикормов — ключевой фактор эффективности роста животноводства и птицеводства» 22–23 апреля 2026 г., Москва**

### **Организаторы:**

Международная промышленная академия, Союз комбикормщиков, ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности».

### **Официальная поддержка:**

Министерство сельского хозяйства РФ, Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору (Россельхознадзор), Национальный союз свиноводов, Российский птицеводческий союз, Национальный союз производителей говядины.

### **В рамках конференции:**

выставка ведущих отечественных и зарубежных фирм-производителей оборудования, кормовых добавок, премиксов и ветеринарных препаратов; деловые встречи и переговоры, мастер-класс.

### **Формат и место проведения:**

- Предусмотрено проведение конференции офлайн и онлайн.
- Международная промышленная академия.

### **В программе конференции:**

- Состояние и ориентиры отечественной комбикормовой промышленности на период до 2030 г. Приоритетные механизмы государственной поддержки производителей кормов для животноводства, птицеводства и рыбоводства;
- Кормовая база и обеспеченность ее ключевыми компонентами, в том числе альтернативными источниками белка и нетрадиционным сырьем, в существующих условиях рынка;
- Современные технологии и оборудование производства комбикормов и премиксов для животных, птицы и аквакультуры;
- Новые подходы в строительстве, модернизации и реконструкции комбикормовых предприятий;
- Ситуация на рынке кормовых добавок и премиксов. Производство аминокислот, витаминов и ферментов. Реализация проектов импортозамещения;
- Программы биобезопасности на комбикормовых предприятиях;
- Современные методы и приборы контроля качества и безопасности сырья и кормов.

### **Справки:**

**Международная промышленная академия:** <http://www.grainfood.ru>  
**Щербакова О.Е.,** [scherbakovaoe@grainfood.ru](mailto:scherbakovaoe@grainfood.ru), тел. (495) 959-71-06  
**Агеева К.М.,** [a89057777955@yandex.ru](mailto:a89057777955@yandex.ru), тел. (499) 235-48-27  
**Карцева О.П.,** [dekanat@grainfood.ru](mailto:dekanat@grainfood.ru), тел. (499) 235-95-79

© журнал «Аграрная наука»

© авторы

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



DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

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

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

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

**Шеф-редактор** Костромичева И.В.

**Научный редактор** Долгая М.Н.

**Дизайн и верстка** Антонов С.Н.

**Библиограф** Нерозник Д.С.

**Журналист** Седова Ю.Г.

**Менеджер по работе с клиентами** Теплова А.С.

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

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

**Тел. редакции** +7 (916) 616-05-31

[agrovetpress@inbox.ru](mailto:agrovetpress@inbox.ru)

[www.vetpress.ru](http://www.vetpress.ru)

<https://agrarayanauka.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](mailto:agrovetpress@inbox.ru);

в агентстве подписки ООО «Урал-Пресс Округ» —

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

Бесплатная подписка на электронную версию —

<https://agrarayanauka.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](http://www.elibrary.ru)

Свободная цена.

Тираж 2000 экз.

Подписано в печать 12.03.2026

Дата выхода в свет 19.03.2026

Отпечатано в типографии

ООО «Поли Принт Сервис», 127015,

г. Москва, ул. Бутырская, д. 86

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

## Издатель:

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

## Главный редактор

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

## Заместитель главного редактора:

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

## Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## АГРОНОМИЯ

### РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

### ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

### РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

### ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

# 3 · 2026

Agrarnaya nauka

Том 404, номер 3, 2026

Volume 404, number 3, 2026

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© journal «Agrarian science»

© authors

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



DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

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

Founder: Limited liability company "VIC Animal Health"

Senior editor Kostromicheva I.V.

Executive editor Dolgaya M.N.

Design and layout Antonov S.N.

Bibliographer Neroznik D.S.

Journalist Sedova Yu.G.

Account Manager Teplova A.S.

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

Postal address: 109147, Russian Federation, Moscow, 3 Marxistskaya st., 2 building

Editorial phone +7 (916) 616-05-31

agrovetpress@inbox.ru

Websites: [www.vetpress.ru](http://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](http://www.elibrary.ru)

The circulation of 2000 copies.

Signed in print 12.03.2026

Release date 19.03.2026

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

# АГРАРНАЯ АGRARIAN НАУКА SCIENCE

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

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

## Publisher:

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

## EDITOR-IN-CHIEF

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

## Deputy Editor-in-Chief

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

## THE EDITORIAL BOARD

### ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

#### EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Both Russian and foreign authors are invited to publication.

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

# 16+

### AGRONOMY

#### EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

#### MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

#### EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

#### EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

#### MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОТ РЕДАКТОРА

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

### ВЕТЕРИНАРИЯ

Лящук Ю.О., Романов К.И., Иванищев К.А., Павкин Д.Ю., Самарин Г.Н. Анализ подходов к диагностике и лечению рака молочной железы у животных .....	18
Андреева А.В., Шарипов А.Р., Галиева Ч.Р. Комплексная диагностика и терапия ламинита у спортивных лошадей в условиях ипподрома .....	28
Камалетдинова А.В., Калашников В.А., Бодрякова Н.П., Калашников М.В. Разработка и валидация метода количественного определения <i>Salmonella spp.</i> в мясе птицы с использованием комбинации метода наиболее вероятного числа и полимеразной цепной реакции .....	34

### ЗООТЕХНИЯ

Кван О.В., Гречкина В.В., Шейда Е.В., Вершинина И.А. Влияние изотопов УДЧ металлов на физиолого-биохимические показатели цыплят-бройлеров .....	42
Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Характеристика коров голштинской породы по продуктивным качествам в зависимости от возраста .....	50
Ефимова Л.В., Зазнобина Т.В. Содержание соматических клеток в молоке коров голштинской породы в разные сезоны года .....	58
Абилов А.И., Комбарова Н.А., Турбина В.В. Повышение результативности искусственного осеменения у высокопродуктивных коров с иммунологическим бесплодием .....	65

### АГРОНОМИЯ

Тиранова Л.В., Григорьев А.В. Эффективность микробиологических удобрений серии «Арксойл» на посевах вико-овсяной смеси в условиях Новгородской области .....	75
Загуменная Г.В., Кодирова Г.А. Динамика накопления олигосахаридов в процессе созревания семян сои .....	82
Дубовик Е.В., Дубовик Д.В., Мясоедов Ю.М., Дураков П.П. Биологическая активность чернозема типичного при различных технологиях возделывания сои .....	89
Аксенов И.В., Седова И.Б., Чалый З.А., Спиридонова А.Л., Компаинцева Д.М., Иванова У.В., Захарова Л.П., Тутельян В.А. Контаминация микотоксинами отечественного зерна ячменя (результаты скрининговых исследований урожая 2024 г.) .....	95

### АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Бабурина М.И. Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (Обзор, часть 2-я).....	101
Фаткуллин Р.И., Калинина И.В., Науменко Н.В., Одинцов Г.К., Ханнанова С.А., Фаткуллина Н.И. Оптимизация микробного синтеза витамина $B_{12}$ пропионовокислыми бактериями <i>Propionibacterium</i> .....	115
Галушко А.О., Живагина В.А., Петров М.О., Зинина О.В., Ребезов М.Б. Исследование биоразлагаемых основ для косметических масок. ....	123

## CONTENTS

### EDITOR'S COLUMN

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

### VETERINARY MEDICINE

<i>Lyashchuk Yu.O., Romanov K.I., Ivanishchev K.A., Pavkin D. Yu., Samarin G.N.</i> Analysis of approaches to the diagnosis and treatment of mammary cancer in animals .....	18
<i>Andreeva A.V., Sharipov A.R., Galieva Ch.R.</i> Comprehensive diagnosis and therapy of laminitis in sports horses at a racetrack .....	28
<i>Kamaletdinova A.V., Kalashnikov V.A., Bodryakova N.P., Kalashnikov M.V.</i> Development and validation of a method for the quantification of <i>Salmonella spp.</i> in poultry meat using a combination of the most probable number and polymerase chain reaction .....	34

### ZOOTECHNICS

<i>Kvan O.V., Grechkina V.V., Sheida E.V., Vershinina I.A.</i> The influence of ultra-fine metal isotopes on the physiological and biochemical parameters of broiler chickens .....	42
<i>Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu.</i> Characteristics of Holstein cows by productive qualities depending on age .....	50
<i>Efimova L.V., Zaznobina T.V.</i> Somatic cell counts in Holstein cows' milk in different seasons of the year .....	58
<i>Abilov A.I., Kombarova N.A., Turbina V.V.</i> Improving the efficiency of artificial insemination in high-yielding cows with immunological infertility .....	65

### AGRONOMY

<i>Tyranova L.V., Grigoriev A.V.</i> Efficiency of the "Arksoil" series microbiological fertilizers on vetch-oat mixture crops in the conditions of the Novgorod region.....	75
<i>Zagumennaya G.V., Kodirova G.A.</i> Oligosaccharide accumulation dynamics during the ripening of soybean seeds .....	82
<i>Dubovik E.V., Dubovik D.V., Myasoedov Y.M., Durakov P.P.</i> Biological activity of typical chernozem under Different Cultivation Technologies.....	89
<i>Aksenov I.V., Sedova I.B., Chalyy Z.A., Spiridonova A.L., Kompaintseva D.M., Ivanova U.V., Zakharova L.P., Tutelyan V.A.</i> Mycotoxin contamination of domestic barley grain (results of screening studies of the 2024 harvest) .....	95

### AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Baburina M.I.</i> The Role of Factors Affecting the Formation of Taste and Aroma of Meat Products (Review, Part 2) .....	101
<i>Fatkullin R.I., Kalinina I.V., Naumenko N.V., Odintsov G.K., Khannanova S.A., Fatkullina N.I.</i> Optimization of microbial synthesis of vitamin B <sub>12</sub> by <i>Propionibacterium</i> .....	115
<i>Galushko A.O., Zhivagina V.A., Petrov M.O., Zinina O.V., Rebezov M.B.</i> Study of biodegradable bases for cosmetic masks.....	123

УДК: 002.63

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-8-17

**М.Б. Ребезов**<sup>1,2</sup>

**Б.В. Виолин**<sup>3</sup> ✉

**Я.М. Ребезов**<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.П. Коваленко Российской академии наук», Москва, Россия

<sup>4</sup>Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Новгород, Россия

✉ [agrovetpress@inbox.ru](mailto:agrovetpress@inbox.ru)

Поступила в редакцию: 20.11.2025

Одобрена после рецензирования: 11.01.2026

Принята к публикации: 26.01.2026

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

Short communications



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-8-17

**Maksim B. Rebezov**<sup>1,2</sup>

**Boris V. Violin**<sup>3</sup> ✉

**Yaroslav M. Rebezov**<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology — a branch of the Federal Scientific Centre VIEV, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

✉ [agrovetpress@inbox.ru](mailto:agrovetpress@inbox.ru)

Received by the editorial office: 20.11.2025

Accepted in revised: 11.01.2026

Accepted for publication: 26.01.2026

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

## Публикационная активность в инфографике (часть 8-я): сравнительный анализ за двухлетний период (2023 г. и 2024 г.)

### РЕЗЮМЕ

В продолжение цикла исследований, посвященных анализу публикационной активности журнала «Аграрная наука», представлены результаты сравнительного анализа данных за двухлетний период (2023–2024 гг.).

Исследование выполнено на основе статистических данных научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU. Проанализированы ключевые показатели, характеризующие авторский коллектив: средний индекс Хирша, средний возраст авторов, число уникальных и новых авторов.

Проведено сравнительное ранжирование журнала «Аграрная наука» в референтной группе «Сельское и лесное хозяйство», а также оценено его положение среди различных групп журналов (ядро РИНЦ, RSCI, «Белый список», Перечень ВАК). Детально изучены показатели соавторства и представлены рейтинги топ-10 авторов по различным наукометрическим критериям.

На основе полученных данных обоснована стратегическая необходимость целенаправленного привлечения научно-педагогических сотрудников высшей квалификации для публикации в журнале. Это определено как ключевой фактор для дальнейшего повышения научного уровня публикаций, укрепления репутации издания и улучшения его библиометрических показателей.

**Ключевые слова:** публикационная активность журнала, научные издания, научные публикации, статистический анализ

**Для цитирования:** Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М. Публикационная активность в инфографике (часть 8-я): сравнительный анализ за двухлетний период (2023 г. и 2024 г.). *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 8–17.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-8-17>

## Publication Activity in Infographics (Part 8): A Comparative Analysis of a Two-Year Period (2023 and 2024)

### ABSTRACT

Continuing a series of studies on the analysis of the publication activity of the “Agrarian Science” journal, this paper presents the results of a comparative analysis of data over a two-year period (2023–2024). The study was conducted using statistical data from the scientific electronic library eLIBRARY.RU. Key metrics characterizing the authors were analyzed: the average Hirsch index, the average age of authors, and the number of unique and new authors.

A comparative ranking of the “Agrarian Science” journal within the reference group “Agriculture and Forestry” was performed, and its position among various journal groups (the Russian Science Citation Index core, RSCI, White List, and the list of the Higher Attestation Commission) was assessed. Co-authorship indicators were examined in detail, and top-10 author rankings based on various scientometric criteria are presented.

Based on the findings, the strategic necessity of targeted involvement of highly qualified research and teaching staff for publishing in the journal is substantiated. This is identified as a key factor for further enhancing the scientific level of publications, strengthening the journal’s reputation, and improving its bibliometric indicators.

**Key words:** publication activity of the journal, editorial policy, scientific publications, scientific publications, statistical analysis

**For citation:** Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M. Publication Activity in Infographics (Part 8): A Comparative Analysis of a Two-Year Period (2023 and 2024). *Agrarian science*. 2026; 404 (03): 8–17 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-8-17>

## Введение/Introduction

Продолжаем цикл публикаций по оценке публикационной активности и рейтингов журнала «Аграрная наука» [1, 2]. Для оценки научных журналов использованы различные методики [3, 4], например подсчет цитирований, расчет импакт-фактора, оценка по рейтингу журналов и др [5–8].

Авторами выполнен анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» с 2023 по 2024 г. по материалам, представленным в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU<sup>1</sup>.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объекты исследования — публикационная активность и ранжирование журнала «Аграрная наука». Предмет исследования — массив данных, представленных в издании с 2008 по 2024 г. Материал для исследования — статистические данные, представленные в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU<sup>1</sup>. Полученные данные анализировались с применением проблемно-тематического и системного анализа.

Продолжаем цикл публикаций в журнале «Аграрная наука» по теме «Оценка наукометрических показателей». Ознакомьтесь с ранее опубликованными материалами можно по QR кодам (табл. 1).

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

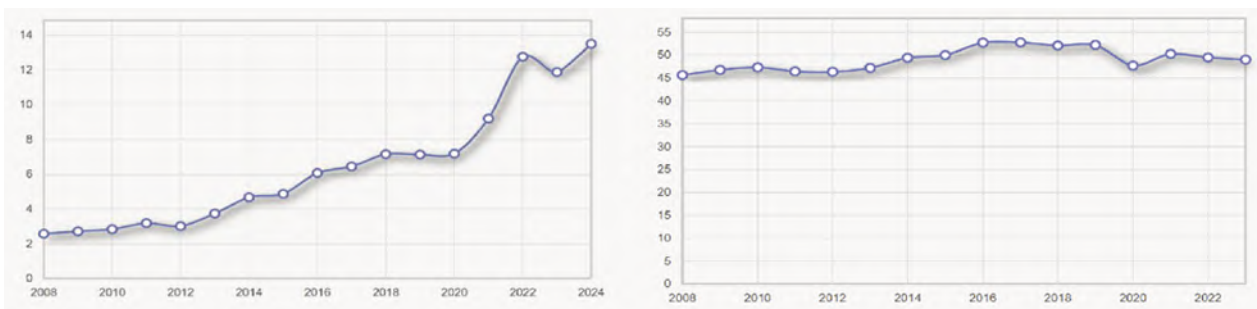
Продолжение исследований. Первая часть опубликована в № 11, 12 журнала «Аграрная наука» за 2025 г. [1, 2].

Хронологическое распределение информации об авторах, опубликовавших научные исследования в журнале «Аграрная наука», представлено на рисунке 1 по следующим показателям:

- ✓ средний индекс Хирша авторов публикаций<sup>2</sup>,
- ✓ средний возраст авторов публикаций<sup>3</sup>,
- ✓ число уникальных авторов<sup>4</sup>,
- ✓ число новых авторов<sup>5</sup>.

**Рис. 1.** Хронологическое распределение информации об авторах, опубликовавших свои исследования в журнале «Аграрная наука» с 2008 по 2024 г.

**Fig. 1.** Chronological distribution of information about the authors who published their research in the journal “Agrarian Science” from 2008 to 2024



1) Средний индекс Хирша авторов публикации по годам  
1) Average Hirsch index of the authors of the publication by year

2) Средний возраст авторов публикаций по годам  
2) Average age of publication authors by year

<sup>1</sup> <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp>

<sup>2</sup> Средний индекс Хирша авторов определяется для каждой публикации, а затем усредняется для статей текущего года.

<sup>3</sup> Средний возраст авторов определяется для каждой публикации, а затем усредняется для статей текущего года. Учитываются только идентифицированные авторы, зарегистрированные в системе Science Index.

<sup>4</sup> Учитываются идентифицированные авторы, опубликовавшие в текущем году хотя бы одну статью в журнале.

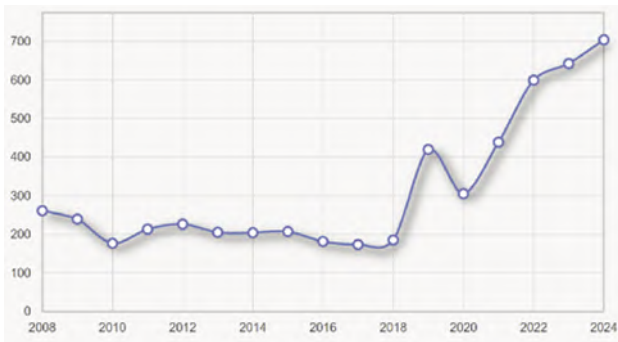
<sup>5</sup> Учитываются только авторы, первый раз опубликовавшие статью в данном журнале в этом году.

**Таблица 1. Список публикаций по теме «Оценка наукометрических показателей» журнала «Аграрная наука» в 2025 году**

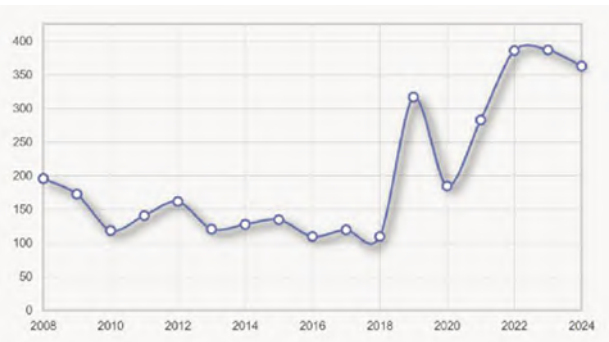
**Table 1. List of publications on the topic “Assessment of scientometric indicators” of the journal “Agrarian Science” in 2025**

Наименование публикации, выходные данные	QR код публикации
Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 1-я). <i>Аграрная наука</i> . 2025; (4): 22–27. <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-22-27">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-22-27</a>	
Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 1). <i>Agrarian Science</i> . 2025; (4): 22–27 (in Russian). <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-22-27">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-22-27</a>	
Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 2-я). <i>Аграрная наука</i> . 2025; (5): 25–30. <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30</a>	
Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 2). <i>Agrarian Science</i> . 2025; (5): 25–30 (in Russian). <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30</a>	
Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 3-я). <i>Аграрная наука</i> . 2025; (6): 34–39. <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39</a>	
Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 3). <i>Agrarian Science</i> . 2025; (6): 34–39 (in Russian). <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39</a>	
Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 4-я). <i>Аграрная наука</i> . 2025; (7): 8–13. <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-8-13">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-8-13</a>	
Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 4). <i>Agrarian Science</i> . 2025; (7): 8–13 (in Russian). <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-8-13">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-8-13</a>	
Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 5-я). <i>Аграрная наука</i> . 2025; (8): 8–12. <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12</a>	
Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 5). <i>Agrarian Science</i> . 2025; (8): 8–12 (in Russian). <a href="https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12">https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12</a>	

Рис. 1. Продолжение



3) Число уникальных авторов по годам  
3) Number of unique authors by year



4) Число новых авторов по годам  
4) Number of new authors by year

Анализируя данные (рис. 1), отмечаем, что средний индекс Хирша авторов публикации снизился с 12,8 (2022 г.) до 11,98 (2023 г.), что согласуется с обозначаемым периодом по показателю «Средний возраст авторов публикаций по годам» (снижение с 49,01 до 47,41). Количество уникальных авторов в журнале «Аграрная наука» растет непрерывно с 2020 г.: в 2023 г. 643 уникальных автора, в 2024 г. — 705. 387 новых авторов в 2023 г., в 2024 г. — 363. Снижение на 24 пункта (в 2022 г.).

Анализируя данные (рис. 1), можно сопоставить с соответствующими значениями показателей других журналов в пределах выбранной референтной группы<sup>6</sup>.

В таблице 2 представлена краткая характеристика по показателям: число уникальных авторов, число новых авторов, средний индекс Хирша авторов, средний возраст авторов публикаций в журналах референтной группы «Сельское и лесное хозяйство».

Таблица 2. Показатели в научных журналах референтной группы «Сельское и лесное хозяйство»  
Table 2. Indicators in scientific journals of the reference group «Agriculture and Forestry»

Наименование журнала	Уникальных авторов, кол-во		Новых авторов, кол-во		Средний			
					индекс Хирша авторов		возраст авторов	
	по годам							
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Главный зоотехник	165	142	55	51	16,25	19,13	50,19	51,75
Экономика сельского хозяйства России	384	342	149	144	18,58	18,43	50,14	49,54
Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий	206	232	76	100	17,48	18,23	53,82	53,20
Вестник Ульяновской ГСХА	256	219	113	102	15,56	17,46	51,50	51,09
Зоотехния	300	286	98	75	12,94	16,38	52,27	54,63
Молочное и мясное скотоводство	162	208	62	72	12,41	16,17	51,50	53,09
Эффективное животноводство	154	103	84	38	11,28	16,01	50,76	52,96
Сельскохозяйственные машины и технологии	118	141	48	55	12,87	14,60	47,92	47,80
Аграрный вестник Урала	335	380	154	205	13,04	14,15	49,8	47,22
Агроинженерия	204	195	74	61	14,06	14,12	46,93	47,63
Птицеводство	226	193	62	45	12,82	14,04	50,11	51,04
Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского ГАУ	285	442	105	210	15,09	13,76	48,13	46,92
Аграрная наука	643	705	387	363	11,88	13,51	49,01	47,41
Ветеринария Северного Кавказа	64	68	49	45	7,72	13,16	45,19	48,54
Техника и технологии в животноводстве	127	103	53	42	10,36	13,08	49,95	48,43
Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии	215	180	58	41	10,89	12,76	43,97	47,56
Вавиловский журнал генетики и селекции	381	358	159	133	12,45	12,76	50,49	48,66
Международный вестник ветеринарии	381	487	158	232	11,36	12,55	45,84	45,32
Вестник Новосибирского ГАУ	269	314	117	178	9,95	11,94	49,21	48,51
Свиноводство	84	105	32	44	10,13	11,81	50,25	49,23
Ветеринария и кормление	367	322	163	115	10,2	11,68	47,82	49,52

<sup>6</sup> Все журналы из референтной группы сортируются в порядке улучшения соответствующего показателя. Место данного журнала в этой последовательности отмечается оранжевым указателем на линейных индикаторах, стрелкой — на стрелочных индикаторах. Шкалы индикаторов поделены на четыре равные зоны, которые на линейных индикаторах выделены оттенками серого, а на стрелочных индикаторах — красным, желтым и зеленым цветами. Нахождение указателя в самой светлой или зеленой зоне означает, что по данному показателю журнал входит в число лучших 25% журналов в данной референтной группе.

Таблица 2. Продолжение

Наименование журнала	Уникальных авторов, кол-во		Новых авторов, кол-во		Средний			
					индекс Хирша авторов		возраст авторов	
	по годам							
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Российский ветеринарный журнал	33	26	20	10	12,21	11,51	48,59	52,72
Вестник Красноярского ГАУ	848	837	404	366	9,77	11,49	49,81	49,58
Ветеринария	316	305	93	72	10,22	11,37	50,36	50,67
Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии	199	265	113	156	11,37	11,37	48,04	46,66
Аграрный научный журнал	721	658	321	253	10,39	10,94	48,54	48,82
Вестник российской сельскохозяйственной науки	294	304	125	140	9,97	10,63	52,09	51,85
Ветеринарный врач	186	184	61	45	9,75	10,51	45,88	47,60
Аграрная наука Евро-Северо-Востока	266	303	125	143	8,8	10,2	46,76	48,84
Вестник Алтайского ГАУ	334	362	132	119	9,67	9,25	53,42	50,42
Ветеринария сегодня	126	174	54	78	7,3	8,77	47,49	46,90

Примечание: журналы ранжированы по показателю «Средний индекс Хирша авторов» в 2024 г. Красным цветом выделены позиции, которые были снижены по показателям в 2024 г. по сравнению с 2023-м.

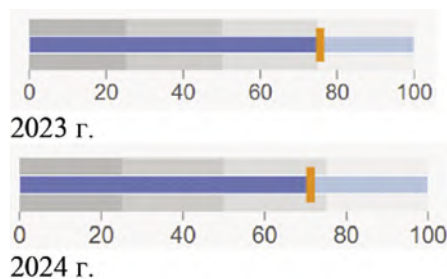
Анализируя данные по референтной группе из 32 журналов, представленных в таблице 2, констатируем, что журнал «Аграрная наука» занимает в анализируемом списке:

- ✓ 2-е место по показателю «число уникальных авторов»,
- ✓ 2-е место по показателю «число новых авторов»,
- ✓ 13-е место по показателю «средний индекс Хирша авторов»,
- ✓ 7-е место по показателю «средний возраст авторов публикаций».

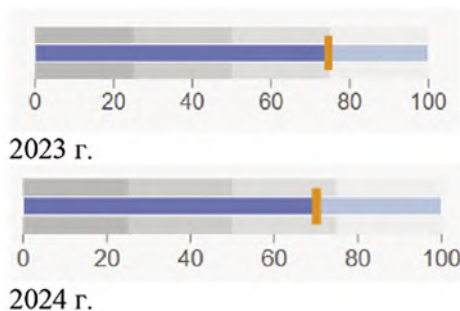
Все журналы из референтной группы сортируются в порядке улучшения соответствующего показателя. Место данного журнала в этой последовательности отмечается оранжевым указателем на линейных индикаторах. Шкалы индикаторов поделены на четыре равные зоны, которые на линейных индикаторах выделены оттенками серого. Нахождение указателя в самой светлой зоне означает, что по данному показателю журнал входит в число лучших 25% журналов в данной референтной группе.

Показатель «средний индекс Хирша авторов» журнала «Аграрная наука» на линейных индикаторах представлен на рисунке 2.

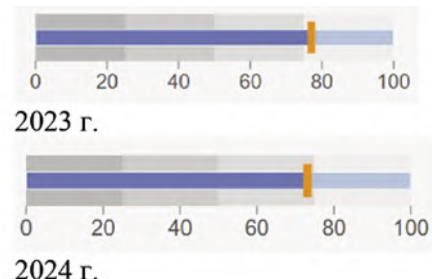
Рис. 2. Показатель «средний индекс Хирша авторов» журнала «Аграрная наука» на линейных индикаторах (2023 г. и 2024 г.)  
Fig. 2. The "Average Hirsch Index of Authors" indicator for the journal "Agrarian Science" on linear indicators (2023 and 2024)



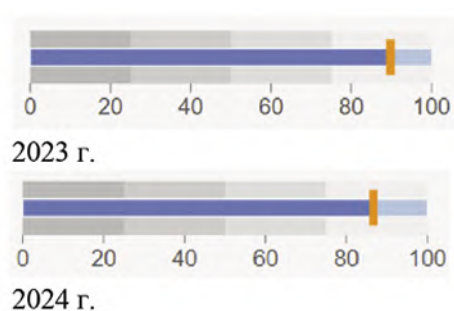
1) по группе журналов, входящих в ядро РИНЦ<sup>7</sup> (2023 г. — выборка из 1476 журналов; 2024 г. — выборка из 1518 журналов)  
1) for a group of journals included in the RSCI (Russian Science Citation Index) core (2023 — a sample of 1476 journals; 2024 — a sample of 1518 journals)



3) по группе журналов, входящих в «Белый список» (2023 г. — выборка из 1335 журналов; 2024 г. — выборка из 1337 журналов)  
3) for a group of journals included in the "White List" (2023 — a sample of 1335 journals; 2024 — a sample of 1337 journals)



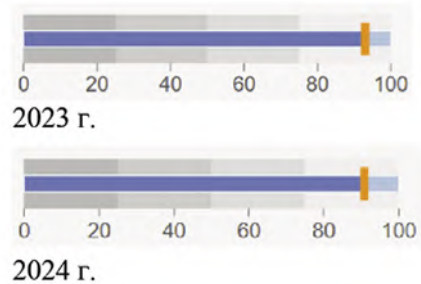
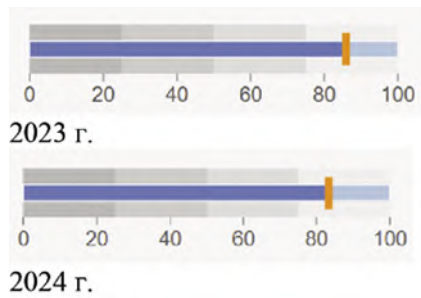
2) по группе журналов, входящих в RSCI (2023 г. — выборка из 1019 журналов; 2024 г. — выборка из 1080 журналов)  
2) for the group of journals included in the RSCI (2023 — sample of 1019 journals; 2024 — sample of 1080 journals)



4) по группе журналов, входящих в «Белый список» (уровень 4-й) (2023 г. — выборка из 368 журналов; 2024 г. — выборка из 369 журналов)  
4) for the group of journals included in the "White List" (level 4) (2023 — sample of 368 journals; 2024 — sample of 369 journals)

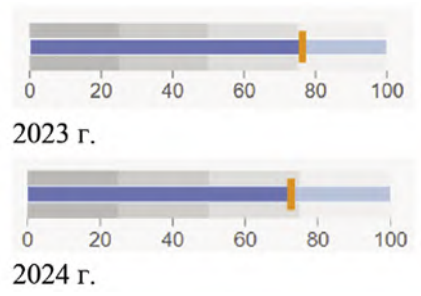
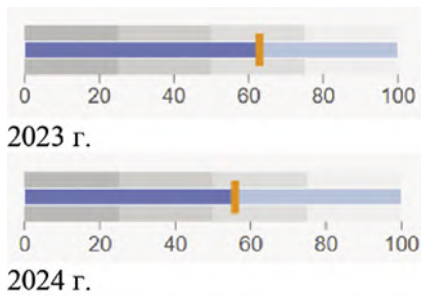
<sup>7</sup> Число цитирований в текущем году статей, опубликованных в журнале за предыдущие 5 лет, поделенное на число этих статей. При этом учитываются ссылки только из журналов, входящих в ядро РИНЦ (то есть включенных в WoS, Scopus или RSCI).

Рис. 2. Продолжение



5) по группе журналов, входящих в Перечень журналов Высшей аттестационной комиссии (ВАК) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (2023 г. — выборка из 3733 журналов; 2024 г. — выборка из 3725 журналов)

6) по группе журналов, входящих в Перечень ВАК (категория 2-я) (2023 г. — выборка из 1482 журналов; 2024 г. — выборка из 1500 журналов)



7) по группе российских журналов, входящих в список WOS<sup>8</sup> (квартиль 4-й) (2023 г. — выборка из 270 журналов; 2024 г. — выборка из 249 журналов)

8) по группе российских журналов, входящих в список Scopus<sup>9</sup> (квартиль 4-й) (2023 г. — выборка из 304 журналов; 2024 г. — выборка из 330 журналов)

Сравнивая данные журнала «Аграрная наука» (рис. 2), отмечаем, что показатель «средний индекс Хирша авторов» увеличился на 1,63 пункта (до 13,51) за анализируемый период (2023–2024 гг.).

- ✓ распределение по числу цитирований в РИНЦ<sup>11</sup>,
- ✓ распределение по числу цитирований в ядре РИНЦ<sup>12</sup>.

Отмечаем, что журнал за 2023 г. и 2024 г. находился в наилучшей (самой светлой) зоне по референтным группам журналов:

Представленные статистические результаты (рис. 3) свидетельствуют:

- ✓ «Белый список» (уровень 4-й),
- ✓ Перечень ВАК,
- ✓ Перечень ВАК (категория 2-я).

✓ единолично опубликованных статей в журнале «Аграрная наука» в 2023 г. — 282 (22,8%) в общем количестве статей журнала за последние пять лет, в 2024 г. — 260 (20,3%) соответственно; 2 соавтора в 2023 г. — 269 статей (21,8%), в 2024 г. — 262 (20,5%); 3 соавтора в 2023 г. — 268 статей (21,7%), в 2024 г. — 287 (22,4%); минимальное количество статей — 15 (1,2%) — опубликованы в соавторстве более 8 человек в 2023 г., в 2024 г. — 26 статей (2,0%);

По данному показателю журнал входил в число лучших 25% журналов в данной референтной группе.

Анализируя показатели 2023 г. и 2024 г. (рис. 2), отмечаем, что журнал «Аграрная наука» входил в число лучших 50% журналов в референтных группах журналов, входящих в:

- ✓ ядро РИНЦ,
- ✓ RSCI,
- ✓ «Белый список».

Количество соавторов в публикациях журнала «Аграрная наука» (рис. 3) оценивалось по следующим критериям:

- ✓ распределение по числу публикаций<sup>10</sup>,

✓ 509 цитирований (10,6%) в РИНЦ, полученных статьями с единоличным авторством в 2023 г., в общем количестве цитирований в РИНЦ статей журнала за последние 5 лет, в 2024 г. — 361 (8,3%); в 2023 г. два соавтора — 776 цитирований (16,1%), в 2024 г. — 589 (13,5%); в 2023 г. три соавтора — 1134 цитирования (23,5%), в 2024 г. — 947 (21,7%); минимальное количество цитирований — 39 (0,8%) — опубликованы в соавторстве более 8 че-

<sup>8</sup> Журнал «Аграрная наука» не входит в список WOS.

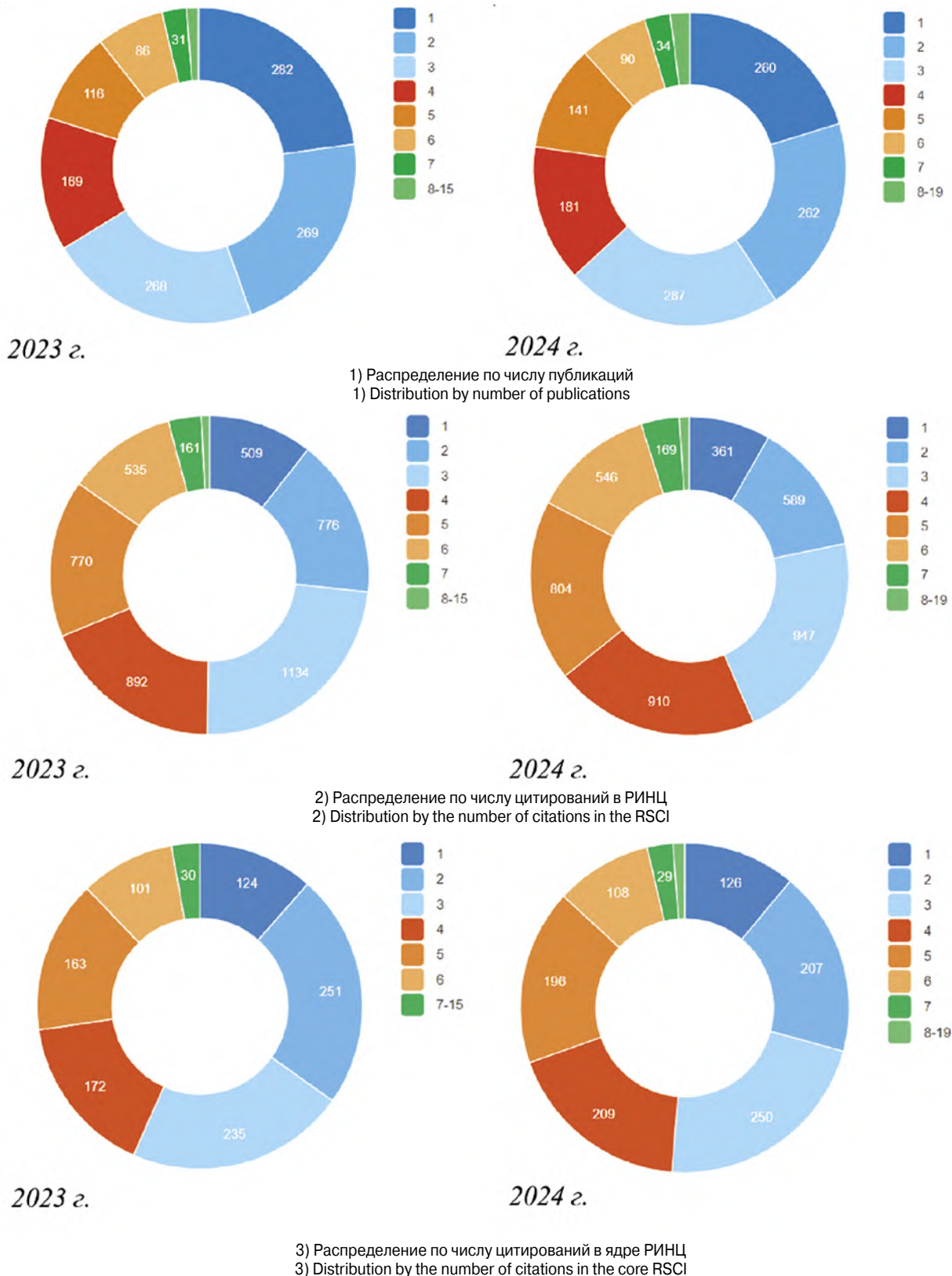
<sup>9</sup> Журнал «Аграрная наука» не входит в список Scopus.

<sup>10</sup> Размер сегмента диаграммы отражает долю статей с указанным в легенде числом соавторов в общем количестве статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.).

<sup>11</sup> Размер сегмента диаграммы отражает долю цитирований в РИНЦ, полученных статьями с указанным в легенде числом соавторов, в общем количестве цитирований в РИНЦ статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.).

<sup>12</sup> Размер сегмента диаграммы отражает долю цитирований из ядра РИНЦ, полученных статьями с указанным в легенде числом соавторов, в общем количестве цитирований из ядра РИНЦ статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.).

**Рис. 3.** Количество соавторов в публикациях журнала «Аграрная наука»  
**Fig. 3.** Number of co-authors in publications of the journal "Agrarian Science"



ловек в 2023 г., в 2024 г. — 45 цитирований (1,0%) с таким же количеством соавторов в статье;

✓ 124 цитирования (11,5%) в ядре РИНЦ, полученные статьями с единоличным авторством, в общем количестве цитирований в РИНЦ статей журнала за последние 5 лет в 2023 г., в 2024 г. — 126 (11,1%); в 2023 г. два соавтора — 251 цитирование

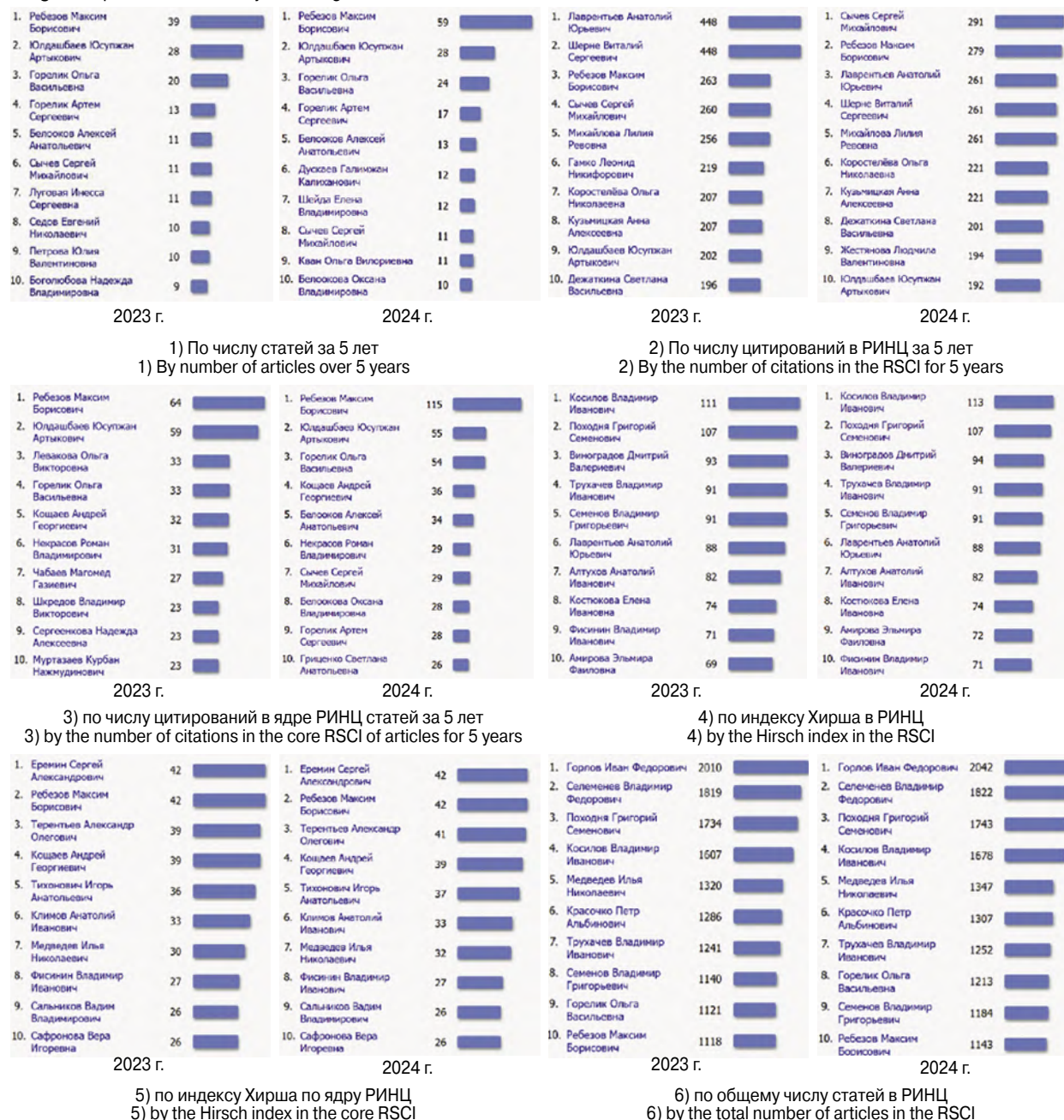
(23,3%), в 2024 г. — 207 (18,2%); в 2023 г. три соавтора в публикации научной статьи или обзора — 235 цитирований (21,8%), в 2024 г. — 250 (22,0%); минимальное количество цитирований — 30 (2,8%) — опубликованы в соавторстве более 7 человек в 2023 г., в 2024 г. — 42 (3,6%) по такой же группе количества соавторов.

На рисунке 4 представлена статистическая информация по топ-10 авторов журнала «Аграрная наука», которая ранжировалась по:

- ✓ числу статей за 5 лет<sup>13</sup>;
- ✓ числу цитирований в РИНЦ статей за 5 лет<sup>14</sup>;
- ✓ числу цитирований в ядре РИНЦ статей за 5 лет<sup>15</sup>;

- ✓ индексу Хирша в РИНЦ<sup>16</sup>;
- ✓ индексу Хирша по ядру РИНЦ<sup>17</sup>;
- ✓ общему числу статей в РИНЦ<sup>18</sup>;
- ✓ общему числу статей в ядре РИНЦ<sup>19</sup>;
- ✓ общему числу цитирований статей в РИНЦ<sup>20</sup>;
- ✓ общему числу цитирований статей в ядре РИНЦ<sup>21</sup>.

**Рис. 4.** Топ-10 авторов журнала «Аграрная наука»  
**Fig. 4.** Top 10 authors of the journal «Agrarian Science»



<sup>13</sup> Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество статей в журнале за 5 лет (2019–2023 гг.). Сортировка по числу статей в порядке убывания.  
<sup>14</sup> Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество цитирований в РИНЦ статей в журнале за 5 лет (2019–2023 гг.). Сортировка по числу цитирований статей в РИНЦ в порядке убывания.  
<sup>15</sup> Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество цитирований из ядра РИНЦ статей в журнале за 5 лет (2019–2023 гг.). Сортировка по числу цитирований статей из ядра РИНЦ в порядке убывания.  
<sup>16</sup> Выводится список из 10 авторов, имеющих самые высокие значения индекса Хирша в РИНЦ. Индекс Хирша рассчитывается по всем публикациям автора, входящим в РИНЦ.  
<sup>17</sup> Выводится список из 10 авторов, имеющих самые высокие значения индекса Хирша по ядру РИНЦ. Индекс Хирша рассчитывается по всем публикациям автора, входящим в ядро РИНЦ.  
<sup>18</sup> Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество статей в РИНЦ.  
<sup>19</sup> Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество статей в ядре РИНЦ.  
<sup>20</sup> Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество цитирований в РИНЦ.  
<sup>21</sup> Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество цитирований из ядра РИНЦ.

Рис. 4. Продолжение



7) по общему числу статей в ядре РИНЦ  
7) by the total number of articles in the coreRussian Science Citation Index

8) по общему числу цитирований статей в РИНЦ  
8) by the total number of citations of articles in the RSCI

Анализ представленной информации (рис. 4) свидетельствует о необходимости привлечения научно-педагогических сотрудников наивысшей категории для публикации научных исследований на страницах журнала «Аграрная наука». В современных условиях трансформации научной коммуникации [9–12] и ужесточения конкуренции между научными изданиями вопрос качества публикуемых научных материалов выходит на первый план работы научной редакции журнала «Аграрная наука».

Для журнала «Аграрная наука», стремящегося занять лидирующие позиции в референтной российской группе научных журналов «Сельское и лесное хозяйство», стратегическим ресурсом развития является привлечение авторов, обладающих признанным научным авторитетом в России и за рубежом. В данном контексте научно-педагогические сотрудники наивысшей категории



9) по общему числу цитирований статей в ядре РИНЦ  
9) by the total number of citations of articles in the core RSCI

(доктора наук, профессора, ведущие научные сотрудники) выступают не просто одной из целевых аудиторий, а системообразующим элементом редакционной политики журнала «Аграрная наука» (рис. 5).

Рис. 5. Элементы редакционной политики научного журнала «Аграрной науки»

Fig. 5. Elements of the editorial policy of the scientific journal “Agrarian Science”



**Выводы/Conclusions**

Целенаправленная работа по привлечению научно-педагогических сотрудников наивысшей категории к публикационной деятельности в журнале «Аграрная наука» является стратегической необходимостью. Это многогранный процесс, результатом которого становится синергетический эффект:

- ✓ рост научного уровня статей,
- ✓ укрепление репутации издания,
- ✓ улучшение библиометрических индикаторов,

✓ консолидация вокруг журнала передового научного сообщества.

Реализация этой задачи требует от редакции журнала «Аграрная наука» proactive-подхода, включая формирование актуального списка высококвалифицированных рецензентов, в дальнейшем организацию специальных тематических выпусков под руководством приглашенных редакторов — ведущих ученых.

На заседании редакционного совета рассмотрен анализ ранжирования и публикационной активности журнала за 2008–2023 гг.

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

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

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М. Публикационная активность в инфографике (часть 6-я): сравнительный анализ за двухлетний период (2023 и 2024 гг.). *Аграрная наука*. 2025; (11): 8–14. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-8-14>
2. Ребезов М.Б., Виолин Б.В., Ребезов Я.М. Публикационная активность в инфографике (часть 7-я): сравнительный анализ за двухлетний период (2023 и 2024 гг.). *Аграрная наука*. 2025; (12): 8–15. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-15>
3. Kang H. Journal Metrics and Statistics. *Journal of Lipid and Atherosclerosis*. 2023; 12(1): 87. <https://doi.org/10.12997/jla.2023.12.1.87>
4. Эрштейн Л.Б. Проблемы наукометрии: индекс максимально цитируемой публикации как средство решения некоторых из них. *Alma Mater (Вестник высшей школы)*. 2023; (9): 23–28. <https://doi.org/10.20339/AM.09-23.023>
5. Нуриддинов Я.А., Богданова Ю.З. Дискуссионный вопрос о необходимости наукометрических показателей. *Стратегические ресурсы Тюменского АПК: люди, наука, технологии. Сборник LVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья. 2024; 96–100. <https://elibrary.ru/ckdsos>
6. Дадалко В.А., Дадалко С.В. Наукометрия в контексте науковедения и современного образования. *Знание. Понимание. Умение*. 2020; (1): 148–161. <https://doi.org/10.17805/zpu.2020.1.13>
7. Лазарев В.С. Из истории наукометрических классификаций цитирований. Первые две работы и русскоязычные публикации. Часть 2-я. *Управление наукой: теория и практика*. 2025; 7(1): 133–146. <https://doi.org/10.19181/sntp.2025.7.1.9>
8. Цветкова В.А., Мохначева Ю.В. Научная среда и публикационная активность: риски библиометрических оценок. *Культура: теория и практика*. 2020; (2): 11. <https://elibrary.ru/dooofr>
9. Ковальчук О.В., Марон А.Е. Стратегические ориентиры развития научного журнала. *Образование: ресурсы развития. Вестник ЛОИРО*. 2024; (3): 4–8. <https://elibrary.ru/zypbii>
10. Андросов К.Ю., Киричек А.В., Спасенников В.В. Сравнительный анализ качества научных журналов технического университета и критерии их улучшения. *Эргодизайн*. 2024; (1): 3–21. <https://doi.org/10.30987/2658-4026-2024-1-3-21>
11. Горелкин В.А., Рыбалко Н.В. Анализ деятельности журнала «Вестник Волгоградского государственного университета». Серия 4: История. Регионоведение. Международные отношения за 10 лет (2014–2023 гг.). *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 4: История. Регионоведение. Международные отношения*. 2024; 29(5): 224–241. <https://doi.org/10.15688/jvolsu4.2024.5.19>
12. Garaev T.K., Yakupov Z.Ya., Galimova R.K., Gizitdinova E.A. The first publication in the publications of the Russian Science Citation Index database: methodological guidance for students. *Коллекция гуманитарных исследований*. 2023; (1): 59–62. [https://doi.org/10.21626/j-chr/2023-1\(34\)/8](https://doi.org/10.21626/j-chr/2023-1(34)/8)

**REFERENCES**

1. Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M. Publication Activity in Infographics (Part 6): A Comparative Analysis of a Two-Year Period (2023 and 2024). *Agrarian Science*. 2025; (11): 8–14 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-400-11-8-14>
2. Rebezov M.B., Violin B.V., Rebezov Ya.M. Publication Activity in infographics (Part 7): A Comparative Analysis over a Two-Year Period (2023 and 2024). *Agrarian science*. 2025; (12): 8–15 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-8-15>
3. Kang H. Journal Metrics and Statistics. *Journal of Lipid and Atherosclerosis*. 2023; 12(1): 87. <https://doi.org/10.12997/jla.2023.12.1.87>
4. Ershteyn L.B. Problems of scientometrics: maximum cited publication index as a means of solving some of them. *Alma mater. Vestnik vysshei shkoly*. 2023; (9): 23–28 (in Russian). <https://doi.org/10.20339/AM.09-23.023>
5. Nuriddinov Ya.A., Bogdanova Yu.Z. The debatable issue of the need for scientometric indicators. *Strategic resources of the Tyumen agro-industrial complex: people, science, technology. Collection of the LVII International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists*. Tyumen: Northern Trans-Ural State Agricultural University. 2024; 96–100 (in Russian). <https://elibrary.ru/ckdsos>
6. Dadalko V.A., Dadalko S.V. Scientometrics in the context of science studies and modern education. *Knowledge. Understanding. Skill*. 2020; (1): 148–161 (in Russian). <https://doi.org/10.17805/zpu.2020.1.13>
7. Lazarev V.S. From the history of scientometric citation classifications. The first two works and russophone publications. Part 2. *Science Management: Theory and Practice*. 2025; 7(1): 133–146 (in Russian). <https://doi.org/10.19181/sntp.2025.7.1.9>
8. Tsvetkova V.A., Mokhnacheva Yu.V. Scientific environment and publication activity: risks of bibliometric estimates. *Kul'tura: teoriya i praktika*. 2020; (2): 11 (in Russian). <https://elibrary.ru/dooofr>
9. Kovalchuk O.V., Maron A.E. Strategic guidelines for the development of a scientific journal. *Obrazovanie: resursy razvitiya. Vestnik LOIRO*. 2024; (3): 4–8 (in Russian). <https://elibrary.ru/zypbii>
10. Androsov K.Yu., Kirichek A.V., Spasennikov V.V. Comparative analysis of the quality of the technical university scientific journals and improvement criteria. *Ergodesign*. 2024; (1): 3–21 (in Russian). <https://doi.org/10.30987/26584026-2024-1-3-21>
11. Gorelkin V.A., Rybalko N.V. Analysis of the activity of the journal "Bulletin of Volgograd State University". Episode 4: The Story. Regional studies. *International Relations for 10 years (2014–2023)*. Bulletin of Volgograd State University. *Episode 4: The Story. Regional studies. International relations*. 2024; 29(5): 224–241 (in Russian). <https://doi.org/10.15688/jvolsu4.2024.5.19>
12. Garaev T.K., Yakupov Z.Ya., Galimova R.K., Gizitdinova E.A. The first publication in the publications of the Russian Science Citation Index database: methodological guidance for students. *The Collection of Humanitarian Studies*. 2023; (1): 59–62. [https://doi.org/10.21626/j-chr/2023-1\(34\)/8](https://doi.org/10.21626/j-chr/2023-1(34)/8)

## ОБ АВТОРАХ

**Максим Борисович Ребезов<sup>1,2</sup>**

• доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник<sup>1</sup>;  
• доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов<sup>2</sup>  
rebezov@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

**Борис Викторович Виолин<sup>3</sup>**

кандидат ветеринарных наук  
agrovetpress@inbox.ru

**Ярослав Максимович Ребезов<sup>4</sup>**

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

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

<sup>2</sup>Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

<sup>3</sup>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 Российской академии наук», Звенигородское шоссе, 5, Москва, 123022, Россия

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

## ABOUT THE AUTHORS

**Maksim Borisovich Rebezov<sup>1,2</sup>**

• Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher<sup>1</sup>;  
• Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products<sup>2</sup>  
rebezov@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

**Boris Viktorovich Violin<sup>3</sup>**

Candidate of Veterinary Sciences  
agrovetpress@inbox.ru

**Yaroslav Maksimovich Rebezov<sup>4</sup>**

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

<sup>1</sup>Gorbatov Research Center for Food Systems,

26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

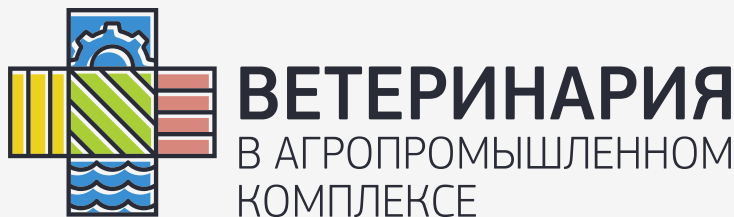
<sup>2</sup>Ural State Agrarian University,  
42 Karl Liebknecht st., Yekaterinburg, 620075, Russia

<sup>3</sup>All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology — a branch of the of the Federal Scientific Centre VIEV,

5 Zvenigorodskoe shosse, Moscow, 123022, Russia

<sup>4</sup>Yaroslav-the-Wise Novgorod State University,

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



XV Международная  
научно-практическая конференция

**ВЕТЕРИНАРИЯ В АПК**  
**2-4 ИЮНЯ 2026**

СОЗДАЁМ КОМФОРТНОЕ ПРОСТРАНСТВО  
ДЛЯ ЖИВОГО ОБЩЕНИЯ И РЕШЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ЗАДАЧ АПК

 **НОВОСИБИРСК**  
**ЭКСПО ЦЕНТР**  
НОВОСИБИРСК, УЛ. СТАНЦИОННАЯ, 104

ОТСКАНИРУЙТЕ  
И УЗНАЙТЕ  
ПОДРОБНОСТИ



Реклама

УДК 619:616.34-006.6-07/-08

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-18-27

**Ю.О. Ляшук**<sup>1</sup> ✉

**К.И. Романов**<sup>2</sup>

**К.А. Иванищев**<sup>2,3</sup>

**Д.Ю. Павкин**<sup>1</sup>

**Г.Н. Самарин**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

<sup>2</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, Рязань, Россия

<sup>3</sup> Ветеринарная клиника «Доктор Вет», Рязань, Россия

✉ ularzn@mail.ru

Поступила в редакцию: 25.10.2025

Одобрена после рецензирования: 15.02.2026

Принята к публикации: 28.02.2026

© Ляшук Ю.О., Романов К.И., Иванищев К.А., Павкин Д.Ю., Самарин Г.Н.

## Анализ подходов к диагностике и лечению рака молочной железы у животных

### РЕЗЮМЕ

В работе проведен анализ подходов к диагностике и лечению рака молочной железы у животных. Вопросы канцерогенеза рассмотрены авторским коллективом на примере мелких домашних животных, выбранных в качестве объекта исследования с целью соблюдения принципов биоэтики и повышения статистической достоверности результатов, которые были получены в клинических условиях с использованием современного оборудования и фиксации данных в виде электронных медицинских карт. Необходимо отметить, что инцидентность развития злокачественных новообразований в молочной железе зависит от индивидуальных особенностей животных, а также от длительности экспозиции и типа канцерогена. Поскольку появление злокачественных новообразований является важной проблемой не только для владельцев домашних питомцев, но и для ветеринарных специалистов, занимающихся лечением сельскохозяйственных животных, выбранная тема исследования является актуальной. Рак молочной железы широко распространен среди продуктивных животных, обуславливая большие потери как молочной, так и мясной продукции вследствие выбраковки пораженных опухолями туш или их частей, и являясь частой причиной нарушения нормального воспроизводства здорового поголовья, в том числе выкармливания молодняка. Одним из наиболее часто встречающихся видов злокачественных опухолей у сельскохозяйственных и домашних животных, возникающих, как следствие канцерогенеза, является рак молочной железы. Сопоставление данных об этиологии, патогенезе, клинике и морфологии опухолей молочных желез у различных видов животных — чрезвычайно важный процесс с точки зрения развития сравнительной онкологии. Полученные данные могут быть приняты в расчет для диагностики и лечения рака молочной железы у различных видов животных.

**Ключевые слова:** рак молочной железы; мелкие домашние животные; собаки; кошки; крысы; сравнительная онкология; химиотерапия; доксорубин; таксотер; гистологическая классификация; мастэктомия; ветеринарная диагностика

**Для цитирования:** Ляшук Ю.О., Романов К.И., Иванищев К.А., Павкин Д.Ю., Самарин Г.Н. Анализ подходов к диагностике и лечению рака молочной железы у животных. *Аграрная наука*. 2026; 404(03): 18–27. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-18-27>

Scientific article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-18-27

**Yulia O. Lyashchuk**<sup>1</sup> ✉

**Kirill I. Romanov**<sup>2</sup>

**Konstantin A. Ivanishchev**<sup>2,3</sup>

**Dmitry Yu. Pavkin**<sup>1</sup>

**Gennady N. Samarin**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia

<sup>3</sup> «Doctor Vet» Veterinary Clinic, Ryazan, Russia

✉ ularzn@mail.ru

Received by the editorial office: 25.10.2025

Accepted in revised: 15.02.2026

Accepted for publication: 28.02.2026

© Lyashchuk Yu.O., Romanov K.I., Ivanishchev K.A., Pavkin D. Yu., Samarin G.N.

## Analysis of approaches to the diagnosis and treatment of mammary cancer in animals

### ABSTRACT

This study analyzes approaches to the diagnosis and treatment of mammary cancer in animals. The authors examined carcinogenesis using small domestic animals as a study subject to ensure adherence to bioethical principles and to enhance the statistical validity of the results obtained in a clinical setting using modern equipment and data recording in electronic medical records. It should be noted that the incidence of malignant neoplasms in the mammary gland depends on the individual characteristics of the animals, as well as the duration of exposure and the type of carcinogen. Since the development of malignant neoplasms is a significant issue not only for pet owners but also for veterinarians treating farm animals, the chosen research topic is relevant. Mammary cancer is widespread among food-producing animals, causing significant losses in both dairy and meat production due to the culling of carcasses or parts affected by tumors, and is a frequent cause of disruption to the normal reproduction of healthy livestock, including the feeding of young animals. One of the most common types of malignant tumors in farm and domestic animals, arising from carcinogenesis, is mammary cancer. Comparing data on the etiology, pathogenesis, clinical presentation, and morphology of mammary tumors in various animal species is an extremely important process for the development of comparative oncology. The obtained data can be used to diagnose and treat mammary cancer in various animal species.

**Key words:** mammary cancer, small domestic animals, dogs, cats, rats, comparative oncology, chemotherapy, doxorubicin, docetaxel (Taxotere), histological classification, mastectomy, veterinary diagnostics

**For citation:** Lyashchuk Yu.O., Romanov K.I., Ivanishchev K.A., Pavkin D. Yu., Samarin G.N. Analysis of approaches to the diagnosis and treatment of mammary cancer in animals. *Agrarian science*. 2026; 404(03): 18–27 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-18-27>

## Введение/Introduction

Рак молочной железы (РМЖ) представляет собой группу опухолей железистой ткани с различными гистологическими фенотипами и клиническими прогнозами [1].

В работах российских ученых, таких как Хакимова Г.Г., Решетов И.В., Зикиряходжаев А.Д., Старкова М.В., Хакимова Ш.Г., Тимошкин В.О., Вильмис Д.А., Меликова Ю.Н., Чечнева А.В., отмечается прогрессирующий рост заболеваемости раком молочной железы у животных разных видов и возрастов [2, 3].

При этом рак молочной железы у животных часто рецидивирует и метастазирует по смешанному типу [3].

Доброкачественные опухоли молочной железы являются выражением реактивного роста клеток вследствие повышенных функций и хронического воспаления, могут перерождаться и принимать злокачественный характер.

Как отмечают в своих работах Мнихович М.В. [1] и Вильмис Д.А. [3, 4], довольно часто рак молочной железы является гормонально-зависимой опухолью, возникающей на фоне дисгормональной патологии, в частности гиперэстрогемии.

Половые гормоны играют важную роль в инициации и прогрессировании опухолей молочных желез, что также подтверждается профилактическим эффектом стерилизации и спорадическим возникновением диспластических и опухолевых поражений у животных, получавших прогестагены.

Это определяет низкую продолжительность жизни животных с раком молочной железы III–IV стадий на уровне 4–12 месяцев даже после радикального хирургического лечения. Но удаление новообразований является достаточно эффективным методом лечения на ранних стадиях болезни, при этом удается продлить жизнь животных до 3–5 лет. Прогноз продолжительности жизни животных, имеющих рак молочной железы, в первую очередь зависит от стадии процесса, от морфологического строения опухоли, ее биологических характеристик и способности к прогрессии [1–4].

При этом, как показали собственные исследования, в целом злокачественные новообразования связаны не только с дисгормональной патологией, но и со специфическим опухолевым раздражением, имеющим мультифакториальную природу [5].

Также необходимо отметить, что этиологическое значение в развитии злокачественных опухолей имеют самые разнообразные факторы как прямого, так и косвенного воздействия. Прямое воздействие на организм оказывают физические, химические, генетические, гормональные, возрастные, инфекционные (онкогенные ДНК- и РНК-вирусы) и иммунные факторы [4, 5]. Косвенное воздействие на канцерогенез могут оказывать

факторы, связанные с особенностями кормления [6] и содержания животных.

Bernardo G., Le Noci V., Di Modica M., Montanari E., Triulzi T., Pupa S.M., Tagliabue E., Sommariva M., Sfondrini L отмечают наличие глубокой взаимосвязи между составом микробиоты в желудочно-кишечном тракте и прогрессированием рака молочной железы [7].

Mir R. с соавторами [8] также отмечают, что микробиота кишечника играет решающую роль в регуляции иммунного ответа, высвобождении метаболитов и регуляции уровня эстрогена, все из которых имеют значение для роста рака молочной железы.

Недавние исследования, проведенные Le Noci V. [9] и Chiodoni C. [10], раскрыли аспекты взаимосвязи между микробиотой и раком молочной железы. Было обнаружено, что эти локализованные микробные сообщества изменяются при наличии опухоли по сравнению со здоровой тканью молочной железы, раскрывая их потенциальный вклад в прогрессирование опухоли.

Таким образом, мультифакторность природы канцерогенеза оставляет широкое поле для исследований в этой области.

*Целью данного исследования является оценка подходов к диагностике животных с подозрением на рак молочной железы.*

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальная работа охватывает период с марта 2023 по июнь 2025 года на базе ветеринарной клиники «Доктор Вет» (Рязань, Россия).<sup>1</sup>

В качестве объекта исследования были выбраны самки мелких домашних животных (кошек, собак и крыс) разных возрастов и пород.

В исследуемую группу вошло 398 животных, поступивших на первичный прием в клинику с подозрением на онкологический процесс, подтвердившийся в ходе дальнейшей диагностики.

Проведение экспериментальной работы было основано на комплексном методическом подходе к каждому животному и включало в себя: сбор анамнеза, клинический осмотр, гематологические исследования, специальные методы диагностики, представленные микроскопией (микроскоп «MICROSCREEN», «Hospitex Diagnostics», Италия), рентгенографией (портативный рентгеновский аппарат «ORANGE-1060HF», «EcoRay», Южная Корея), компьютерной (компьютерный томограф «NeuViz 16 Classic», «Neusoft», Китай) и магнитно-резонансной (ветеринарная МРТ-система «Esaote Vet-MR», «Esaote», Италия) томографией.

Необходимость проведения дополнительных исследований определялась в индивидуальном порядке для каждого животного в зависимости от локализации первичного опухолевого очага.

<sup>1</sup> Официальный сайт ветеринарной клиники «Доктор Вет». <https://doctorvet62.ru/>

Верификацию онкологического процесса производили на основании результатов патоморфологических исследований биопсийного материала. Для обработки полученных в ходе исследования результатов были сформированы базы данных в программе Microsoft Excel (США).

Методы лечения включали в себя оперативное вмешательство и химиотерапию. Все манипуляции и диагностические тесты проводились согласно этике ответственного обращения с животными.<sup>2</sup>

**Результаты и обсуждение / Results and discussion**

Как показали проведенные исследования, наиболее часто рак молочной железы у самок домашних животных диагностируется в узловой и диффузной формах. В рамках экспериментальной работы были обследованы 196 собак, 190 кошек и 12 крыс. Необходимо отметить, что в последние годы увеличилось количество обращений в клинику с подозрением на рак молочной железы у крыс. Несмотря на довольно короткую продолжительность жизни, по сравнению с другими видами домашних питомцев, и ценовой диапазон лечения, животных приносят на лечение (рис. 1).

В связи с тем, что у крыс имеется естественная предрасположенность к онкологии, опухоли могут достигать довольно больших размеров (рис. 2) и метастазировать, что подтверждается клиническими исследованиями [11–14].

Видовая структура обследованных самок представлена на рисунке 3.

Из данных, представленных на рисунке 3, видно, что количественное соотношение кошек и собак в исследовании сопоставимо. Исключение составляет лишь процент обследованных крыс по вышеуказанным причинам.

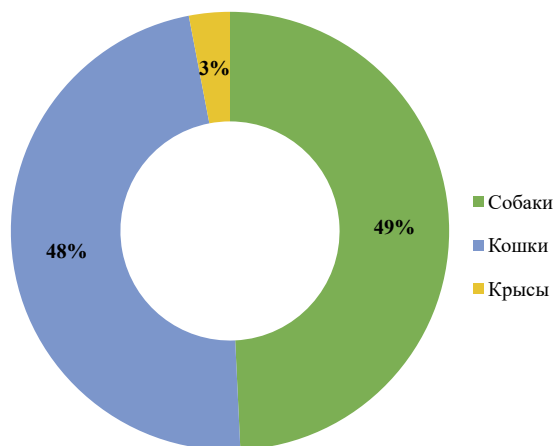
Как показали проведенные исследования, прогностическими факторами злокачественных опухолей молочных желез у самок мелких домашних

**Рис. 2.** Размер извлеченной фиброаденомы в ходе проведения операции на молочной железе крысы Эры, фото К.А. Иванищева

**Fig. 2.** The size of the extracted fibroadenoma during surgery on the mammary gland of the rat Era, photo by K.A. Ivanishchev



**Рис. 3.** Видовая структура обследованных самок  
**Fig. 3.** Species structure of the examined females



животных являются: размеры новообразования, состояние лимфатических узлов, наличие отдаленных метастазов, морфологический тип опухоли, гистологическая степень ее злокачественности, уровень ядерной дифференцировки и показатели пролиферативной активности.

На эффективность лечения и реабилитации влияют возраст и статус стерилизации животных, поскольку рак молочной железы зачастую является гормонально-зависимой опухолью [15–19], это подтверждают не только проведенные нами исследования, но и данные, полученные другими учеными [20–24].

Характеристика обследованных самок с учетом возраста и статуса стерилизации представлена в таблице 1.

**Рис. 1.** Крыса Эра до (слева) и после (справа) операции по удалению фиброаденомы молочной железы, фото К.А. Иванищева

**Fig. 1.** Rat Era before (left) and after (right) surgery to remove fibroadenoma of the mammary gland, photo by K.A. Ivanishchev



<sup>2</sup> Федеральный закон от 27.12.2018 N 498-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

**Таблица 1. Характеристика обследованных самок с учетом возраста и статуса стерилизации**

**Table 1. Characteristics of the examined females taking into account age and sterilization status**

Статус стерилизации и возраст животных	Собаки, n = 196		Кошки, n = 190		Крысы, n = 12	
	абс. знач.	отн. знач., %	абс. знач.	отн. знач., %	абс. знач.	отн. знач., %
Стерилизованные	125	64	154	81	–	–
Интактные	71	36	36	19	12	100
1–3 года	2	1,0	2	1,1	12	100
4–6 лет	7	3,6	5	2,6	–	–
7–9 лет	49	25,0	42	22,1	–	–
10–12 лет	93	47,4	69	36,3	–	–
13–15 лет	35	17,9	47	24,7	–	–
16–18 лет	9	4,1	20	10,5	–	–
19–20 лет	2	1,0	4	1,6	–	–
Старше 20 лет	–	–	2	1,1	–	–

Как видно из таблицы 1, среди осмотренных самок животных стерилизованы 64 % собак и 81 % кошек. Интактными являются 36% собак, 19% кошек и все поступившие на осмотр самки крыс.

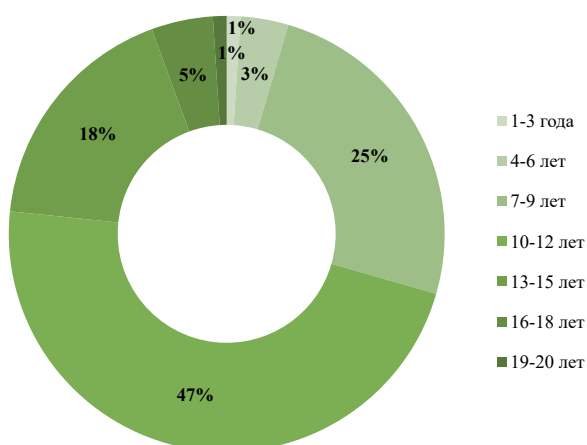
Возраст осмотренных крыс составлял от 1 до 3 лет. Возрастные диапазоны кошек и собак представлены на рисунках 4 и 5.

Как видно из рисунка 4, основная масса самок собак, поступивших на обследование с подозрением на рак молочной железы, относится к возрастным группам диапазона от 7 до 15 лет (7–9 лет: 25%, 10–12 лет: 47,4%, 13–15 лет: 17,9%).

Как видно из рисунка 5, основная масса самок кошек, поступивших на обследование с подозрением на рак молочной железы, относится к возрастным группам диапазона от 7 до 18 лет (7–9 лет: 22,1%, 10–12 лет: 36,3%, 13–15 лет: 24,7%, 16–18 лет: 10,5%).

Как показали проведенные исследования, у осмотренных самок крыс наиболее часто встречается фиброаденома молочной железы (рис. 1–2), у кошек, с точки зрения диагностики, наиболее интересны случаи тубуло-папиллярных (рис. 6) и комедокарцином (рис. 7), у собак возрастной

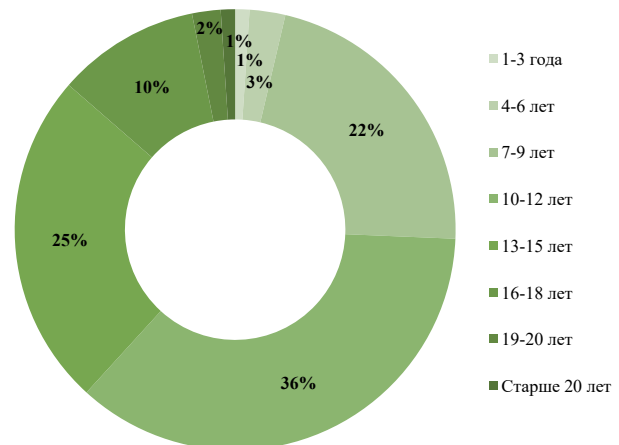
**Рис. 4. Возрастная структура обследованных самок собак**  
**Fig. 4. Age structure of examined female dogs**



категории старше 10 лет было выявлено несколько случаев смешанных опухолей молочной железы, в том числе доброкачественных (рис. 8).

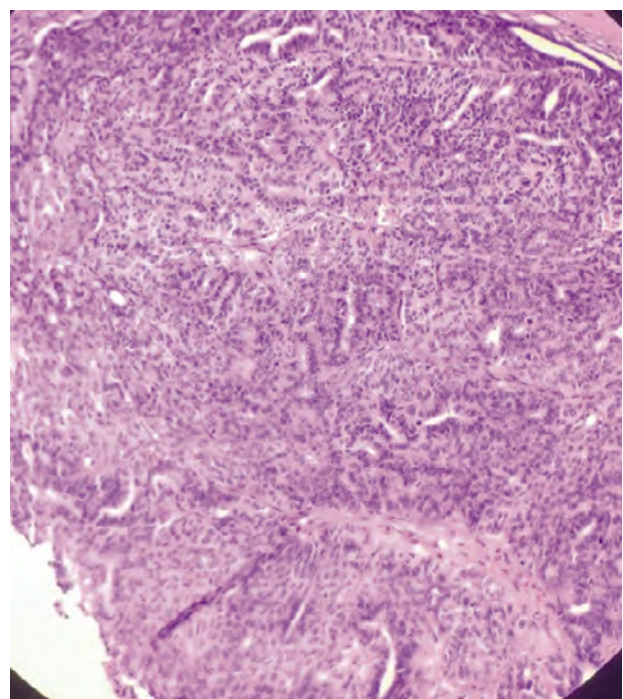
На рисунках 6–8 представлены микропрепараты измененных тканей животных, полученные в процессе проведения диагностики (общепрофессиональный лабораторный микроскоп «MICROSCREEN», «Hospitex Diagnostics»).

**Рис. 5. Возрастная структура обследованных самок кошек**  
**Fig. 5. Age structure of examined female cats**



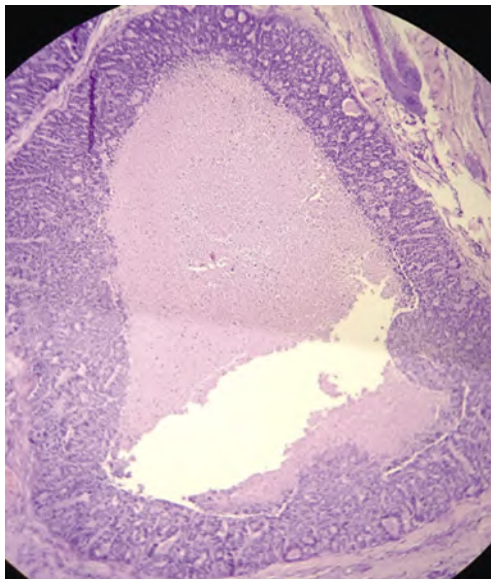
**Рис. 6. Микропрепарат низкодифференцированной тубуло-папиллярной карциномы молочной железы высокой степени злокачественности (G3 по Elston&Ellis, G2 по Mills, G2 по Mitosis-modified Elston&Ellis), полученный от кошки Мани (12 лет, интактна), окрашивание гематоксилин-эозином, x400, фото К.А. Иванишцева**

**Fig. 6. Microscopic preparation of low-differentiated tubulopapillary carcinoma of the mammary gland of high malignancy grade (G3 according to Elston&Ellis, G2 according to Mills, G2 according to Mitosis-modified Elston&Ellis), obtained from the cat Manya (12 years old, intact), stained with hematoxylin and eosin, x400, photo by K.A. Ivanishchev**



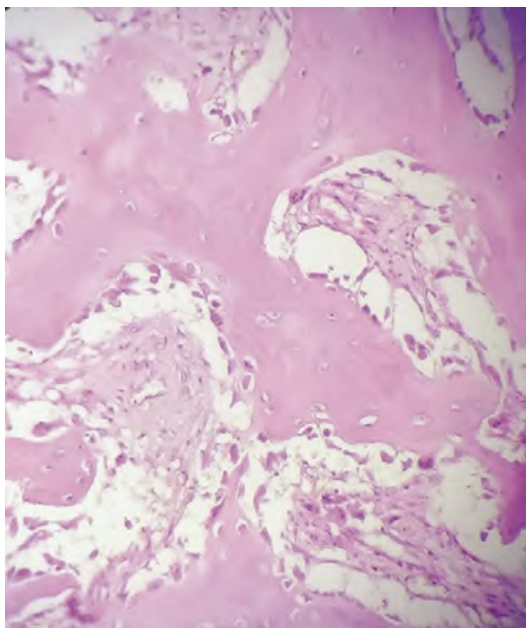
**Рис. 7.** Микропрепарат низкодифференцированной комедокарциномы молочной железы высокой степени злокачественности (G3 по Elston&Ellis, G3 по Mills, G2 по Mitosis-modified Elston&Ellis), полученный от кошки Марты (15 лет, интактна), окрашивание гематоксилин-эозином, x400, фото К.А. Иванищева

**Fig. 7.** Microscopic preparation of low-differentiated comedocarcinoma of the mammary gland of high malignancy (G3 according to Elston&Ellis, G3 according to Mills, G2 according to Mitosis-modified Elston&Ellis), obtained from the cat Marta (15 years old, intact), hematoxylin-eosin staining, x400, photo by K.A. Ivanishchev



**Рис. 8.** Микропрепарат смешанной опухоли молочной железы (G1 по Elston&Ellis), полученный от собаки Рекси (11 лет, интактна), окрашивание гематоксилин-эозином, x400, фото К.А. Иванищева

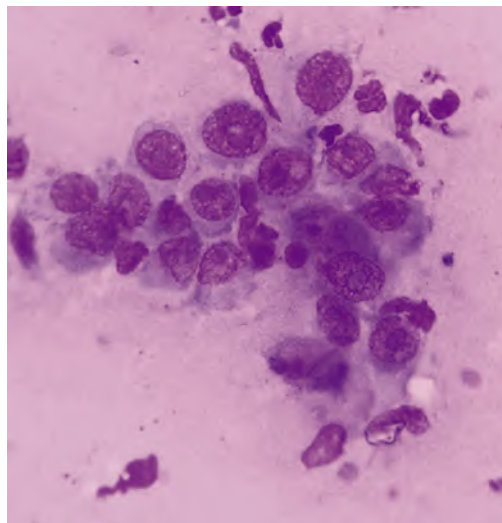
**Fig. 8.** Microscopic specimen of a mixed tumor of the mammary gland (G1 according to Elston & Ellis), obtained from the dog Rexy (11 years old, intact), stained with hematoxylin and eosin, x400, photo by K.A. Ivanishchev



Результативность лечения рака молочной железы зависит не только от статуса стерилизации и возраста самки, но и от своевременности обращения за медицинской помощью. При этом важной проблемой лечения является не только

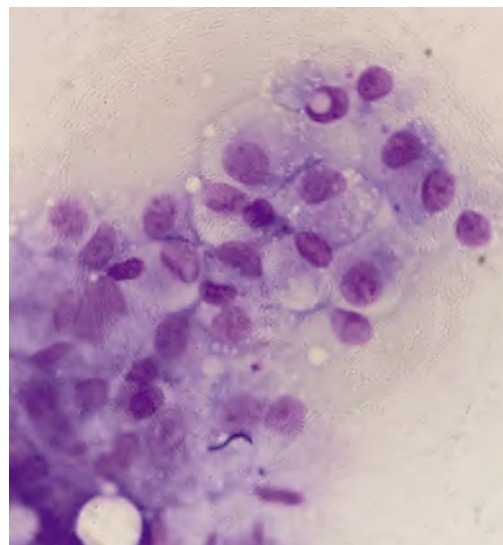
**Рис. 9.** Клетки низкодифференцированной карциномы молочной железы высокой степени злокачественности, полученные от кошки Мани (12 лет, интактна), окрашивание по Романовскому-Гимзе, x1000, фото К.А. Иванищева

**Fig. 9.** Cells of low-differentiated high-grade mammary gland carcinoma obtained from the cat Manya (12 years old, intact), Romanovsky-Giemsa staining, x1000, photo by K.A. Ivanishchev



**Рис. 10.** Клетки низкодифференцированной карциномы молочной железы высокой степени злокачественности, полученные от кошки Марты (15 лет, интактна), окрашивание по Романовскому-Гимзе, x1000, фото К.А. Иванищева

**Fig. 10.** Cells of low-differentiated high-grade mammary gland carcinoma obtained from the cat Martha (15 years old, intact), Romanovsky-Giemsa staining, x1000, photo by K.A. Ivanishchev



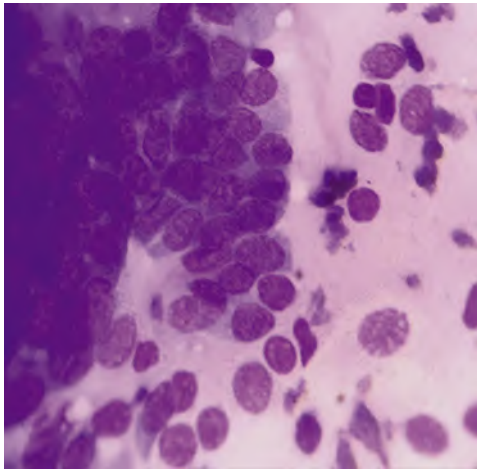
контроль за первичной опухолью, но и точность диагностики, в частности, существенное значение играет выявление степени дифференциации карциномы. На рисунках 9–10 представлены микропрепараты клеток низкодифференцированного рака молочной железы.

На рисунке 11 представлен микропрепарат клеток смешанной опухоли молочной железы.

Как видно из рисунков, клетки высокодифференцированной карциномы молочной железы имеют мало отличий от клеток нормальной, здоровой ткани, в то время как низкодифференцированная

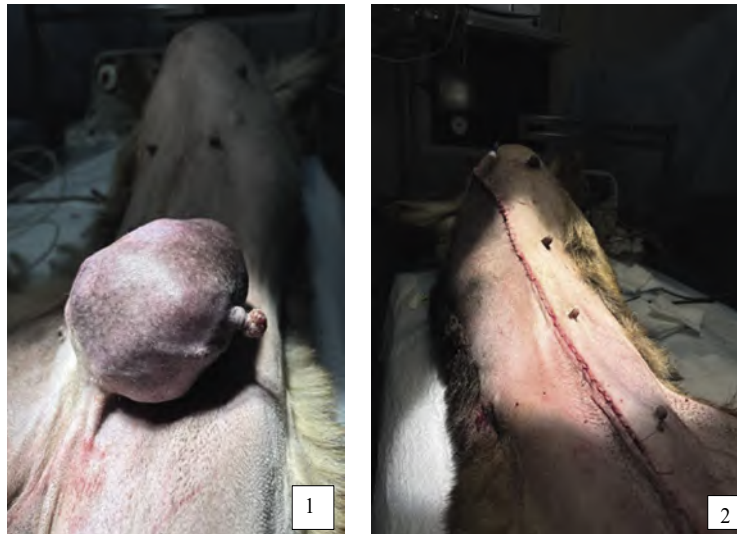
**Рис. 11.** Клетки смешанной опухоли молочной железы, полученные от собаки Рекси (11 лет, интактна), окрашивание по Романовскому-Гимзе,  $\times 1000$ , фото К.А. Иванищева

**Fig. 11.** Mixed mammary gland tumor cells obtained from the dog Rexie (11 years old, intact), Romanovsky-Giemsa staining,  $\times 1000$ , photo by K.A. Ivanishchev



**Рис. 14.** Собака Рекси до (1) и после (2) операции по удалению смешанной опухоли молочной железы, фото К.А. Иванищева

**Fig. 14.** Rexi the dog before (1) and after (2) surgery to remove a mixed mammary tumor, photo by K.A. Ivanishchev



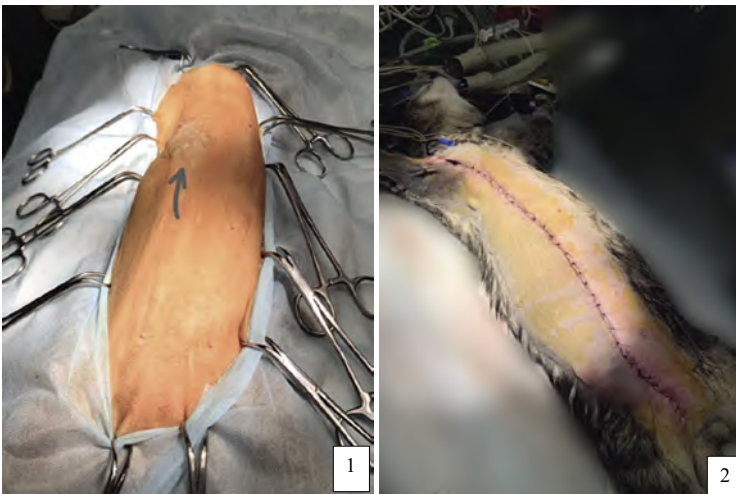
**Рис. 12.** Кошка Марта до (1) и после (2) операции по удалению комедокарциномы молочной железы, фото К.А. Иванищева

**Fig. 12.** Cat Marta before (1) and after (2) surgery to remove comedocarcinoma of the mammary gland, photo by K.A. Ivanishchev



**Рис. 13.** Кошка Маня до (1) и после (2) операции по удалению тубулопапиллярной карциномы молочной железы, фото К.А. Иванищева

**Fig. 13.** Cat Manya before (1) and after (2) surgery to remove tubulopapillary carcinoma of the mammary gland, photo by K.A. Ivanishchev



карцинома диагностически более наглядна на клеточном уровне.

Хирургические методы лечения рака молочной железы дают положительный результат как у самок крыс (рис. 1), так и у самок кошек (рис. 12–13) и собак (рис. 14).

Центральной проблемой лечения рака молочной железы является своевременная диагностика опухолевого очага и его типологизация. Как показывает практика, рак молочной железы на I стадии развития имеет наиболее благоприятный прогноз, ввиду отсутствия процессов метастазирования и нормальному функционированию регионарных лимфоузлов. Рак молочной железы на IV стадии развития имеет куда менее оптимистичный прогноз, ввиду сложности удаления опухоли хирургическим путем, обширного метастазирования и прорастания ее в другие органы и ткани. В связи с чем своевременная диагностика является одним из ключевых факторов успешности лечения, которое также зависит от выбранных методов.

В проведенном нами исследовании применялось как хирургическое лечение, так и методы химиотерапии.

Выбор методов лечения и их эффективность имели некоторую специфику не только по причинам индивидуальных отличий, но и ввиду особенностей разных видов животных.

Для лечения обследованных крыс применялись методы хирургического лечения ввиду их экономической целесообразности и эффективности в

клинических условиях. Химиотерапия у данного вида животных не применялась. В том числе по причинам низкой продолжительности жизни данного вида животных (в среднем — до трех лет).

В отличие от крыс, у кошек и собак продолжительность жизни гораздо выше, имеются свои специфические особенности, которые позволяют успешно комбинировать хирургическое лечение с химиотерапией.

Все животные получали стандартные методы диагностики с гистологическим подтверждением

**Таблица 2. Результаты классификации опухолей молочной железы на основании гистологических исследований**

**Table 2. Results of classification of breast tumors based on histological studies**

Классификация опухолей молочной железы	Собаки, n = 196		Кошки, n = 190		Крысы, n = 12	
	абс. знач.	отн. знач., %	абс. знач.	отн. знач., %	абс. знач.	отн. знач., %
Доброкачественные	43	22	26	14	9	75
Злокачественные, I стадия	61	31	49	26	–	–
Злокачественные, II стадия	17	9	15	8	–	–
Злокачественные, III стадия	63	32	83	43	3	25
Злокачественные, IV стадия	12	6	17	9	–	–

**Таблица 3. Комбинации различных методов лечения рака молочной железы**

**Table 3. Combinations of different treatment methods for breast cancer**

Методы лечения	Собаки, n = 196		Кошки, n = 190		Крысы, n = 12	
	абс. знач.	отн. знач., %	абс. знач.	отн. знач., %	абс. знач.	отн. знач., %
Только хирургическое лечение	55	28	43	23	12	100
Комплексное хирургическое и химиотерапевтическое лечение препаратами:	141	72	147	77	–	–
«Доксорубицин»	81	41	83	44	–	–
«Таксотер»	60	31	64	33	–	–

**Таблица 4. Результаты анализа положительных ответов организма животных на различные методы лечения рака молочной железы**

**Table 4. Results of the analysis of positive responses of the animal organism to various methods of treating breast cancer**

Методы лечения	Прогрессирование		Медиана безрецидивного периода (МБП)		Медиана продолжительности жизни (МПЖ)	
	Кошки	Собаки	Кошки	Собаки	Кошки	Собаки
Хирургическое лечение	83%	71%	245 дн.	243 дн.	251 дн.	248 дн.
Химиотерапевтическое лечение препаратом «Доксорубицин» (регионарные лимфоузлы поражены)	48%	51%	321 дн.	267 дн.	336 дн.	283 дн.
Химиотерапевтическое лечение препаратом «Доксорубицин» (регионарные лимфоузлы не затронуты)	21%	24%	791 дн.	495 дн.	875 дн.	626 дн.
Химиотерапевтическое лечение препаратом «Таксотер»	28%	3%	227 дн.	185 дн.	240 дн.	198 дн.

<sup>3</sup> Рекомендации по использованию справочников TNM-классификации злокачественных новообразований. Федеральный фонд обязательного медицинского страхования. Письмо от 17 июля 2025 года № 00-10-92-5-06/11061.

Электронный ресурс — <https://docs.cntd.ru/document/1313640141?marker=64S0IJ>

<sup>4</sup> Реестр лекарственных средств России [Электронный ресурс] режим доступа:

«Доксорубицин»: <https://www.rlsnet.ru/drugs/doksorubicin-1268?ysclid=mgaze6fcz241817126>

«Таксотер»: <https://www.rlsnet.ru/drugs/taksoter-2922?ysclid=mgazmjpxbt120291047>

диагноза и уточнением стадии заболевания. На основании проведенных гистологических исследований в соответствии с клинической классификацией TNM<sup>3</sup> опухоли были отнесены к категориям, представленным в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, доля доброкачественных новообразований у обследованных нами собак составляет 22%, у кошек встречается в объеме 14%, а у поступивших на осмотр крыс — 75% (в ратфологии фиброаденома молочной железы считается доброкачественной опухолью).

Доля злокачественных образований у обследованных собак составляет 78%, у кошек — 86%, у крыс — 25%.

Наибольшая доля злокачественных опухолей молочной железы приходится на III стадию онкологии у самок всех видов обследованных животных (собаки — 32%, кошки — 43%, крысы — 75%).

Для лечения животных применялись хирургические (унилатеральная мастэктомия с обязательной лимфаденэктомией) и химиотерапевтические методы с назначением противоопухолевых препаратов «Доксорубицин» (действующее вещество: L01DB01 Doxorubicin) и «Таксотер» (действующее вещество: L01CD02 Docetaxel) по стандартным схемам с учетом гистологического типа опухоли.<sup>4</sup>

Комбинации различных методов лечения рака молочной железы представлены в таблице 3.

Как видно из таблицы 3, мастэктомию без химиотерапевтического лечения получили 55 собак (28%), 43 кошки (17%) и 12 крыс (100%) с учетом гистологического типа опухоли и индивидуальных особенностей организма.

Лечение препаратом «Доксорубицин» получили 81 собака (41%) и 83 кошки (44%), препарат «Таксотер» был назначен 60 собакам (31%) и 64 кошкам (33%). Крысам химиотерапия не назначалась ввиду экономической нецелесообразности и возрастных особенностей поступивших животных.

Результаты анализа положительных ответов организма животных на различные методы лечения рака молочной железы представлены в таблице 4.

Крысы были исключены из выборки ввиду ограниченного круга применявшихся методов лечения и низкой продолжительности жизни по сравнению с кошками и собаками.

Как показывает анализ таблицы 4, наиболее благоприятный прогноз при лечении рака молочной железы у животных препаратом «Доксорубицин» наблюдается в том случае, когда регионарные лимфатические узлы не затронуты процессом канцерогенеза. У самок кошек и собак в этом случае наблюдается наибольшая медиана продолжительности жизни (875 дней и 626 дней соответственно) и медиана безрецидивного периода (791 день и 495 дней соответственно).

Таким образом, применение препарата «Доксорубицин» в качестве химиотерапевтической поддержки хирургического лечения в комплексной терапии рака молочной железы является целесообразным.

### Выводы/Conclusions

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Проведенные медицинские наблюдения показали, что у осмотренных самок крыс наиболее часто встречается фиброаденома молочной железы, у кошек наиболее часто диагностировались случаи тубуло-папиллярных и комедокарцином, у собак наиболее распространены тубулярная, папиллярная и дуктальная карциномы.

2. У собак и кошек преобладает III стадия, тогда как у крыс в 75% случаев диагностированы доброкачественные новообразования.

3. Наиболее благоприятный прогноз при лечении рака молочной железы у самок разных видов животных препаратом «Доксорубицин» наблюдается в том случае, когда регионарные лимфатические узлы не затронуты процессом канцерогенеза. Применение препарата в качестве химиотерапевтической поддержки хирургического лечения в комплексной терапии рака молочной железы является наиболее результативным у кошек.

4. Медиана продолжительности жизни кошек при химиотерапевтической поддержке препаратом «Доксорубицин» составляет 875 дней в случаях, когда регионарные лимфатические узлы не затронуты процессом канцерогенеза, и 336 дней при поражении регионарных лимфоузлов, что также является более результативным показателем по сравнению с только прооперированными животными, у которых МПЖ составляет 251 день.

5. При химиотерапевтической поддержке в послеоперационном периоде препаратом «Доксорубицин» рака молочной железы у кошек с различными гистологическими типами опухолей, выживаемость в 6 месяцев достигнута у 84% животных, 1 год — у 72%, 1,5 года — у 56%, 2 года — у 49%.

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. Мнихович М.В. и др. Экспериментальная модель индуцированного канцерогенеза. Методические особенности индукции рака молочной железы. *Одноразовые морфологические чтения. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием*. Воронеж: Научная книга. 2023; 109–112. EDN WMTJQE
2. Хакимова Г.Г., Решетов И.В., Зирияходжаев А.Д., Старкова М.В., Хакимова Ш.Г., Тимошкин В.О. Чрескожное ультразвуковое исследование с контрастным усилением для диагностики сторожевых лимфатических узлов при раннем раке молочной железы. *MD-Onco*. 2024; 4(4): 111–118. <https://doi.org/10.17650/2782-3202-2024-4-4-111-118>
3. Вильмис Д.А., Меликова Ю.Н., Чечнева А.В. Системное влияние онкологического процесса на организм собак. *Аграрная наука*. 2024; (10): 37–43. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-37-43>
4. Вильмис Д.А., Меликова Ю.Н., Чечнева А.В. Ретроспективный анализ данных о распространенности злокачественных новообразований у собак и кошек. *Аграрная наука*. 2024; (8): 40–45. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-40-45>
5. Ляшук Ю.О., Романов К.И., Иванищев К.А., Курматова А.В., Самарин Г.Н. Анализ факторов риска развития плоскоклеточной карциномы и оценка подходов к ее лечению. *Аграрная наука*. 2025; (5): 48–55. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-48-55>
6. Гусарова А.В., Иванищев К.А., Ляшук Ю.О., Овчинников А.Ю., Самарин Г.Н. Влияние препаратов, содержащих глюконолактон, на морфологические показатели крови кроликов. *Аграрная наука*. 2024; (9): 48–53. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-48-53>
7. Bernardo G. et al. The Emerging Role of the Microbiota in Breast Cancer Progression. *Cells*. 2023; 12(15): 1945. <https://doi.org/10.3390/cells12151945>

### REFERENCES

1. Mnikhovich M.V. et al. Experimental model of induced carcinogenesis. Methodological features of breast cancer induction. *Odnoral morphological readings. Proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation*. Voronezh: Nauchnaya kniga. 2023; 109–112 (in Russian). EDN WMTJQE
2. Khakimova G.G., Reshetov I.V., Zikiryakhodzhaev A.D., Starkova M.V., Khakimova S.G., Timoshkin V.O. Transcutaneous contrast-enhanced sonography for diagnosis of sentinel lymph nodes in early breast cancer. *MD-Onco*. 2024; 4(4): 111–118 (in Russian). <https://doi.org/10.17650/2782-3202-2024-4-4-111-118>
3. Vilmis D.A., Melikova J.N., Chechneva A.V. Systemic effect of the oncological process on the dog's body. *Agrarian science*. 2024; (10): 37–43 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-37-43>
4. Vilmis D.A., Melikova J.N., Chechneva A.V. Retrospective analysis of data on the prevalence of malignant neoplasms in dogs and cats. *Agrarian science*. 2024; (8): 40–45 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-40-45>
5. Lyashchuk Yu.O., Romanov K.I., Ivanishchev K.A., Kurmatova A.V., Samarin G.N. Analysis of risk factors for the development of squamous cell carcinoma and evaluation of approaches to its treatment. *Agrarian science*. 2025; (5): 48–55 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-48-55>
6. Gusarova A.V., Ivanishchev K.A., Lyashchuk Yu.O., Ovchinnikov A.Yu., Samarin G.N. The influence of drugs containing gluconolactone on the morphological parameters of the blood of rabbits. *Agrarian science*. 2024; (9): 48–53 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-48-53>
7. Bernardo G. et al. The Emerging Role of the Microbiota in Breast Cancer Progression. *Cells*. 2023; 12(15): 1945. <https://doi.org/10.3390/cells12151945>

8. Mir R. *et al.* Emerging Role of Gut Microbiota in Breast Cancer Development and Its Implications in Treatment. *Metabolites*. 2024; 14(12): 683. <https://doi.org/10.3390/metabo14120683>
9. Le Noci V., Bernardo G., Bianchi F., Tagliabue E., Sommariva M., Sfondrini L. Toll Like Receptors as Sensors of the Tumor Microbial Dysbiosis: Implications in Cancer Progression. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2021; 9: 732192. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.732192>
10. Chiodoni C. *et al.* A three-gene signature marks the time to locoregional recurrence in luminal-like breast cancer. *ESMO Open*. 2023; 8(4): 101590. <https://doi.org/10.1016/j.esmoop.2023.101590>
11. Ляшенко И.С., Романова М.В., Шатова Ю.С., Гончарова А.С. Создание подкожной PDX-модели тройного негативного рака молочной железы человека на мышах со сниженным иммунитетом — линия Balb/c Nude. *Научные исследования в современном мире. Теория и практика. Сборник статей XXII международной научной конференции*. СПб.: НАЦРАЗВИТИЕ. 2023; 8–10. EDN NSUCYS
12. Бодрова Н.Р., Черкас В.Н. Микробиота молочной железы при индуцированном раке молочной железы крысы. *Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о земле: теоретические и прикладные аспекты. Материалы симпозиума XIX (LI) Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Кемерово: КемГУ. 2024; 25(2): 162–165. EDN CEPYUO
13. Александров В.А., Стуков А.Н., Змитриченко Ю.Г., Беляева О.А., Точильников Г.В. Ингибирующий эффект ломустина на рост спонтанных HER2-позитивных опухолей молочной железы у трансгенных мышей. *Российский биотерапевтический журнал*. 2024; 23(1): 45–50. <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2024-23-1-45-50>
14. Черкас В.Н., Кабаков А.В., Повешченко А.Ф., Казаков О.В., Леляк А.А., Козлова О.С. Анализ изменения кишечной микробиоты у самок крыс Wistar на этапе индукции рака молочной железы N-метил-N-нитрозомочевинной. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2024; 44(4): 119–125. <https://doi.org/10.18699/SSMJ20240413>
15. Апиева Э.Ж., Ошкина Л.Л., Генгин И.Д., Князева Д.О. Опухоль молочной железы у мелких домашних животных. *Инновационные идеи молодых — десятилетие науки и технологий. Сборник материалов Международной научно-практической конференции*. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2023; 2: 407–410. EDN WGEHVU
16. Шаповалова И.А. Нейросетевой подход при моделировании иммунной системы с учетом запаздывания. *Южно-Сибирский научный вестник*. 2021; (3): 43–48. <https://doi.org/10.25699/SSSB.2021.37.3.016>
17. Немцева Ю.С. Проведение фотодинамической терапии при раке молочной железы у кошек. *Современные научные тенденции в ветеринарии. Сборник статей IV Международной научно-практической конференции*. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2025; 146–149. EDN ZEBYGX
18. Самчук В.И. Методика хирургической профилактики рака молочной железы у мелких домашних животных. *Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО Омский ГАУ. Серия «Ветеринария». Сборник материалов по итогам научно-исследовательской деятельности*. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина. 2023; 391–393. EDN OCNOJP
19. Третьякова В.А. Сравнительная характеристика применения «Доксорубина», «Таксотера» и их комбинации в лечении рака молочной железы мелких домашних животных. *Сельскохозяйственные науки. Материалы 61-й Международной научной студенческой конференции*. Новосибирск: Новосибирский государственный университет. 2023; 138. EDN EXRLCI
20. Слепова М.И. Практика лечения опухолей молочных желез суки в условиях ветеринарной клиники города Ярославля. *Молодежь. Наука. Инновации: Сборник научных трудов по материалам III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Ярославль: Ярославский государственный аграрный университет. 2025; 233–237. EDN RTENFH
8. Mir R. *et al.* Emerging Role of Gut Microbiota in Breast Cancer Development and Its Implications in Treatment. *Metabolites*. 2024; 14(12): 683. <https://doi.org/10.3390/metabo14120683>
9. Le Noci V., Bernardo G., Bianchi F., Tagliabue E., Sommariva M., Sfondrini L. Toll Like Receptors as Sensors of the Tumor Microbial Dysbiosis: Implications in Cancer Progression. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2021; 9: 732192. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.732192>
10. Chiodoni C. *et al.* A three-gene signature marks the time to locoregional recurrence in luminal-like breast cancer. *ESMO Open*. 2023; 8(4): 101590. <https://doi.org/10.1016/j.esmoop.2023.101590>
11. Lyashenko I.S., Romanova M.V., Shatova Yu.S., Goncharova A.S. Creation of a subcutaneous PDX model of triple negative human breast cancer in mice with reduced immunity - Balb/c Nude line. *Scientific research in the modern world. Theory and practice. Collection of articles of the XXII International scientific conference*. St. Petersburg: NATSRAZVITIE. 2023; 8–10 (in Russian). EDN NSUCYS
12. Bodrova N.R., Cherkas V.N. Microbiota of the mammary gland in induced rat mammary cancer. *Interdisciplinary Approaches in Biology, Medicine and Geosciences: Theoretical and applied aspects. Proceedings of the symposium of the XIX (LI) International scientific conference of students, postgraduates and young scientists*. Kemerovo: Kemerovo State University. 2024; 25(2): 162–165 (in Russian). EDN CEPYUO
13. Alexandrov V.A., Stukov A.N., Zmitrichenko Y.G., Belyaeva O.A., Tochilnikov G.V. Inhibitory effect of lomustine on the growth of spontaneous HER2-positive mammary tumors in transgenic mice. *Russian Journal of Biotherapy*. 2024; 23(1): 45–50 (in Russian). <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2024-23-1-45-50>
14. Cherkas V.N., Kabakov A.V., Poveshchenko A.F., Kazakov O.V., Lelyak A.A., Kozlova O.S. Analysis of changes in intestinal microbiota in female Wistar rats at the stage of breast cancer induction by N-methyl-N-nitrosourea. *Siberian Scientific Medical Journal*. 2024; 44(4): 119–125 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/SSMJ20240413>
15. Apieva E.Zh., Oshkina L.L., Gengin I.D., Knyazeva D.O. Breast tumor in small pets. *Innovative ideas of the youth — for the decade of science and technology. Collection of materials of the International scientific and practical conference*. Penza: Penza State Agrarian University. 2023; 2: 407–410 (in Russian). EDN WGEHVU
16. Shapovalova I.A. Time delay neural network modeling immune system. *South-Siberian Scientific Bulletin*. 2021; (3): 43–48 (in Russian). <https://doi.org/10.25699/SSSB.2021.37.3.016>
17. Nemtseva I.S. Photodynamic therapy for breast cancer in cats. *Modern scientific trends in veterinary medicine. Collection of articles from the IV International scientific and practical conference*. Penza: Penza State Agrarian University. 2025; 146–149 (in Russian). EDN ZEBYGX
18. Samchuk V.I. Methods of surgical prevention of breast cancer in small pets. *Catalog of scientific and innovative developments of the Omsk State Agrarian University. Series "Veterinary". Collection of materials based on the results of research activities*. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. 2023; 391–393 (in Russian). EDN OCNOJP
19. Tret'yakova V.A. Comparative characteristics of the use of "Doxorubicin", "Taxotere" and their combination in the treatment of breast cancer in small domestic animals. *Agriculture sciences. Proceedings of the 61<sup>st</sup> International Scientific Student Conference*. Novosibirsk: Novosibirsk State University. 2023; 138 (in Russian). EDN EXRLCI
20. Slepova M.I. Treatment of mammary gland tumors in a bitch using a veterinary clinic in Yaroslavl. *Youth. Science. Innovations: Collection of scientific papers based on the materials of the III All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates, and young scientists*. Yaroslavl: Yaroslavl State Agrarian University. 2025; 233–237. (in Russian). EDN RTENFH

21. Пигарева Г.П., Митрофанова Е.О. Частота развития опухолей молочных желез у нестерилизованных собак. *Актуальные проблемы репродуктивного здоровья животных: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию Вятского государственного агротехнологического университета и 95-летию со дня рождения доктора ветеринарных наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации Александра Ивановича Варганова.* Сыктывкар: ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. 2025; 312–314. EDN ZHWQPF.

22. Головина А.В. Клинический случай. Аденома молочной железы. *Ветеринарное акушерство, гинекология и андрология животных: сборник клинических случаев студентов факультета ветеринарной медицины и экспертизы по проблемам.* Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2024; 248–249. EDN TOATMU.

23. Смирнов Г.И. Клинический случай: аденокарцинома молочной железы у кошки. *Ветеринарное акушерство, гинекология и андрология животных: сборник клинических случаев студентов факультета ветеринарной медицины и экспертизы по проблемам.* Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2024; 208–209. EDN PTBPYO.

24. Шитова М.В. Клинический случай: карцинома молочной железы у собаки. *Ветеринарное акушерство, гинекология и андрология животных: сборник клинических случаев студентов факультета ветеринарной медицины и экспертизы по проблемам.* Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2024; 16–17. EDN HCOIBL.

21. Pigareva G.P., Mitrofanova E.O. Incidence of mammary gland tumors in unsterilized dogs. *Actual problems of animal reproductive health: Materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 95<sup>th</sup> anniversary of the Vyatka State Agrotechnological University and the 95<sup>th</sup> anniversary of the birth of Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation Alexander Ivanovich Varganov.* Syktyvkar: Federal Research Center Komi Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2025; 312–314. (in Russian). EDN ZHWQPF.

22. Golovina A.V. Clinical case. Adenoma of the mammary gland. *Veterinary obstetrics, gynecology and andrology of animals: a collection of clinical cases of students of the faculty of veterinary medicine and expertise on problems.* Ekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2024; 248–249. (in Russian). EDN TOATMU.

23. Smirnov G.I. Clinical case: adenocarcinoma of the mammary gland in a cat. *Veterinary obstetrics, gynecology and andrology of animals: a collection of clinical cases of students of the faculty of veterinary medicine and expertise on problems.* Ekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2024; 208–209. (in Russian). EDN PTBPYO.

24. Shitova M.V. Clinical case: carcinoma of the mammary gland in a dog. *Veterinary obstetrics, gynecology, and andrology of animals: a collection of clinical cases by students of the Faculty of Veterinary Medicine and expert examination of problems.* Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2024; 16–17. (in Russian). EDN HCOIBL.

## ОБ АВТОРАХ

### Юлия Олеговна Лящук<sup>1</sup>

кандидат технических наук, научный сотрудник  
ularzn@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3612-1707>

### Кирилл Игоревич Романов<sup>2</sup>

кандидат биологических наук, доцент кафедры анатомии и физиологии животных  
kirill.romanov1993@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1606-7504>

### Константин Александрович Иванищев<sup>2,3</sup>

– кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры анатомии и физиологии животных<sup>2</sup>;  
– ветеринарный врач<sup>3</sup>  
konstantinivanishev@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0535-4070>

### Дмитрий Юрьевич Павкин<sup>1</sup>

кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
dimqaqa@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

### Геннадий Николаевич Самарин<sup>1</sup>

доктор технических наук, главный научный сотрудник  
samaringn@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4972-8647>

<sup>1</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ  
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

<sup>2</sup> Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева  
ул. Костычева, 1, Рязань, 390044, Россия

<sup>3</sup> Ветеринарная клиника «Доктор Вет»  
ул. Новоселов, 37, Рязань, 390048, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

### Yuliya Olegovna Lyashchuk<sup>1</sup>

candidate of technical sciences, researcher  
ularzn@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3612-1707>

### Kirill Igorevich Romanov<sup>2</sup>

candidate of biological sciences, associate professor of the department of animal anatomy and physiology  
kirill.romanov1993@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1606-7504>

### Konstantin Aleksandrovich Ivanishchev<sup>2,3</sup>

– candidate of veterinary sciences, associate professor of the department of animal anatomy and physiology<sup>2</sup>;  
– veterinarian<sup>3</sup>  
konstantinivanishev@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0535-4070>

### Dmitry Yurievich Pavkin<sup>3</sup>

candidate of technical sciences, senior researcher  
dimqaqa@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

### Gennady Nikolayevich Samarina<sup>1</sup>

doctor of technical sciences, chief researcher  
samaringn@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4972-8647>

<sup>1</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM  
5 1<sup>st</sup> Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia

<sup>2</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev  
1 Kostycheva st., Ryazan, 390044, Russia

<sup>3</sup> «Doctor Vet» Veterinary clinic  
37 Novoselov st., Ryazan, 390048, Russia

А.В. Андреева ✉

А.Р. Шарипов

Ч.Р. Галиева

Башкирский государственный  
аграрный университет, Уфа, Россия✉ [alfia\\_andreeva@mail.ru](mailto:alfia_andreeva@mail.ru)

Поступила в редакцию: 10.11.2025

Одобрена после рецензирования: 15.02.2026

Принята к публикации: 28.02.2026

© Андреева А.В., Шарипов А.Р.,  
Галиева Ч.Р.

Alfia V. Andreeva ✉

Almaz R. Sharipov

Chulpan R. Galieva

Bashkir State Agrarian University, Ufa,  
Russia✉ [alfia\\_andreeva@mail.ru](mailto:alfia_andreeva@mail.ru)

Received by the editorial office: 10.11.2025

Accepted in revised: 15.02.2026

Accepted for publication: 28.02.2026

© Andreeva A.V., Sharipov A.R.,  
Galieva Ch.R.

## Комплексная диагностика и терапия ламинита у спортивных лошадей в условиях ипподрома

### РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты исследования по диагностике и лечению ламинита у спортивных лошадей в условиях ипподрома «Акбузат». Ламинит — тяжелое и широко распространенное заболевание копыт у лошадей, характеризующееся асептическим воспалением ламинарной ткани, что приводит к нарушению связи между копытной костью и роговой капсулой. Эта патология сопровождается сильнейшим болевым синдромом, а в тяжелых случаях — ротацией и опущением копытной кости, что часто заканчивается потерей работоспособности и эвтаназией животного. Актуальность проблемы в современном коневодстве обусловлена значительными экономическими убытками и серьезным воздействием на благополучие животных, при этом основными провоцирующими факторами выступают алиментарные нарушения и интенсивные физические нагрузки. Целью настоящего исследования явилось углубленное клинико-лабораторное описание комплексного подхода к диагностике и терапии ламинита на примере отдельных случаев у спортивных лошадей. В исследовании использовались клинический, рентгенологический и лабораторный методы диагностики. На основе обследования лошадей с острой и хронической формой ламинита были применены дифференцированные протоколы лечения, включавшие диетотерапию, фармакотерапию (НПВП, антикоагулянты), криотерапию и ортопедическую ковку. В результате у животных с острой формой достигнуто полное выздоровление, а у лошадей с хроническим ламинитом — стабилизация состояния и улучшение качества жизни. В работе подчеркивается важность превентивных мер, включающих контроль рациона, мониторинг веса и регулярный ветеринарный осмотр. Результаты исследования могут быть внедрены в практику ветеринарных служб ипподромов и конно-спортивных клубов.

**Ключевые слова:** спортивные лошади, ламинит, диагностика, профилактика, лечение, диетотерапия, ортопедическая ковка, криотерапия

**Для цитирования:** Андреева А.В., Шарипов А.Р., Галиева Ч.Р. Комплексная диагностика и терапия ламинита у спортивных лошадей в условиях ипподрома. *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 28–33.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-28-33>

## Comprehensive diagnosis and therapy of laminitis in sports horses at a racetrack

### ABSTRACT

The article presents the results of a study on the diagnosis and treatment of laminitis in sports horses at the Akbuzat racetrack. Laminitis is a severe and widespread hoof disease in horses, characterized by aseptic inflammation of the laminae tissue, which leads to disruption of the connection between the hoof bone and the horny capsule. This pathology is accompanied by severe pain syndrome, and in severe cases, rotation and omission of the hoof bone, which often results in loss of working capacity and euthanasia of the animal. The urgency of the problem in modern horse breeding is due to significant economic losses and a serious impact on animal welfare, while the main provoking factors are nutritional disorders and intense physical exertion. The purpose of this study was an in-depth clinical and laboratory description of an integrated approach to the diagnosis and treatment of laminitis using the example of individual cases in sports horses. The study used clinical, radiological and laboratory diagnostic methods. Based on the examination of horses with acute and chronic forms of laminitis, differentiated treatment protocols were applied, including diet therapy, pharmacotherapy (NSAIDs, anticoagulants), cryotherapy and orthopedic forging. As a result, animals with an acute form have achieved complete recovery, while horses with chronic laminitis have stabilized their condition and improved their quality of life. The work highlights the importance of preventive measures, including diet control, weight monitoring, and regular veterinary checkups. The results of the study can be implemented in the practice of veterinary services of racetracks and equestrian sports clubs.

**Key words:** sports horses, laminitis, diagnostics, prevention, treatment, diet therapy, orthopedic shoeing, cryotherapy

**For citation:** Andreeva A.V., Sharipov A.R., Galieva Ch.R. Comprehensive diagnosis and therapy of laminitis in sports horses at a racetrack. *Agrarian science*. 2026; 404 (03): 28–33 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-28-33>

## Введение/Introduction

Ламинит представляет собой одно из наиболее серьезных и болезненных заболеваний копыт у лошадей, характеризующееся асептическим воспалением ламинарной (листочковой) ткани, которая обеспечивает связь между копытной костью и роговой капсулой. Данная патология приводит к нарушению кровоснабжения, деструкции соединительных структур, сильному болевому синдрому и, в тяжелых случаях, к смещению или ротации копытной кости, что нередко заканчивается вынужденной эвтаназией животного [1–3].

Современные данные по патофизиологии ламинита указывают на сложный каскадный процесс, инициируемый системным воспалением, эндотоксемией или механической перегрузкой. Ключевым звеном является нарушение микроциркуляции в дермальных сосочках копыта, приводящее к ишемии, некрозу ламинарных клеток и потере структурной целостности поддерживающего аппарата. Это, в свою очередь, ведет к опущению дистальной фаланги внутри роговой капсулы, что и обуславливает основной клинический признак — изнурительную боль и характерную «ламинитную» позу [4,5].

Актуальность проблемы ламинита в современном коневодстве обусловлена его высокой распространенностью, значительными экономическими потерями и серьезным влиянием на благополучие животных. Заболевание занимает второе место после колик по частоте случаев, приводящих к летальному исходу или стойкой утрате работоспособности. Экономический ущерб складывается не только из прямых затрат на лечение, которые могут достигать 200 000 рублей на одно животное, но и из косвенных потерь, связанных со снижением спортивной производительности, упущенной выгодой от участия в соревнованиях и падением рыночной стоимости лошади на 20–50%. Кроме того, существуют скрытые издержки, связанные с длительной реабилитацией, необходимостью приобретения специального оборудования (ортопедические подковы, башмаки) и содержанием нетрудоспособного животного. В масштабах России ежегодные потери от ламинита оцениваются в десятки миллионов рублей [6–8].

Развитие ламинита в значительной степени связано с антропогенными факторами — неправильным кормлением (избыток растворимых углеводов), ожирением, чрезмерными физическими нагрузками, особенно на твердых грунтах, и системными метаболическими нарушениями (например, синдромом инсулинорезистентности). Особую группу риска составляют спортивные лошади, подвергающиеся интенсивным тренировкам, часто в условиях стресса и смены режимов содержания. В связи с этим, разработка эффективных протоколов диагностики, лечения и профилактики ламинита в условиях конкретных хозяйств, таких

как ипподромы, является важной практической задачей ветеринарной медицины [9,10].

*Целью настоящего исследования* явилось углубленное клиничко-лабораторное описание комплексного подхода к диагностике и терапии ламинита на примере отдельных случаев у спортивных лошадей.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить причины и факторы риска развития ламинита у лошадей, содержащихся на ипподроме.
2. Провести комплексную диагностику заболевания, включая клинический осмотр, рентгенографию и лабораторные исследования.
3. Оценить эффективность различных методов терапии (фармакотерапия, диетотерапия, криотерапия, ортопедическаяковка) при остром и хроническом течении ламинита.
4. На основе полученных результатов и анализа факторов риска разработать практические рекомендации по профилактике ламинита для ветеринарных служб ипподромов и конно-спортивных клубов.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Работа выполнялась в период с января по март 2025 года на базе конно-спортивного комплекса и ветеринарной клиники ипподрома «Акбузат» (г. Уфа).

Ипподром характеризуется современными условиями содержания лошадей: индивидуальные денники, сбалансированное кормление, регулярный ветеринарный контроль и тренировочные манежи. Выбор ипподрома «Акбузат» в качестве базы для исследования обусловлен высокой концентрацией спортивных лошадей ценных пород, находящихся в условиях интенсивных тренировочных нагрузок, что делает их репрезентативной выборкой для изучения патологий опорно-двигательного аппарата, в частности, ламинита.

Объектами для исследования послужили лошади с клиническими признаками ламинита:

- Кобыла Братислава (Украинская верховая, 9 лет, 307 кг) — острая фаза.
- Жеребец Нададь (Орловский рысак, 5 лет, 610 кг) — острая фаза.
- Жеребец Зенит (Русский рысак, 7 лет, 580 кг) — острая фаза.
- Жеребец Версаль (Ганноверская, 15 лет, 325 кг) — хроническая форма.

Учитывая редкость одновременного поступления нескольких случаев ламинита в условиях одного хозяйства и сложность формирования большой выборки для столь детального обследования, в данном исследовании представлен углубленный анализ ограниченного числа клинических случаев. Такой подход позволяет провести всестороннюю оценку и продемонстрировать практическую

<sup>1</sup> Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. [https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive\\_201063\\_rus.pdf](https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf)

применимость комплексного диагностического и терапевтического алгоритма.

Все манипуляции с животными проводились в соответствии с этическими нормами<sup>1</sup> и требованиями законодательства Российской Федерации<sup>2</sup>, регламентирующими работу с сельскохозяйственными и лабораторными животными.

Для интерпретации результатов гематологического исследования были использованы референсные значения, установленные при обследовании группы клинически здоровых лошадей (n = 3) в тех же условиях. Методы исследования включали:

1. Клинический осмотр ветеринарными врачами: оценка общего состояния, поведения, упитанности по 9-балльной шкале Хеннеке (Henneke *et al.*, 1983), постановки конечностей, походки, пальпация копыт (температура, болезненность, пульсация пальцевых артерий).

2. Рентгенографию: проводилась в латерально-медиальной проекции с использованием рентгеноконтрастных маркеров (канцелярская кнопка, устанавливаемая в вершину стрелки) на портативном рентгеновском аппарате Dongmun DIG-360 (Dongmun, Южная Корея). Оценивали расстояние между копытной костью и роговой стенкой, угол ротации кости, толщину подошвы, наличие остеолиза.

3. Лабораторную диагностику: общий клинический анализ крови из яремной вены для выявления воспалительных изменений (уровня лейкоцитов, лимфоцитов, гемоглобина) выполнялся на автоматическом гематологическом анализаторе Abacus Junior Vet (Diatron, Венгрия), кровь брали в условиях кафедры морфологии, патологии, фармации и незаразных болезней ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ.

4. Анализ рациона и условий содержания.

Лечебные мероприятия подбирались индивидуально и включали:

1) диетотерапия. Основной рацион представлен качественным сеном с низким содержанием сахара (1,5–2% от массы тела), предварительно вымоченное в воде в течение 12 часов для дальнейшего снижения уровня фруктанов и сахаров, специализированные гранулы с низким содержанием углеводов («Mash diet», ООО «Протектфид», Россия), кормовые добавки («Стоп Ламинит», «Equimins Laminator Supplement Powder»). Кормление осуществлялось малыми порциями 4–5 раз в сутки для поддержания стабильной работы желудочно-кишечного тракта и предотвращения резких скачков инсулина;

2) фармакотерапия: нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП — «Флуниджект»), антикоагулянты (гепарин) для улучшения реологических свойств крови;

3) криотерапия: локальные ледяные ванны для пораженных конечностей (температура ~0 °С,

продолжительность 30 минут, 3 раза в день в остром периоде);

4) ортопедическая ковка: для лошади с хроническим ламинитом применялись индивидуально изготовленные сердцевидные подковы с поддерживающей пластиной для стрелки, изготовленные из алюминиевого прутка. Ковка осуществлялась с использованием силиконового компаунда «Путти» (Vertex dental, Нидерланды) для формирования поддерживающего слепка подошвы. Целью ковки было перераспределение нагрузки с зацепной части на заднюю, поддержка опущенной кости и обеспечение оптимального баланса копыта.

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

У лошадей с острой фазой ламинита клинически отмечалась выраженная хромота, характерная поза с вынесенными вперед грудными конечностями, повышенная местная температура копыт, болезненность при пальпации, беспокойство.

Рентгенографически у этих лошадей было зафиксировано увеличение расстояния между ламинарной тканью и копытной стенкой, что свидетельствовало о нарушении их связи, а также начальные признаки остеолиза (рис. 1, а). Эти изменения подтверждают деструкцию ламинарного аппарата и соответствуют данным литературы по патофизиологии острого ламинита [9].

У жеребца Версаля с хроническим ламинитом наблюдалась периодическая хромота, деформация копыт (уплощение, расширение), изменение угла наклона копытной кости на рентгенограммах (рис. 1, б). Подобные изменения являются следствием длительного воспаления и ремоделирования костной и роговой тканей, что характерно для хронического течения заболевания [11].

Лабораторные исследования показали выраженные отличия в показателях крови у

**Рис. 1.** Рентгенограмма копытной кости при ламините: а — острая форма; б — хроническая форма

**Fig. 1.** X-ray of the hoof bone in laminitis: a — acute form; b — chronic form



а (a)

б (b)

<sup>2</sup>Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

**Таблица 1. Индивидуальные лабораторные показатели крови у лошадей с острой фазой ламинита на момент постановки диагноза**  
**Table 1. Individual laboratory blood counts in horses with acute laminitis at the time of diagnosis**

Животное	Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	Сегментоядерные нейтрофилы, %	Лимфоциты, %	Гемоглобин, г/л
Братислава	14,8	78,5	18,2	140
Надаль	15,9	74,3	20,1	143
Зенит	14,9	75,5	19,6	135
Референсные значения*	6,0–10,5	45–65	25–45	110–130

Примечание: \* – референсные интервалы определены на основе обследования клинически здоровых лошадей ( $n = 3$ ) в условиях ипподрома «Акбузат»

больных лошадей с острой фазой ламинита от референтных значений (таблица 1). Были зафиксированы признаки системного воспаления и стресса: лейкоцитоз ( $15,21 \pm 0,95 \times 10^9/\text{л}$  против  $8,15 \pm 1,10 \times 10^9/\text{л}$  у здоровых), нейтрофилия ( $76,0 \pm 3,2\%$  сегментоядерных нейтрофилов против  $51,0 \pm 2,1\%$ ) и абсолютная лимфопения. Последняя является типичным маркером острого стресса, опосредованного выбросом кортизола. Повышение уровня гемоглобина ( $142 \pm 3,8 \text{ г/л}$  против  $120 \pm 6,3 \text{ г/л}$ ) с высокой вероятностью свидетельствует о гемоконцентрации, связанной с обезвоживанием на фоне болевого синдрома и возможного отказа от воды. Полученные данные хорошо согласуются с классической картиной острого ламинита [12].

На основании анамнестических данных у лошадей с острой фазой ламинита были идентифицированы следующие предполагаемые этиологические факторы: у Братиславы — документально подтвержденный случай избыточного потребления зерновых концентратов, у Надаля и Зенита — наличие ожирения (на основании оценки упитанности) в сочетании с высокими тренировочными нагрузками. Выявленные факторы риска полностью соответствуют известным из литературы причинам развития ламинита [1,9].

На фоне применения комплексного подхода к лечению лошадей с острым ламинитом, включавшего диетотерапию, НПВП, криотерапию и гепарин, было достигнуто полное клиническое выздоровление животных в течение трех месяцев. В представленных клинических случаях криотерапия способствовала купированию болевого синдрома и снижению воспаления в первые дни лечения, что согласуется данными литературы о ее противовоспалительном и анальгетическом действии [13–15].

Для жеребца Версаля с хроническим ламинитом была применена ортопедическая ковка сердцевидными подковами. После проведенной ковки и последующей расчистки (с интервалом в 10 недель) отмечена положительная динамика, восстановление параллельности роста копытной стенки, улучшение постава конечности и общего самочувствия лошади. Контрольная рентгенография через три месяца показала отсутствие прогрессирования ротации кости и уменьшение признаков остеолита. Полное излечение при хронической

форме невозможно, однако удалось добиться стабилизации состояния и снижения дискомфорта, хотя незначительная хромота на твердом грунте сохранилась. Успех ортопедической ковки подтверждает выводы отечественных и зарубежных авторов о важности разгрузки пораженных участков и обеспечения правильной биомеханики для лошадей с хроническим ламинитом [16,17].

Основным ограничением настоящей работы является небольшой объем выборки, что характерно для детальных клинических исследований в условиях конкретного хозяйства. Это не позволяет экстраполировать выводы на всю популяцию спортивных лошадей без дополнительных, более масштабных исследований. Кроме того, референсные значения гематологических параметров были установлены на ограниченной контрольной группе. Несмотря на это, представленные случаи наглядно демонстрируют практическую реализуемость и потенциальную эффективность предложенного комплексного подхода, что служит основой для его дальнейшей апробации на расширенной выборке.

На основании полученных данных были разработаны практические рекомендации для ипподрома «Акбузат»:

1. Строгий контроль рациона. Исключение избытка концентратов и сахаров, использование сена с известным питательным составом, введение в рацион специализированных низкоуглеводных кормов для лошадей группы риска;
2. Регулярный мониторинг веса. Проведение регулярных взвешиваний и оценка упитанности для предотвращения развития ожирения;
3. Адаптация тренировочных нагрузок. Избегание работы на твердых грунтах, составление индивидуальных планов тренировок с учетом кондиции лошади. Обязательный период «заминки» после интенсивных нагрузок;
4. Плановый ветеринарный осмотр. Включение в ежедневный осмотр оценки состояния копыт (температура, болезненность), проведение регулярных диспансеризаций. Рекомендовано проведение ежегодной плановой рентгенографии копыт у лошадей старше 10 лет и у всех лошадей, входящих в группу риска, для формирования индивидуальной базы данных и раннего выявления патологий;
5. Профессиональный уход за копытами. Систематическая расчистка и, при необходимости, корректирующая ковка с привлечением квалифицированных кузнецов. Интервал между расчистками не должен превышать 6–8 недель.

### Выводы/Conclusions

На основании проведенного клинико-лабораторного исследования с углубленным анализом отдельных случаев ламинита у спортивных

лошадей в условиях ипподрома «Акбузат» подтверждена высокая значимость комплексного диагностического подхода, включающего клиническую оценку, рентгенографию и гематологический анализ, для определения стадии заболевания и выбора патогенетически обоснованной терапии. Установлено, что ведущими провоцирующими факторами в условиях ипподрома являются алиментарные нарушения (избыток углеводов в рационе) и чрезмерные физические нагрузки, что сопровождается у животных с острой формой ламинита характерными гематологическими сдвигами: лейкоцитозом, нейтрофилией, лимфопенией и признаками гемоконцентрации.

Доказана эффективность дифференцированного подхода к лечению: у лошадей с острым ламинитом применение комплексной терапии

(диетотерапия, нестероидные противовоспалительные препараты, криотерапия и антикоагулянты) обеспечило полное клиническое выздоровление в течение трех месяцев; при хронической форме использование ортопедической ковки сердцевидными подковами позволило стабилизировать состояние, предотвратить прогрессирование патологического процесса и улучшить качество жизни животного. Разработанные на основе выявленных факторов риска практические рекомендации по контролю рациона, мониторингу веса, оптимизации тренировочных нагрузок и регулярному ветеринарному наблюдению внедрены в работу ветеринарной службы ипподрома и могут быть рекомендованы для использования в других конно-спортивных организациях с целью минимизации экономических потерь и сохранения здоровья поголовья.

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. Федотова А.С., Семенихина А.А. Метаболический синдром как причина развития ламинита у лошадей. *Вестник КрасГАУ*. 2020;(6): 160–164. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-160-164>
2. Kaufman K.L., Suagee-Bedore J.K., Johnson S.E., Ely K.M., Ghajar S.J., McIntosh B.M. Horses with previous episodes of laminitis have altered insulin responses to seasonal oral sugar testing and grazing compared to horses with no known history of laminitis. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2025; 145: 105254. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2024.105254>
3. McGuire C.J., Knowles E.J., Harris P.A., Menzies-Gow N.J. Plasma Activin A concentrations are not a useful biomarker for detecting insulin dysregulation and predicting laminitis risk in ponies. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2025; 153: 105660. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2025.105660>
4. Левочкина Е.Д., Мурадян Ж.Ю., Рогов Р.В. Клинические и рентгенографические особенности острого ламинита у лошадей. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2024; (12-1): 49–61. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202412105>
5. Неведов А.М., Луцай В.И., Концевая С.Ю., Руденко А.А., Горячева М.М. Экспресс-диагностика выявления ламинита на ранней стадии при помощи термографии у лошадей различных пород. *Иппология и ветеринария*. 2024; (1): 17–27. EDN AKQAXS
6. Неведов А.М., Луцай В.И., Руденко А.А., Концевая С.Ю., Горячева М.М. Системный анализ уровня КФК общего, как потенциального индикатора мышечной патологии у лошадей с ламинитом. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024; (2): 61–66. EDN NIFGHU
7. Silva F.F.A. et al. Use of ozone therapy to control chronic pain in equine laminitis. *Journal of Ozone Therapy*. 2021; 5(6): 20–26. <https://doi.org/10.7203/jo3t.5.6.2021.18959>
8. Mitchell J.D., Elliott J. Towards a new treatment for equine acute laminitis: The importance of signalling pathways. *The Veterinary Journal*. 2012; 192(3): 258–259. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2011.10.011>
9. Мурадян Ж.Ю., Шумаков Н.И., Сароян С.В. Особенности рентгенографического исследования при остром ламините. *Ветеринарная морфология и патология*. 2025; (2): 59–65. EDN RJPKXM
10. Hopster K., Driessen B. Pharmacology of the Equine Foot: Medical Pain Management for Laminitis. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2021; 37(3): 549–561. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2021.08.004>
11. Коробчук М.В., Карлин А.И., Романова О.В., Нечаев А.Ю. Комплексный подход к лечению хронического ламинита у пони. Описание клинического случая. *Ветеринарная патология*. 2024; 23(1): 21–30. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2024-23-1-21-30>

#### REFERENCES

1. Fedotova A.S., Semenukhina A.A. Metabolic syndrome as a result of laminitis development in horses. *Bulletin of KSAU*. 2020; (6): 160–164 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-160-164>
2. Kaufman K.L., Suagee-Bedore J.K., Johnson S.E., Ely K.M., Ghajar S.J., McIntosh B.M. Horses with previous episodes of laminitis have altered insulin responses to seasonal oral sugar testing and grazing compared to horses with no known history of laminitis. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2025; 145: 105254. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2024.105254>
3. McGuire C.J., Knowles E.J., Harris P.A., Menzies-Gow N.J. Plasma Activin A concentrations are not a useful biomarker for detecting insulin dysregulation and predicting laminitis risk in ponies. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2025; 153: 105660. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2025.105660>
4. Levochkina E.D., Muradyan Zh.Yu., Rogov R.V. Clinical and radiographic features of acute laminitis in horses. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2024; (12-1): 49–61 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202412105>
5. Nefedov A.M., Lutsai V.I., Kontsevaya S.Yu., Rudenko A.A., Goryacheva M.M. Express diagnosis of lameness during the period of laminitis using thermography in horses of various breeds. *Hippology and Veterinary Medicine*. 2024; (1): 17–27 (in Russian). EDN AKQAXS
6. Nefedov A.M., Lutsai V.I., Rudenko A.A., Kontseva S.Yu., Goryacheva M.M. A systematic analysis of the level of CKD in general, as a potential indicator of muscle pathology in horses with laminitis. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2024; (2): 61–66 (in Russian). EDN NIFGHU
7. Silva F.F.A. et al. Use of ozone therapy to control chronic pain in equine laminitis. *Journal of Ozone Therapy*. 2021; 5(6): 20–26. <https://doi.org/10.7203/jo3t.5.6.2021.18959>
8. Mitchell J.D., Elliott J. Towards a new treatment for equine acute laminitis: The importance of signalling pathways. *The Veterinary Journal*. 2012; 192(3): 258–259. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2011.10.011>
9. Muradyan Zh.Yu., Shumakov N.I., Saroyan S.V. Features of radiographic examination in acute laminitis. *Veterinary morphology and pathology*. 2025; (2): 59–65 (in Russian). EDN RJPKXM
10. Hopster K., Driessen B. Pharmacology of the Equine Foot: Medical Pain Management for Laminitis. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2021; 37(3): 549–561. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2021.08.004>
11. Korobchuk M.V., Karklin A.I., Romanova O.V., Nechaev A.Yu. Comprehensive Approach to Treatment of Chronic Laminitis in Ponies: A Clinical Case Report. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2024; 23(1): 21–30 (in Russian). <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2024-23-1-21-30>

12. Нефедов А.М., Луцай В.И., Концевая С.Ю., Руденко А.А. Изменение клеточного состава крови у лошадей при острой форме ламинита. *Аграрная наука*. 2023; (12): 53–57. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-53-57>

13. Новицкий С.В., Концевая С.Ю. Применение криотехнологий в лечении и реабилитации лошадей. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2022; (1): 35–39. <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2022-1-35-39>

14. van Eps A.W., Walters L.J., Baldwin G.I., McGarry M. Distal limb cryotherapy for the prevention of acute laminitis. *Clinical Techniques in Equine Practice*. 2004; 3(1): 64–70. <https://doi.org/10.1053/j.ctep.2004.07.006>

15. Luethy D. Cryotherapy Techniques: Best Protocols to Support the Foot in Health and Disease. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2021; 37(3): 685–693. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2021.07.005>

16. Захаров А.Ю., Горохов В.Е., Нарусбаева М.А., Стекольников А.А., Барч К.И., Бокарев А.В. Флебодиагностические и термографические исследования ламинита у лошадей после ортопедического подковывания копыт. *Иппология и ветеринария*. 2022; (2): 7–15. EDN STEJSX

17. Коробчук М.В., Карклин А.И. Методы коррекции копыт лошадей и пони при хроническом ламините. *Ветеринария*. 2021; (3): 50–54. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.3.50-54>

12. Nefedov A.M., Lutsai V.I., Kontsevaya S.Yu., Rudenko A.A. Changes in the cellular composition of blood in horses in acute laminitis. *Agrarian science*. 2023; (12): 53–57 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-53-57>

13. Novitsky S.V., Kontsevaya S.Yu. The use of cryotechnologies in the treatment and rehabilitation of horses. *Actual questions of veterinary biology*. 2022; (1): 35–39 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2022-1-35-39>

14. van Eps A.W., Walters L.J., Baldwin G.I., McGarry M. Distal limb cryotherapy for the prevention of acute laminitis. *Clinical Techniques in Equine Practice*. 2004; 3(1): 64–70. <https://doi.org/10.1053/j.ctep.2004.07.006>

15. Luethy D. Cryotherapy Techniques: Best Protocols to Support the Foot in Health and Disease. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2021; 37(3): 685–693. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2021.07.005>

16. Zakharov A.Yu., Gorokhov V.E., Narusbaeva M.A., Stekolnikov A.A., Barch K.I., Bokarev A.V. Phlebographic and thermographic studies of laminitis in horses after orthopedic hoof shoeing. *Hippology and Veterinary Medicine*. 2022; (2): 7–15 (in Russian). EDN STEJSX

17. Korobchuk M.V., Karklin A.I. Hoof correction techniques for horses and ponies with chronic laminitis. *Veterinary medicine*. 2021; (3): 50–54 (in Russian). <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.3.50-54>

#### ОБ АВТОРАХ

##### Альфия Васильевна Андреева

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры инфекционных болезней, зооигиены и ветсанэкспертизы

[alfia\\_andreeva@mail.ru](mailto:alfia_andreeva@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-3947-7087>

##### Алмаз Ришатович Шарипов

кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры морфологии, патологии, фармации и незаразных болезней

[almaz\\_sharipov\\_1989@mail.ru](mailto:almaz_sharipov_1989@mail.ru)

<https://orcid.org/0009-0003-9899-5754>

##### Чулпан Рафиковна Галиева

кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры инфекционных болезней, зооигиены и ветсанэкспертизы

[gchr0801@gmail.com](mailto:gchr0801@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-4205-5192>

Башкирский государственный аграрный университет, ул.50-летия Октября,34, Уфа, 45001, Россия

#### ABOUT THE AUTHORS

##### Alfia Vasilyevna Andreeva

Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Infectious Diseases, Animal Hygiene and Veterinary Medicine

[alfia\\_andreeva@mail.ru](mailto:alfia_andreeva@mail.ru)

<https://orcid.org/0000-0003-3947-7087>

##### Almaz Rishatovich Sharipov

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Morphology, Pathology, Pharmacy and Non-Infectious Diseases

[almaz\\_sharipov\\_1989@mail.ru](mailto:almaz_sharipov_1989@mail.ru)

<https://orcid.org/0009-0003-9899-5754>

##### Chulpan Rafikovna Galieva

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Infectious Diseases, Animal Hygiene and Veterinary Medicine

[gchr0801@gmail.com](mailto:gchr0801@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-4205-5192>

Bashkir State Agrarian University, 34, 50-letiya Oktyabrya st., Ufa, 45001, Russia

# 17 - 19 СЕНТЯБРЯ 2026

МВЦ «МинводыЭКСПО»  
г. Минеральные Воды

# PRO ОЗЕЛЕНЕНИЕ & РАСТЕНИЯ

Международная выставка  
декоративного питомниководства  
и зелёных технологий

2 500+ м<sup>2</sup> Выставочной  
площади

100+ Компаний-  
участников

1 500 Профессионалов  
отрасли

10+ Стран  
участниц

15+

Мероприятий

80+

Топ-спикеров



## Разработка и валидация метода количественного определения *Salmonella spp.* в мясе птицы с использованием комбинации метода наиболее вероятного числа и полимеразной цепной реакции

### РЕЗЮМЕ

Мясо птицы и продукты его переработки выступают ключевым фактором передачи данного патогена человеку. В связи с этим контроль уровня контаминации продукции животноводства сальмонеллами представляет собой критически важную задачу в системе обеспечения пищевой безопасности.

Целью настоящего исследования стала разработка и валидация метода количественного определения *Salmonella spp.* в мясной продукции. Разработанный метод основан на комбинации микробиологических и молекулярно-биологических методов, а именно на применении полимеразной цепной реакции (ПЦР) с предварительным этапом накопления целевой культуры в комбинации с методом наиболее вероятного числа (НВЧ). В ходе работы была проведена сравнительная оценка эффективности предложенного метода и классического культурального метода. Кроме того, выполнена комплексная валидация разработанной методики, включающая определение ее аналитической чувствительности, специфичности и правильности на образцах мяса птицы. Представлены результаты комплексной валидации разработанного метода, выполненной в соответствии с международными требованиями к оценке аналитических характеристик микробиологических тестов.

Метод количественного определения бактерий рода *Salmonella spp.* в мясной продукции валидирован в условиях научно-испытательного центра «Черкизово» (г. Москва). Разработанный метод продемонстрировал высокую эффективность, что выражается в снижении времени анализа до 24 часов в сравнении с классическим методом (до 78 часов) и обеспечении высокой специфичности при обнаружении низких концентраций патогена при пределе количественного определения  $10^1$  КОЕ/г и в присутствии сопутствующей микрофлоры.

**Ключевые слова:** *Salmonella spp.*, мясная продукция, пищевая безопасность, количественное определение, ПЦР, микробиологический контроль, контаминация, патогены, НВЧ, количественное определение сальмонеллы

**Для цитирования:** Камалетдинова А.В., Калашников В.А., Бодрякова Н.П., Калашников М.В. Разработка и валидация метода количественного определения *Salmonella spp.* в мясе птицы с использованием комбинации метода наиболее вероятного числа и полимеразной цепной реакции. *Аграрная наука*. 2026; 404(03): 34–41. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-34-41>

## Development and validation of a method for the quantification of *Salmonella spp.* in poultry meat using a combination of the most probable number and polymerase chain reaction

### ABSTRACT

Poultry meat and its processed products are a key factor in the transmission of this pathogen to humans. Therefore, monitoring the level of *Salmonella* contamination in livestock products is a critical task in ensuring food safety.

The aim of this study was to develop and validate a method for the quantitative determination of *Salmonella spp.* in meat products. The developed method is based on a combination of microbiological and molecular biological methods, namely, the use of polymerase chain reaction (PCR) with a preliminary stage of target culture accumulation, in combination with the most probable number (MPN) method.

This study also included a comparative evaluation of the effectiveness of the proposed method and the classical culture method. In addition, a comprehensive validation of the developed method was performed, including determination of its analytical sensitivity, specificity, and accuracy on poultry meat samples. The results of the comprehensive validation of the developed method, conducted in accordance with international requirements for evaluating the analytical performance of microbiological tests, are presented.

The method for the quantitative determination of *Salmonella spp.* bacteria in meat products was validated at the Cherkizovo Research and Testing Center in Moscow. The developed method demonstrated high efficiency, reducing the analysis time to 24 hours compared to the traditional method (up to 78 hours) and ensuring high specificity in detecting low pathogen concentrations with a quantification limit of  $10^1$  CFU/g and in the presence of accompanying microflora.

**Key words:** *Salmonella spp.*, meat products, food safety, quantitative determination, PCR, microbiological control, contamination, pathogens, MPN, quantitative determination of *Salmonella*

**For citation:** Kamaletdinova A.V., Kalashnikov V.A., Bodryakova N.P., Kalashnikov M.V. Development and validation of a method for the quantification of *Salmonella spp.* in poultry meat using a combination of the most probable number and polymerase chain reaction. *Agrarian science*. 2026; 404(03): 34–41 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-34-41>

## Введение/Introduction

Во всем мире проблемы ветеринарного, медицинского и экологического характера, связанные с патогенами животного происхождения, представляют серьезную угрозу для жизни и здоровья человека [1-3]. Недоброкачественные пищевые продукты нередко являются источником потенциально опасных контаминантов химической и биологической природы [4-7].

Бактерии рода *Salmonella spp.* являются одними из наиболее опасных зоонозных возбудителей инфекционных заболеваний, передающихся при употреблении инфицированной пищи. Мясо птицы и продукты его переработки наиболее часто выступают ключевым фактором пищевой сальмонеллезной токсикоинфекции. Риски потери микробиологической безопасности пищи возникают не только в случае нарушения санитарных правил на отдельных технологических этапах производства пищевой продукции, но и при отсутствии надежного контроля сырья, полуфабриката и готовых продуктов [8-10].

Снижение патогенной нагрузки при переработке и реализации животноводческой продукции играет важнейшую роль для пищевой промышленности [11-13]. Сложившаяся ситуация подтверждает актуальность и своевременность совершенствования ветеринарно-санитарного контроля животного сырья, используемого в пищевых целях [14-16]. Количественная оценка обсемененности *Salmonella spp.* может иметь важное значение в выявлении критичных моментов технологических процессов уоя, мясопереработки и в разработке профилактических мероприятий [13, 17, 18]. Стандартные методы количественной оценки, в основе которых посев на агаризованные питательные среды и дальнейшая идентификация, традиционно использовались для подсчета целевых бактерий в пищевых продуктах. Данные методы культивирования требуют значительного времени и трудозатрат на подтверждение микробиологической безопасности, что является критическим фактором для пищевой промышленности. Таким образом, разработка современного количественного метода подсчета патогенных микроорганизмов, отличающегося точностью и экспрессностью, целесообразна для устранения недостатков стандартных подходов [11, 19, 20].

*Цель работы* — разработка и валидация нового гибридного метода количественного определения бактерий рода *Salmonella spp.* в мясной продукции, сочетающего метод наиболее вероятного числа (НВЧ) и полимеразную цепную реакцию (ПЦР) с оценкой его основных аналитических

характеристик (предела количественного определения, специфичности, прецизионности, линейности и правильности) [21-24] в сравнении с классическим культуральным методом<sup>1</sup>.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальная работа проводилась в 2025 году на базе лаборатории ветеринарно-санитарной экспертизы ООО НИЦ «Черкизово»<sup>2</sup> (Москва, Россия).

В качестве матрицы были использованы образцы мяса цыплят-бройлеров на 1-е сутки после уоя.

Контроль отсутствия бактерий рода *Salmonella spp.* в образцах проводили методом иммуноферментного флуоресцентного анализа с использованием тест-системы Vidas UP *Salmonella* (SPT) производства bioMérieux, Франция на иммунологическом анализаторе VIDAS (bioMérieux, Франция).

Для оценки аналитических характеристик метода — предел количественного определения (ПКО), внутрिलाбораторной прецизионности, линейности, правильности — образцы были искусственно контаминированы бактериальным штаммом *Salmonella Enteritidis* 11272 из государственной коллекции патогенных микроорганизмов и клеточных культур (Оболensk, Россия).

При проведении исследований были использованы однотипные разбавления 1:9 каждого образца согласно ГОСТ 6887<sup>3</sup>. Уровни искусственной контаминации образцов находились в диапазоне от  $1,5 \times 10^1$  до  $1,5 \times 10^6$  КОЕ/г.

Специфичность тестировалась с использованием бактериальных штаммов: *Salmonella Enteritidis* 11272, *Salmonella Typhimurium* ATCC 14028, *Listeria monocytogenes* ATCC 13932 NCTC 10527, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 DSM 1117, *Campylobacter jejuni* ATCC 33560, *Proteus mirabilis* ATCC 29852, *Enterococcus faecalis* ATCC 19433 NCTC 775, *Lactobacillus sakei* ATCC 15521, *Clostridium perfringens* ATCC 13124, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Escherichia coli* ATCC 25922 DSM 1103, *Bacillus cereus* ATCC 10702 NCTC 8035, полученных из государственной коллекции патогенных микроорганизмов и клеточных культур (Оболensk, Россия). Также для оценки специфичности были использованы «полевые» штаммы *Enterococcus faecium*, *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii*, *Citrobacter braakii*, *Proteus vulgaris*, *Enterobacter kobei*, *Staphylococcus haemolyticus*, *Staphylococcus xylosus*, *Klebsiella oxytoca*, *Acinetobacter baumannii* из рабочей коллекции, идентифицированные методом

<sup>1</sup> PDA Technical Report No. 33 «Evaluation, Validation and Implementation of Alternative and Rapid Microbiological Methods». Bethesda: Parenteral Drug Association, 2013. — 78 p.

<sup>2</sup> ООО НИЦ «Черкизово» (г. Москва) осуществляет свою деятельность на основании лицензии №77.01.13.001.Л.000021.06.16 от 08.06.2016г и аттестата аккредитации №ААС.А.00281 от 04.04.2025г.

<sup>3</sup> ГОСТ ISO 6887-1-2015 «Микробиология пищевой цепи. Подготовка образцов для испытания, исходной суспензии и десятикратных разведений для микробиологического исследования Часть 1 Общие правила подготовки исходной суспензии и десятикратных разведений». Москва: Российский институт стандартизации, 2024. — 7 с.

матрично-активированной лазерной десорбции/ионизации MALDI-TOF MS на масс-спектрометре Microflex (Bruker Daltonik GmbH, Германия), и *Salmonella Infantis*, *Salmonella Hadar*, *Salmonella Heidelberg*, *Salmonella Abortusequi*, *Salmonella Reading*, *Salmonella Schwarzengrund*, *Salmonella Falkensee*, *Salmonella Kedougou*, *Salmonella Derby*, *Salmonella Isangi*, *Salmonella Muenchen*, *Salmonella Arizonae*, *Salmonella Bredeney*, *Salmonella Senftenberg*, *Salmonella Montevideo*, *Salmonella Braenderup*, *Salmonella Kentucky*, *Salmonella Rissen*, *Salmonella Agona*, *Salmonella Choleraesuis*, *Salmonella Saintpaul*, *Salmonella Give*, *Salmonella Mbandaka*, *Salmonella Alachua*, *Salmonella Manhattan*, *Salmonella Uganda*, *Salmonella Bovismorbificans*, *Salmonella Meleagridis*, идентифицированные методом мультилокусного секвенирования по 7 генам (Achtman 7 Gene MLST) на генетическом анализаторе 3500 Applied Biosystems (Thermo Scientific, США). Все штаммы хранились в криобанках CRYOBANK (Mast Group Ltd., Ливерпуль, Великобритания) при температуре  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для приготовления суспензий клеток микроорганизмов, использовали содержимое криофлаконов, хранившихся при температуре  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , стерильной иглой извлекали один криошарик в асептических условиях. Помещали криошарик в забуференную пептонную воду, далее инкубировали при температуре  $37 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение  $18 \pm 2$  часов. Культуру наращивали на TSA-агаре, инкубируя чашки Петри при  $37 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение  $24 \pm 3$  ч (поставщик реактивов Федеральное государственное учреждение науки «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», Оболенск, Россия). Из полученной агаровой культуры готовили суспензию тестовых штаммов в стерильной воде, доводили до концентрации  $1,5 \times 10^8$ , измеряя оптическую плотность по стандарту МакФарланда  $0,5\text{ McF}$  с помощью прибора для определения мутности суспензии Densi-La-Meter II (Erba Lachema s.r.o., Чехия). Затем осуществляли ряд последовательных десятикратных разведений для получения инокулятов с заданной концентрацией клеток.

На следующем этапе провели валидацию метода.

Для приготовления гомогенатов и разведений применяли забуференную пептонную воду. Для детекции ДНК *Salmonella spp.* использовали коммерческий ПЦР-набор «BACGene *Salmonella spp.*» (Eurofins Technologies, Венгрия/Германия) в соответствии с инструкцией производителя. Селективное обогащение классического метода проводили в среде Rappaport-Vassiliadis (RVS) бульон. Дальнейший высев осуществляли на агар, инкубируя чашки Петри при  $37 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение  $24 \pm 3$  ч. (поставщик реактивов Федеральное

государственное учреждение науки «Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии», Оболенск, Россия)

Подготовку первичных разведений осуществляли с помощью гравиметрического дилютера Dilumat Start (bioMérieux, Франция), последующую гомогенизацию — в аппарате Smasher (bioMérieux, Франция). Инкубацию посевов проводили в термостатах BD 115 (Binder, Германия) при температуре  $37 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение  $18 \pm 2$  часа и при  $41,5 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение  $24 \pm 3$  часов (на среде RVS для классического метода) с дальнейшей инкубацией чашек Петри со средой XLD. Дозирование реагентов и проб выполняли с использованием полуавтоматических дозаторов переменного объема серий Proline Plus (Sartorius Biohit, Финляндия) и TopPette (DLAB Scientific, Китай), ПЦР-анализ проводили на автоматическом микробиологическом анализаторе BAX® Q7 (Hygiene, США). Используемое оборудование было поверено и аттестовано в установленном порядке.

Валидация была проведена путем сопоставления результатов исследований, полученных валидируемым и референтным методами, т.е. методом НВЧ с учетом наличия/отсутствия *Salmonella spp.* методом ПЦР и методом НВЧ с учетом наличия/отсутствия *Salmonella spp.* классическим методом на питательных средах.<sup>4</sup>

Оценку основных аналитических характеристик проводили следующим образом:

Специфичность, инклюзивность и эксклюзивность оценивались с целью подтверждения, что ПЦР-система корректно идентифицирует целевой микроорганизм и не дает ложноположительных результатов в присутствии штаммов-ассоциантов [25].

Объектами исследования послужили 50 проб мяса, инокулированных штаммами микроорганизмов: 30 проб — различными штаммами *Salmonella* (целевой микроорганизм) и 20 проб, контаминированных штаммами культур, характерными для частой контаминации исследуемого продукта (штамм-ассоциант). Концентрации клеток целевых микроорганизмов и штаммов-ассоциантов в рабочих взвесах отличаются на несколько порядков, количество целевых микроорганизмов —  $10^2\text{ КОЕ/г}$ , штаммов-ассоциантов —  $10^5\text{ КОЕ/г}$ .<sup>5</sup>

Предел количественного определения (ПКО) определяли как минимальную концентрацию, при которой отклонение результата, полученного валидируемым методом не превышало  $0,5\text{ log}_{10}$  от контрольного значения, полученного референтным методом<sup>6</sup>. Для этого анализировали пять параллельных образцов на пяти уровнях концентрации (от  $10^5$  до  $10^1\text{ КОЕ/г}$ ).

<sup>4</sup> ГОСТ ISO 7218-2011 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям». Москва: Стандартинформ, 2013. — 51–52 с

<sup>5</sup> ОФС.1.1.0021.18 «Валидация микробиологических методик» Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. Т. I. М., 2018. — 15 с.

<sup>6</sup> ISO 16140-2:2016 «Микробиология пищевой цепи. Валидация метода. Часть 2. Протокол валидации альтернативных (собственных) методов в сравнении с референтным методом». Женева: ISO, 2016. — 74 с.

Прецизионность: оценивали внутрилабораторную прецизионность по результатам, полученным двумя независимыми операторами в условиях одной лаборатории. Рассчитывали коэффициент вариации (CV, %).

Линейность устанавливали в рабочем диапазоне уровней концентрации от  $10^1$  до  $10^5$  КОЕ/г. Для каждого из пяти уровней концентрации проводили по пять независимых определений. Строили график зависимости десятичного логарифма полученного результата ( $\log_{10} N$ ) от логарифма заданной концентрации ( $\log N_0$ ) и рассчитывали коэффициент линейной корреляции (R) и детерминации ( $R^2$ ).

Правильность выражали через процент восстановления (K, %), рассчитанный как отношение результата, полученного валидируемым методом, к результату, полученному референтным методом.

Таблица 1. Результаты анализа ПЦР-методом образцов, загрязненных целевыми штаммами

Table 1. Results of PCR analysis of samples contaminated with target strains

Результаты идентификации целевых микроорганизмов (Salmonella) ПЦР-методом		
Целевые штаммы	Положительный	Отрицательный
<i>Salmonella Enteritidis</i>	+	-
<i>Salmonella Typhimurium</i>	+	-
<i>Salmonella Infantis</i>	+	-
<i>Salmonella Hadar</i>	+	-
<i>Salmonella Heidelberg</i>	+	-
<i>Salmonella Abortusequi</i>	+	-
<i>Salmonella Reading</i>	+	-
<i>Salmonella Schwarzengrund</i>	+	-
<i>Salmonella Falkensee</i>	+	-
<i>Salmonella Kedougou</i>	+	-
<i>Salmonella Derby</i>	+	-
<i>Salmonella Isangi</i>	+	-
<i>Salmonella Muenchen</i>	+	-
<i>Salmonella Arizonae</i>	+	-
<i>Salmonella Bredeney</i>	+	-
<i>Salmonella Senftenberg</i>	+	-
<i>Salmonella Montevideo</i>	+	-
<i>Salmonella Braenderup</i>	+	-
<i>Salmonella Kentucky</i>	+	-
<i>Salmonella Rissen</i>	+	-
<i>Salmonella Agona</i>	+	-
<i>Salmonella Choleraesuis</i>	+	-
<i>Salmonella Saintpaul</i>	+	-
<i>Salmonella GIVE</i>	+	-
<i>Salmonella Mbandaka</i>	+	-
<i>Salmonella Alachua</i>	+	-
<i>Salmonella Manhattan</i>	+	-
<i>Salmonella Uganda</i>	+	-
<i>Salmonella Bovismorbificans</i>	+	-
<i>Salmonella Meleagridis</i>	+	-
Доля результатов, %	100	0

Для статистической обработки данных использовали пакет программ Microsoft Excel 2019 (США). Рассчитывали среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (SD) и коэффициент вариации (CV, %).

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты оценки специфичности, инклюзивности и эксклюзивности метода представлены в таблицах 1, 2.

Критерием приемлемости считали отсутствие ложноотрицательных результатов в образцах, содержащих целевой микроорганизм, и отсутствие ложноположительных результатов в образцах, содержащих ассоциированную микрофлору<sup>7</sup>.

Во всех тестируемых образцах отсутствовали ложноотрицательные и ложноположительные результаты. Метод показал 100% специфичность.

Высокая специфичность ПЦР-детекции в рамках гибридного подхода обусловлена принципом комплементарного связывания уникальных праймеров (и зондов) со строго определенным участком ДНК-мишени в оптимизированных температурных условиях.

Для оценки предела количественного определения метода проводили исследования пяти загрязненных образцов в 5-ти разведениях.

Таблица 2. Результаты анализа ПЦР-методом образцов, загрязненных штаммами-ассоциантами

Table 2. Results of PCR analysis of samples contaminated with associated strains

Результаты идентификации целевых микроорганизмов (Salmonella) ПЦР-методом		
Целевые штаммы	Положительный	Отрицательный
<i>Listeria monocytogenes</i>	-	+
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	+
<i>Campylobacter jejuni</i>	-	+
<i>Proteus mirabilis</i>	-	+
<i>Enterococcus faecalis</i>	-	+
<i>Lactobacillus sakei</i>	-	+
<i>Clostridium perfringens</i>	-	+
<i>Staphylococcus aureus</i>	-	+
<i>Escherichia coli</i>	-	+
<i>Bacillus cereus</i>	-	+
<i>Enterococcus faecium</i>	-	+
<i>Enterobacter cloacae</i>	-	+
<i>Citrobacter freundii</i>	-	+
<i>Citrobacter braakii</i>	-	+
<i>Proteus vulgaris</i>	-	+
<i>Enterobacter kobei</i>	-	+
<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	-	+
<i>Staphylococcus xylosum</i>	-	+
<i>Klebsiella oxytoca</i>	-	+
<i>Acinetobacter baumannii</i>	-	+
Доля результатов, %	0	100

<sup>7</sup> ГОСТ ISO 16140-2011 «Микробиология продуктов питания и кормов для животных. Протокол валидации альтернативных методов». Москва: Стандартинформ, 2013. — 61 с.

Затем осуществили сравнительный анализ результатов исследований, полученных разработанным методом и методом НВЧ с учетом наличия/отсутствия *Salmonella spp.* классическим методом на питательных средах (табл. 3).

ПКО установлен на уровне  $10^1$  КОЕ/г, так как значения результатов, полученных валидируемым методом, на этом и всех более высоких уровнях концентраций получены с требуемой правильно-стью и прецизионностью<sup>8</sup>.

Установленный предел количественного определения демонстрирует, что разработанный метод не уступает по чувствительности классическому методу НВЧ с использованием чашек Петри.

Для оценки прецизионности разработанного метода проводили по 5 измерений контаминированных образцов в диапазоне уровней концентрации от  $10^5$  до  $10^1$  КОЕ/г.

Рассчитывали коэффициент вариации (CV) для каждой концентрации. Результаты представлены в таблице 4.

Среднее значение CV внутрилабораторной прецизионности составило 2,8%.

Полученное среднее значение коэффициента вариации (CV) внутрилабораторной прецизионности на уровне 2,8% свидетельствует о высокой степени воспроизводимости метода. Данный показатель значительно ниже общепринятого в микробиологических исследованиях порога (10–15%), что указывает на стабильность аналитической системы и минимальное влияние случайных факторов на результат.

Для оценки линейности было проведено по 5 параллельных исследований проб с уровнями концентрации *Salmonella enteritidis* от  $10^5$  до  $10^1$  КОЕ/г валидируемым методом.

Был построен график зависимости десятичных логарифмов фактического содержания клеток (N) от теоретического содержания клеток ( $N_0$ ) в виде линии тренда и установлен коэффициент детерминации  $R^2$  на рисунке 1.

Линейность метода доказана, т.к. коэффициент линейной корреляции (R) составил  $0,9987 \geq 0,95$ , а коэффициент детерминации ( $R^2$ ) составил  $0,9974 \geq 0,90^8$ , критерии линейности соблюдены.

Линейная зависимость сигнала от концентрации патогена во всем диапазоне подтверждает корректность применения статистики НВЧ в сочетании с ПЦР-детекцией.

Правильность оценивали как близость полученных результатов к истинному (принятому опорному) значению. За истинное значение приняли результат, полученный референтным методом. Критерием приемлемости является процент восстановления, который должен составлять не менее 70% от истинного значения<sup>8</sup>.

Результат выражают в процентах восстановления микроорганизмов (K, %) и определяют как

Таблица 3. Оценка предела количественного определения

Table 3. Estimation of the limit of quantification

Уровень концентрации <i>Salmonella spp.</i> , КОЕ/г	Валидируемый метод	Референтный метод	Отклонение
	Результат, LOG10	Результат, LOG10	LOG10
$10^1$	1,28	1,29	0,01
$10^2$	2,43	2,42	0,01
$10^3$	3,39	3,43	0,04
$10^4$	4,44	4,41	0,03
$10^5$	5,47	5,49	0,02

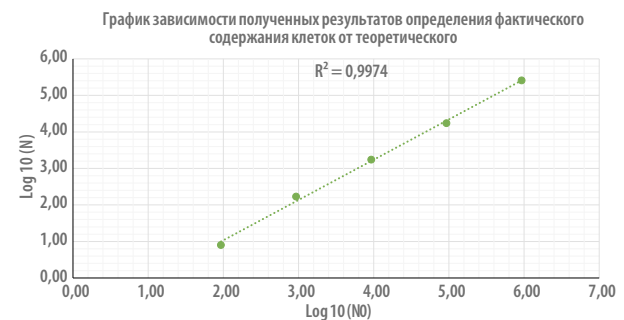
Таблица 4. Оценка внутрилабораторной прецизионности метода

Table 4. Assessment of Intermediate precision of the method

Уровень концентрации <i>Salmonella spp.</i> , КОЕ/г	Результат, LOG10		CV, %
	Первый оператор	Второй оператор	
$10^1$	1,27	1,29	3,05
$10^2$	2,36	2,26	4,65
$10^3$	3,22	3,26	3,24
$10^4$	4,30	4,32	2,01
$10^5$	5,38	5,42	1,24

Рис. 1. График зависимости десятичных логарифмов фактического содержания клеток (N) от теоретического содержания клеток ( $N_0$ ) в виде линии тренда, установлен коэффициент детерминации  $R^2$ .

Fig. 1. The relationship between the decimal logarithms of the actual cell count (N) and the theoretical cell count ( $N_0$ ) is presented as a trend line with the calculated R-squared ( $R^2$ ) value.



отношение результата, полученного с помощью валидируемой методики, к результату, полученному с помощью референтного метода (табл. 5).

По результатам исследований процент восстановления микроорганизмов составил более 70% для всего диапазона концентраций, что соответствует критерию приемлемости.

Значения коэффициента восстановления (K) микроорганизмов близкие к 100% свидетельствуют о высокой чувствительности метода и отсутствии систематической погрешности.

Результаты оценки совокупности аналитических характеристик демонстрируют полное соответствие установленным международным требованиям.

Высокие показатели линейности и прецизионности подтверждают надежность и пригодность

<sup>8</sup> ОФС.1.1.0021.18 «Валидация микробиологических методик» Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV изд. Т. I. М., 2018. — 15 с.

Таблица 5. Оценка правильности метода

Table 5. Evaluation of method accuracy

(n)	Заданная концентрация <i>Salmonella spp.</i> , КОЕ/г									
	10 <sup>5</sup>		10 <sup>4</sup>		10 <sup>3</sup>		10 <sup>2</sup>		10 <sup>1</sup>	
	Результат, количество микроорганизмов <i>Salmonella spp.</i> , КОЕ/г									
	Валидир. метод	Референт. метод	Валидир. метод	Референт. метод	Валидир. метод	Референт. метод	Валидир. метод	Референт. метод	Валидир. метод	Референт. метод
1	2,9E+05	3,6E+05	2,3E+04	2,1E+04	1,6E+03	1,5E+03	2,9E+02	2,7E+02	2,1E+01	2,0E+01
2	2,3E+05	2,1E+05	2,9E+04	2,9E+04	2,3E+03	2,7E+03	2,9E+02	3,5E+02	1,6E+01	2,0E+01
3	2,3E+05	2,3E+05	2,3E+04	2,0E+04	2,7E+03	3,5E+03	2,8E+02	2,9E+02	2,0E+01	2,0E+01
4	4,3E+05	4,3E+05	2,9E+04	2,3E+04	2,9E+03	3,6E+03	2,7E+02	2,1E+02	1,8E+01	2,1E+01
5	2,9E+05	3,1E+05	3,5E+04	3,6E+04	2,8E+03	2,3E+03	2,3E+02	2,1E+02	2,0E+01	1,6E+01
K (%)	96,7		90,4		94,3		95,0		99,1	

разработанного метода для широкого внедрения в практику аккредитованных ветеринарных и производственных лабораторий.

### Выводы/Conclusions

Разработанный метод количественного определения *Salmonella spp.*, в сравнении с классическим методом, является более быстрым (результат через 24 ч вместо 5–7 суток), высокочувствительным (ПКО установлен на уровне 10<sup>1</sup> КОЕ/г) и специфичным, поэтому может быть рекомендован альтернативой рутинному лабораторному контролю качества мясной продукции. Его внедрение позволит повысить уровень безопасности пищевых продуктов и оперативно реагировать на потенциальные риски контаминации.

Изложенные данные подтверждают пригодность, скорость и эффективность метода для применения в лабораторной практике.

Сравнительным преимуществом разработанного метода является сокращение времени анализа до 24 часов за счет замены этапа подтверждения на агарах ПЦР-детекцией. Переход от качественного учета к инструментальной детекции позволяет полностью нивелировать риск субъективной интерпретации результатов, характерный для визуальной оценки морфологии колоний на селективных агаризованных средах. Это

обеспечивает стандартизацию исследований и исключает ложноотрицательные или ложноположительные заключения, вызванные атипичным ростом целевых микроорганизмов или маскирующим влиянием сопутствующей микрофлоры.

Предложенный подход обладает высоким потенциалом для универсальной адаптации к различным категориям продовольственного сырья и объектов окружающей среды.

В перспективе возможно масштабирование метода для количественной оценки широкого спектра патогенных микроорганизмов (*Listeria monocytogenes*, *Campylobacter spp.*), что обеспечит оперативный контроль биологических рисков.

Предлагаемый алгоритм, по аналогии с классическим методом наиболее вероятного числа (НВЧ), характеризуется определенной трудоемкостью при масштабировании на массовые ежедневные исследования проб.

Получаемые данные носят статистически вероятностный характер, что необходимо учитывать при интерпретации количественных показателей.

Кроме того, реализация протокола предполагает наличие дорогостоящих реагентов и специализированного оборудования для проведения ПЦР-анализа, что накладывает значительные финансовые обязательства на приборное и ресурсное обеспечение лаборатории.

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

- Гунашев Ш.А., Микайлов М.М., Карашаев М.Ф. Обеспечение безопасности мясного сырья. *Проблемы взаимосвязи науки и экономики: особенности современного этапа: Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. 2025; 373–377. EDN ITQNPJ.
- Брянцев В.М., Максимов И.В. Анализ санитарно-эпидемиологических опасностей в животноводческой отрасли. *Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов*. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I. 2025; 82–87. EDN URBVHO.

### REFERENCES

- Gunashev Sh.A., Mikailov M.M., Karashaev M.F. Ensuring the Safety of Raw Meat. *Problems of the Relationship between Science and Economics: Features of the Current Stage: Proceedings of the All-Russian (National) Scientific and Practical Conference*. Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 2025; 373–377. (in Russian). EDN ITQNPJ.
- Bryancev V.M., Maksimov I.V. Analysis of Sanitary and Epidemiological Hazards in the Livestock Industry. *Innovative Technologies and Technical Means for the AIC: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I. 2025; 82–87. (in Russian). EDN URBVHO.

3. Mashoshin I.V., Gorobets A.Yu. Профилактика заболеваний у животных: роль ветеринарной терапии. *Молодежная наука — развитию агропромышленного комплекса: материалы V Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Курск: Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова. 2025; 271–273. EDN DMGPAC.
4. Seregin I.G., Kozak Yu.A., Semenov V.G., Kozak S.S., Sofronov V.G. Основные проблемы производственного ветеринарно-санитарного контроля на предприятиях АПК. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана*. 2021; 246: 202–210. EDN QYYM
5. Rebezov M.B., Kuramshina N.G., Topuria G.M., Topuria L.Yu., Karataeva D.A. Содержание радионуклидов в продукции птицеводства. *Научное обеспечение безопасности и качества продукции животноводства: сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева. 2019; С. 238–241. EDN AMAAPP.
6. Zhumanova G.T., Asenova B.K., Rebezov M.B. Исследование химического состава и показатели безопасности исследуемых куриных гребней, как сырья для получения белкового обогатителя. *Интеграция образования, науки и производства: Сборник материалов международной научно-практической конференции*. Мелеуз: Башкирский институт технологий и управления. 2020; 44–49. EDN LQQTDF.
7. Chuprakova A.M., Rebezov M.B. Анализ результатов мониторинга проб мясных и рыбных продуктов на содержание тяжелых металлов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент*. 2015; 9(2): 194–201. EDN TYFJT.
8. Akhmetova S.O., Suleimenova M.S., Rebezov M.B. Mechanism of an improvement of business processes management system for food production: Case of meat products enterprise. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*. 2019; 7(2): 1015–1035. [https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2\(16\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2(16)).
9. Rebezov M.B., Topuria G.M., Asenova B.K. Виды опасностей во время технологического процесса производства сыровяленых мясосюльцов и предупреждающие действия (на примере принципов HACCP). *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2014; 2(1): 60–66. EDN RZCMMB
10. Atambaeva Zh.M., Nurgazesova A.N., Rebezov M.B., Kambarova A.S., Kolesnichenko I.S. Пищевая безопасность и качество мясного сырья. Качество продукции, технологий и образования: *Материалы XIV Международной научно-практической конференции*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2019; 49–53. EDN VRTZZJ.
11. Stathas L., Aspidou Z., Koutsoumanis K. Quantitative microbial risk assessment of *Salmonella* in fresh chicken patties. *Food Research International*. 2024; 178: 113960. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113960>
12. Karachina T.A., Abdullaeva A.M., Blinkova L.P., Usha B.V. Biohazard analysis of high quantity pathogens in poultry meat of mechanical deboning. *Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology*. 2020; (3): 285–290 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202003002>
13. Kozak S.S., Baranovich E.S., Kozak Yu.A. Заболеваемость сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом. *Тимирязевский биологический журнал*. 2023; 1(3): 71–77. EDN FPPWL
14. Kurbanova M.N., Samoylov A.V. Promising directions in food microbiology. methods of detection and identification of microorganisms. *Russian Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology*. 2021; (4): 370–379. <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202104001>
15. Rebezov M.B., Trushina L.N., Topuria G.M., Topuria L.Yu. Ветеринарно-санитарная оценка мяса уток при применении биостимулятора. *Приоритетные направления регионального развития: Сборник статей по материалам II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием*. Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева. 2021; 478–481. EDN CETOWE.
16. Topuria G.M., Topuria L.Yu., Rebezov M.B. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса цыплят-бройлеров при использовании растительной кормовой добавки. *Вестник мясного скотоводства*. 2016; 1(93): 112–115. EDN VVRLPJ.
17. Kamaletdinova A.V., Bodryakova N.P., Kalashnikov V.A. Актуальность мониторинга патогенной микрофлоры при переработке мясной продукции. *Пищевые инновации и биотехнологии. Сборник тезисов XIII Всероссийской (национальной) научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Кемерово: Кемеровский государственный университет. 2025; 266–268. EDN SBAWDT
3. Mashoshin I.V., Gorobets A.Yu. Disease prevention in animals: the role of veterinary therapy. *Young science for the development of the agro-industrial complex: Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists*. Kursk: Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov. 2025; 271–273. (in Russian). EDN DMGPAC.
4. Seregin I.G., Kozak Yu.A., Semenov V.G., Kozak S.S., Sofronov V.G. Main problems of production veterinary and sanitary control at agro-industrial enterprises. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2021; 246: 202–210 (in Russian). EDN QYYM
5. Rebezov M.B., Kuramshina N.G., Topuria G.M., Topuria L.Yu., Karataeva D.A. The content of radionuclides in poultry products. *Scientific support for the safety and quality of livestock products: a collection of articles based on the materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference*. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy named after TS Maltsev. 2019; pp. 238–241. (in Russian). EDN AMAAPP.
6. Zhumanova G.T., Asenova B.K., Rebezov M.B. A study of the chemical composition and safety indicators of the studied chicken combs as a raw material for obtaining a protein fortifier. *Integration of education, science and production: a collection of materials of the international scientific and practical conference*. Meleuz: Bashkir Institute of Technology and Management. 2020; 44–49. (in Russian). EDN LQQTDF.
7. Chuprakova A.M., Rebezov M.B. Analysis of the results of monitoring meat and fish product samples for heavy metal content. *Bulletin of South Ural State University. Series: Economics and Management*. 2015; 9(2): 194–201. (in Russian). EDN TYFJT.
8. Akhmetova S.O., Suleimenova M.S., Rebezov M.B. Mechanism of an improvement of business processes management system for food production: Case of meat products enterprise. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*. 2019; 7(2): 1015–1035. [https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2\(16\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.2(16)).
9. Rebezov M.B., Topuria G.M., Asenova B.K. Types of hazards during the technological process of production of dry-cured meat products and preventive actions (using the HACCP principles as an example). *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2014; 2(1): 60–66. (in Russian). EDN RZCMMB
10. Atambaeva Zh.M., Nurgazesova A.N., Rebezov M.B., Kambarova A.S., Kolesnichenko I.S. Food safety and quality of raw meat. *Quality of products, technologies and education: Proceedings of the XIV International scientific and practical conference*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2019; 49–53. (in Russian). EDN VRTZZJ
11. Stathas L., Aspidou Z., Koutsoumanis K. Quantitative microbial risk assessment of *Salmonella* in fresh chicken patties. *Food Research International*. 2024; 178: 113960. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.113960>
12. Karachina T.A., Abdullaeva A.M., Blinkova L.P., Usha B.V. Biohazard analysis of high quantity pathogens in poultry meat of mechanical deboning. *Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology*. 2020; (3): 285–290 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202003002>
13. Kozak S.S., Baranovich E.S., Kozak Yu.A. Salmonellosis Incidence in Farm Animals and Poultry. *Timiryazev Biological Journal*. 2023; 1(3): 71–77 (in Russian). EDN FPPWL
14. Kurbanova M.N., Samoylov A.V. Promising directions in food microbiology. methods of detection and identification of microorganisms. *Russian Problems of veterinary sanitation, hygiene and ecology*. 2021; (4): 370–379 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202104001>
15. Rebezov M.B., Trushina L.N., Topuria G.M., Topuria L.Yu. Veterinary and sanitary assessment of duck meat using a biostimulant. *Priority areas of regional development: Collection of articles based on the materials of the II All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation*. Kurgan: Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev. 2021; 478–481. (in Russian). EDN CETOWE.
16. Topuria G.M., Topuria L.Yu., Rebezov M.B. Veterinary and sanitary examination of broiler chicken meat using a plant-based feed additive. *Bulletin of Beef Cattle Breeding*. 2016; 1(93): 112–115. (in Russian). EDN VVRLPJ.
17. Kamaletdinova A.V., Bodryakova N.P., Kalashnikov V.A. The relevance of monitoring pathogenic microflora during meat product processing. *Food Innovations and Biotechnologies. Collection of abstracts of the XIII All-Russian (National) scientific conference of students, graduate students and young scientists*. Kemerovo: Kemerovo State University. 2025; 266–268 (in Russian). EDN SBAWDT

18. Козак Ю.А., Козак С.С., Сычева И.Н. Возможность использования подложек MICROFAST® SALMONELLA COUNT PLATE (SAL) для обнаружения сальмонелл в мясе птицы. *Тимирязевский биологический журнал*. 2024; 2(4): 78–82. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-78-82>
19. Kim S.A., Park S.H., Lee S.I., Ricke S.C. Development of a rapid method to quantify *Salmonella* Typhimurium using a combination of MPN with qPCR and a shortened time incubation. *Food Microbiology*. 2017; 65: 7–18. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.01.013>
20. Noviyanti F., Mochida M., Kawasaki S. Predictive modeling of *Salmonella* spp. growth behavior in cooked and raw chicken samples: Real-time PCR quantification approach and model assessment in different handling scenarios. *Journal of Food Science*. 2024; 89(4): 2410–2422. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17020>
21. Peris-Vicente J., Carda-Broch S., Esteve-Romero J. Validation of rapid microbiological methods. *Journal of Laboratory Automation*. 2015; 20(3): 259–264. <https://doi.org/10.1177/2211068214554612>
22. Тымчук С.Н., Ларин В.Е. Проблематика верификации и валидации микробиологических методик. *Контроль качества продукции*. 2020; (9): 14–19. EDN CGJXVS
23. Буйлова И.А., Гунар О.В. Практические аспекты применения валидационных параметров на примере методик определения количественного содержания микроорганизмов в лекарственных препаратах. *Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения*. 2020; 10(4): 267–272. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-4-267-272>
24. Гунар О.В., Буйлова И.А., Колосова Л.В., Доренская А.В. Применение валидационных исследований для оценки микробиологических методик. *Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения*. 2013; (3): 4–7. EDN RWWUQN
25. Manju M.A., Van Den Heuvel E.R., IJzerman-Boon P.C. A comparison of spiking experiments to estimate the detection proportion of qualitative microbiological methods. *Journal of Biopharmaceutical Statistics*. 2019; 29(1): 30–55. <https://doi.org/10.1080/10543406.2018.1452027>
18. Kozak Yu.A., Kozak S.S., Sycheva I.N. Possibility of using MICROFAST® SALMONELLA COUNT PLATE (SAL) for the detection of *Salmonella* in poultry meat. *Timiryazev Biological Journal*. 2024; 2(4): 78–82 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-78-82>
19. Kim S.A., Park S.H., Lee S.I., Ricke S.C. Development of a rapid method to quantify *Salmonella* Typhimurium using a combination of MPN with qPCR and a shortened time incubation. *Food Microbiology*. 2017; 65: 7–18. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.01.013>
20. Noviyanti F., Mochida M., Kawasaki S. Predictive modeling of *Salmonella* spp. growth behavior in cooked and raw chicken samples: Real-time PCR quantification approach and model assessment in different handling scenarios. *Journal of Food Science*. 2024; 89(4): 2410–2422. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.17020>
21. Peris-Vicente J., Carda-Broch S., Esteve-Romero J. Validation of rapid microbiological methods. *Journal of Laboratory Automation*. 2015; 20(3): 259–264. <https://doi.org/10.1177/2211068214554612>
22. Tymchuk S.N., Larin V.E. Problems of verification and validation of microbiological methods. *Product quality control*. 2020; (9): 14–19 (in Russian). EDN CGJXVS
23. Buylova I.A., Gunar O.V. Validation Parameters as Applied to Methods for Quantification of Microorganisms in Medicinal Products. *The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products*. 2020; 10(4): 267–272 (in Russian). <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-4-267-272>
24. Gunar O.V., Builova I.A., Kolosova L.V., Dorenskaya A.V. Validation studies for the assessment of microbiological methods. *The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products*. 2013; (3): 4–7 (in Russian). EDN RWWUQN
25. Manju M.A., Van Den Heuvel E.R., IJzerman-Boon P.C. A comparison of spiking experiments to estimate the detection proportion of qualitative microbiological methods. *Journal of Biopharmaceutical Statistics*. 2019; 29(1): 30–55. <https://doi.org/10.1080/10543406.2018.1452027>

## ОБ АВТОРАХ

### Ангела Викторовна Камалетдинова<sup>1,2</sup>

– магистрант<sup>1</sup>;  
– ведущий специалист<sup>2</sup>  
angela.kamaletdinova.1988@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0009-9922-359X>

### Вячеслав Александрович Калашников<sup>2</sup>

кандидат ветеринарных наук, руководитель направления  
v.kalashnikov@cherkizovo.com  
<https://orcid.org/0009-0001-1223-8644>

### Наталья Павловна Бодрякова<sup>1</sup>

кандидат биологических наук,  
доцент  
bodryakova@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-7058-3817>

### Максим Вячеславович Калашников<sup>3</sup>

младший научный сотрудник  
maxim07092001@gmail.com

<sup>1</sup> Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина ул. им. Академика Скрябина, 23, Москва, 109472, Россия

<sup>2</sup> ООО «Научно-испытательный центр НИЦ «Черкизово»», Дорожная ул., 14, дер. Яковлевское, Москва, 143340, Россия

<sup>3</sup> ООО Синтол», Ул. Тимирязевская 42, корпус Б, офис 316, Москва, 127434, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

### Angela Victorovna Kamaletdinova<sup>1,2</sup>

– Master's student<sup>1</sup>;  
– Leading specialist<sup>2</sup>  
angela.kamaletdinova.1988@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0009-9922-359X>

### Viacheslav Alexandrovich Kalashnikov<sup>2</sup>

Candidate of Veterinary Sciences Head of the Lab  
v.kalashnikov@cherkizovo.com  
<https://orcid.org/0009-0001-1223-8644>

### Natalya Pavlovna Bodryakova<sup>1</sup>

Candidate of Biological Sciences,  
scientific title Associate Professor  
bodryakova@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-7058-3817>

### Maksim Viacheslavovich Kalashnikov<sup>3</sup>

Junior Researcher  
maxim07092001@gmail.com

<sup>1</sup> Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin 23 Academician Skryabin st., Moscow, 109472, Russia

<sup>2</sup> LLC SIC “Cherkizovo”, 14 Dorozhnaya st., Yakovlevskoye village, Moscow, 143340, Russia

<sup>3</sup> Synthol LLC», 42, building B, office 316, Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russia

УДК 631.95/.58.12:612.1

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-42-49

О.В. Кван<sup>1,2</sup> ✉

В.В. Гречкина<sup>1,3</sup>

Е.В. Шейда<sup>1,2</sup>

И.А. Вершинина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия,

<sup>2</sup>Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия,

<sup>3</sup>Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

✉ kwan111@yandex.ru

Поступила в редакцию: 15.12.2025

Одобрена после рецензирования: 15.02.2026

Принята к публикации: 28.02.2026

© Кван О.В., Гречкина В.В., Шейда Е.В., Вершинина И.А.

## Влияние изотопов УДЧ металлов на физиолого-биохимические показатели цыплят-бройлеров

### РЕЗЮМЕ

В исследовании изучали показатели роста и развития цыплят-бройлеров, переваримость компонентов корма, морфо-биохимические показатели крови, а также обмен элементов в теле под влиянием изотопов УДЧ. Контрольная группа получала ОР, I группа — ОР + изотоп УДЧ Fe (17 мг/кг корма), II группа — ОР + изотоп УДЧ Cu (1,7 мг/кг корма). Было отмечено изменение динамики набора живой массы по сравнению с контролем, наиболее выраженное в I опытной группе (на 2,1–6,0%). Переваримость органического вещества и сырого жира была выше контроля в I и II опытной группе, переваримость сырого протеина была выше контроля на 9,55–16,7% во всех опытных группах. В крови птицы I и II опытной группе отмечали повышение числа лимфоцитов, в I группе — повышении гемоглобина и его снижение — во II группе. Биохимические показатели сыворотки крови птицы (АСТ, креатинин, общий билирубин) свидетельствуют об усилении обменных процессов в I и II группы. В I и II группе отмечалась тенденция к уменьшению содержания в теле птицы токсичных элементов и увеличению — эссенциальных. Для II опытной группы было характерно увеличение эндогенных потерь по сравнению с контролем.

**Ключевые слова:** УДЧ, кормление, метаболизм, коэффициенты переваримости, элементный обмен, эндогенные потери

**Для цитирования:** Кван О.В., Гречкина В.В., Шейда Е.В., Вершинина И.А. Влияние изотопов УДЧ металлов на физиолого-биохимические показатели цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2026; 404(03): 42–49.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-42-49>

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-42-49

Olga V Kvan<sup>1,2</sup> ✉

Viktoriya V. Grechkina<sup>1,3</sup>

Elena V. Sheida<sup>1,2</sup>

Irina A. Vershinina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>2</sup>Orenburg State University, Orenburg, Russia,

<sup>3</sup>Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

✉ kwan111@yandex.ru

Received by the editorial office: 15.12.2025

Accepted in revised: 15.02.2026

Accepted for publication: 28.02.2026

© Kvan O.V., Grechkina V.V., Sheida E.V., Vershinina I.A.

## The influence of ultra-fine metal isotopes on the physiological and biochemical parameters of broiler chickens

### ABSTRACT

The study examined the growth and development indicators of broiler chickens, the digestibility of feed components, the morpho-biochemical parameters of the blood, and the metabolism of elements in the body under the influence of UFC isotopes. The control group received OR, group I — OR + UFC Fe isotope (17 mg/kg of feed), group II — OR + UFC Cu isotope (1.7 mg/kg of feed). A change in the dynamics of live weight gain was noted compared to the control, most pronounced in the first experimental group (by 2.1–6.0%). Digestibility of organic matter and crude fat was higher than the control in the first and second experimental groups, digestibility of crude protein was higher than the control by 9.55–16.7% in all experimental groups.

In the blood of birds from experimental groups I and II, an increase in the number of lymphocytes was observed, in group I — an increase in hemoglobin and its decrease in group II. Biochemical parameters of the bird's blood serum (AST, creatinine, total bilirubin) indicate an increase in metabolic processes in groups I and II. In groups I and II, a tendency towards a decrease in the content of toxic elements in the bird's body and an increase in essential elements was noted. In group III, the content of Zn, Cr, Al and Ni in the bird's body increased. In experimental group I, a decrease in endogenous losses of Fe and Cu was observed. For experimental group II, an increase in endogenous losses was characteristic compared to the control.

**Key words:** UDC, feeding, metabolism, digestibility coefficients, elemental exchange, endogenous losses

**For citation:** Kvan O.V., Grechkina V.V., Sheida E.V., Vershinina I.A. The influence of ultra-fine metal isotopes on the physiological and biochemical parameters of broiler chickens. *Agrarian science*. 2026; 404(03): 42–49 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-42-49>

## Введение/Introduction

Роль эндогенных минералов в обеспечении продуктивности животных обусловлена их значительным поступлением в пищеварительную систему, часто превосходящим экзогенные источники в несколько раз. Воздействие отдельных добавок в кормах, микроорганизмов и самого пищеварительного тракта на минеральный метаболизм и производительность животных до сих пор остается малоизученной областью [1].

Минеральные вещества важны в питании сельскохозяйственных животных не только благодаря их прямому влиянию на обмен веществ, степени усвоения и участию в регулировании кислотно-щелочного равновесия. Их значение также определяется способностью вступать во взаимодействие с другими элементами, что может как улучшать, так и ухудшать состояние здоровья животных и птицы. Разнообразные виды взаимодействий между минералами способны оказывать значительное влияние на продуктивные показатели и общее благополучие сельскохозяйственной птицы [2]. Дисбаланс макро- и микроэлементов в питании, будь то их нехватка или переизбыток, влечет за собой нарушение равновесия между питательными веществами и биологически активными компонентами, что негативно сказывается на обмене веществ. Богданович Д.М. (2020) установил, что гомеостатические параметры организма в значительной степени зависят от функционального значения микроэлементов, так как они обеспечивают организм химически активными катионами и анионами [3].

Прежде чем перейти к подробному изучению физиологического и биохимического воздействия каждого микроэлемента, необходимо подчеркнуть, что их способность к образованию биокластеров является основополагающей для проявления биологической активности. Другими словами, они способны формировать как подвижные, так и устойчивые биологические комплексы, которые чаще всего находятся в активных центрах ферментов. Именно эти биоконплексы играют непосредственную роль в кислотно-основных реакциях и окислительно-восстановительных процессах, осуществляемых в организме птицы [4]. Растительная пища — основной поставщик необходимых минеральных веществ для животных и птицы. Однако, минеральный состав растительных кормов может существенно варьироваться. Эти колебания обусловлены не только биохимическими особенностями различных территорий страны, но и спецификой отдельных регионов [5].

В современных научных исследованиях акцентируется внимание на взаимодействии микроэлементов и эндокринной системы, а также влиянии гормонов на организм. Они играют важную роль в определении уровня естественной резистентности организма, поддержании иммунных

функций и обеспечении антиоксидантной защиты у животных. [6].

Микроэлементы присутствуют в тканях животных в незначительных, постоянных количествах, однако их роль в процессах роста и развития очень важна. Элементы Cu, Fe, Mn и Zn выполняют, прежде всего, функцию катализаторов в ферментативных реакциях, протекающих внутри клеток, либо являются компонентами ферментов. Эти элементы играют незаменимую роль в поддержании здоровья и жизнедеятельности [7].

Железо принимает участие в процессах транспортировки и хранения железа внутри клеток, а также регуляции активности железосодержащих ферментов, как стимулируя, так и подавляя их экспрессию [8]. Медь — в обеспечении клеточного дыхания, поддержании здоровья сердца и сосудов, создании костей, развитии компонентов соединительной ткани, образовании кератина и пигментов в тканях [9].

Одним из перспективных направлений в современной науке, позволяющих решить вопросы этиологии и патогенеза заболеваний, является выявление и определение изменений в содержании макро- и микроэлементов, а также их коррекции. Учитывая биологическую роль микроэлементов, участие металлов и радиоизотопов практически во всех биохимических процессах в организме животных и птицы, вопросы загрязнения окружающей среды волнуют сегодня не только экологов, но и специалистов сельского хозяйства [10]. Очевидно, что важно оценивать не только валовое содержания того или иного элемента, но и учитывать соотношение различных изотопов конкретного элемента, вводимого в рацион животных и птицы, так как его избыточное поступление/усвоение может спровоцировать изотопный дисбаланс и повлиять на проявление патологии.

*Цель исследования* — изучить рост и развитие цыплят-бройлеров, переваримость компонентов корма, морфо-биохимические показатели крови, а также обмен элементов в теле под влиянием изотопов УДЧ.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

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

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

животных и уменьшить количество исследованных опытных образцов.<sup>1</sup>

Объектом исследований служили цыплята-бройлеры кросса Арбор Эйкрес (Arbor Acres), полученные от ЗАО «Птицефабрика Оренбургская». Для эксперимента было отобрано 105 голов 7-дневных цыплят-бройлеров, которых методом пар-аналогов разделили на 3 группы (n = 30). Во время эксперимента вся птица находилась в одинаковых условиях содержания. Поение осуществлялось вволю. Формирование общих рационов (ОР) для подопытной птицы в ходе исследований проводилось с учетом рекомендаций ВНИТИП (Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, Россия).

В ходе проведения исследований по изучению воздействия изотопов УДЧ Fe<sup>56</sup>, Cu<sup>63</sup> на подопытную птицу были сформированы следующие группы (таблица 1).

Использованная дозировка в эксперименте была выбрана на основании ранее полученных данных [11]. УДЧ Cu<sup>63</sup> были синтезированы с помощью метода конденсации паров металла в газе в институте физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург) из проволоки соответствующего состава. Средний размер НЧ составляет около 60 нм. УДЧ Fe<sup>56</sup> были получены от АО «ПО Электрохимический завод».

Декапитация птицы проводилась под нембутовым эфиром на 42-е сутки жизни.

Лабораторные исследования проводили в Испытательном центре ЦКП ФНЦ Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

В ходе экспериментальных исследований УДЧ были приготовлены путем диспергирования водных смесей частиц ультразвуком (f — 35 кГц, N — 300 (450) Вт, A — 10 мкм) в течение 30 минут, смешивание проводилось ступенчато.

Сохранность поголовья учитывали ежедневным осмотром подопытной птицы. Динамику живой массы молодняка определяли по результатам еженедельных взвешиваний, на основании которых рассчитывали абсолютный, относительный и среднесуточный прирост живой массы.

В ходе опыта устанавливали переваримость питательных компонентов рациона по методикам ВНИТИП (Фисинин В.И. и др., 2009). Исходя из результатов ежесуточного учета массы помета, производили расчет потери вещества с установлением усвоенного количества корма<sup>2</sup>.

Массовую долю сухого вещества (СВ) определяли по ГОСТ 31640<sup>3</sup>, сырого протеина (СП) — по ГОСТ 13496.4<sup>4</sup>, массовую долю сырого

Таблица 1. Схема опыта

Table 1. Experimental design

Группа (n = 35)	Обозначение	Рацион
Контрольная группа	K	Основной рацион (ОР)
Опытная группа	I	ОР + изотоп УДЧ Fe <sup>56</sup> (17 мг/кг корма)
Опытная группа	II	ОР + изотоп УДЧ Cu <sup>63</sup> (1,7 мг/кг корма)

жира (СЖ) — по ГОСТ 13496.15<sup>5</sup>, массовую долю сырой клетчатки (СК) — по ГОСТ 31675<sup>6</sup>, массовую долю сырой золы (СЗ) — по ГОСТ 26226<sup>7</sup>.

Для оценки элементного состава проведена анатомическая разделка тушек (кости, перья, внутренние органы) с последующим измельчением и озолением в микроволновой системе разложения Multiwave 3000 («Anton Paar», Австрия). Оценку содержания элементов в тушке определяли на масс-спектрометре Elan 9000 («Perkin Elmer», США) и атомно-эмиссионном спектрометре Optima 2000V («Perkin Elmer», США).

Отбор крови у птиц осуществлялся утром в 42-суточном возрасте из подкрыльцовой вены, на внутренней стороне крыла над локтевым сочленением, в количестве 2 мл. Для морфологических исследований использовали специальные вакуумные пробирки, где в качестве антикоагулянта применяется ЭДТА — фиолетовая крышка (стерильные вакуумные пробирки объемом 4,0 мл). Морфологические показатели крови определяли на гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus, биохимический анализ сыворотки крови — на анализаторе CS-T240 (DIRUI Industrial Co., Ltd, Китай) с коммерческими наборами для ветеринарии (ЗАО «ДИАКОН-ДС», Россия). В биохимических исследованиях применяли пробирки с активатором свертывания.

Для оценки влияния нутриентной обеспеченности рационов на метаболические процессы в организме цыплят были просчитаны некоторые коэффициенты и индексы: коэффициент Де Ритиса (отношение АСТ (аспартатаминотрансфераза)/АЛТ (аланинаминотрансфераза) (Медицинская энциклопедия, 1991–1996).

Для оценки эндогенных потерь был введен нормированный индекс эндогенных потерь (EPI, %), отражающий относительную долю элемента, теряемую организмом за счет эндогенной секреции.

Полученные данные были обработаны с помощью программы SPSS «Statistics 20» («IBM», США), рассчитывали средние (M), среднеквадратичные отклонения ( $\pm \sigma$ ), ошибки стандартного отклонения ( $\pm SE$ ). Для сравнения вариантов использовали непараметрический метод анализа. Различия

<sup>1</sup> Сарымсакова Б.Е., Розенсон Р.И., Баттакова Ж.Е. Руководство по этике научных исследований: методические рекомендации. Астана. 2007; 98.

<sup>2</sup> Научные основы кормления сельскохозяйственной птицы: монография / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.М. Околелова, Ш.А. Имангулов. Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, 2009. 352 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 31640-2012 Межгосударственный стандарт корма. Методы определения содержания сухого вещества.

<sup>4</sup> ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

<sup>5</sup> ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

<sup>6</sup> ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации

<sup>7</sup> ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы.

считали статистически значимыми при  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$ .

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Живая масса опытной птицы определялась каждые 7 дней эксперимента с 14-суточного возраста цыплят. Результаты представлены на графике (рисунок 1).

Динамика живой массы отличалась в опытных группах, по сравнению с контрольной, начиная со 2 недели эксперимента. На 14 день опыта в I опытной группе живая масса была выше контроля на 2,1%, во II опытной — на 1,5%. На 21 день опыта было отмечено статистически значимое различие с контрольными показателями по живой массе в I группе (на 6,0 %,  $p < 0,05$ ), в то время как различия с контролем во II опытной группе были не достоверны. На конец эксперимента (28 день опыта) было выявлено, что в I опытной группе живая масса была выше контрольных показателей на 5,2% ( $p < 0,05$ ). Таким образом, введение УДЧ в рацион цыплят-бройлеров вело к изменению динамики набора живой массы по сравнению с контролем, наиболее выраженное в I опытной группе (на 2,1–6,0 %) на конец эксперимента.

#### Переваримость питательных веществ

Сегодня подбор кормовых добавок для повышения переваримости и усвояемости питательных веществ рационов у птицы является одним из приоритетных направлений исследований. Это позволяет обеспечить больший выход мясной продукции более высокого качества.

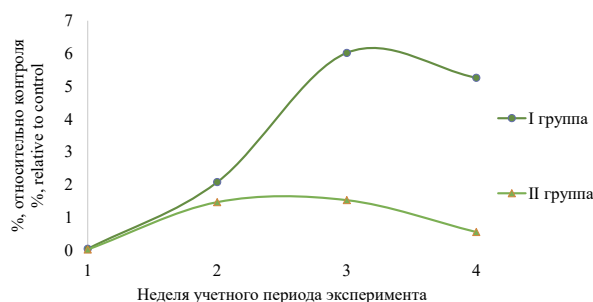
В данном эксперименте было изучено воздействие УДЧ в рацион цыплят-бройлеров на переваримость сухого и органического вещества, сырого жира, протеина и углеводов. Были получены следующие результаты (рисунок 2).

Переваримость сухого вещества в рационе цыплят-бройлеров была на 3,74% и 2,95% выше контроля в I и II опытной группе, однако различия были статистически незначимы. Переваримость органического вещества была выше контроля в I и II группе (на 4,51% и 4,06%, соответственно,  $p < 0,05$ ). Переваримость сырого жира повышалась при введении в рацион кормовых добавок в I и II опытной группе (на 5,66% и 7,04%, соответственно,  $p < 0,05$ ). Наибольшая переваримость питательных веществ рациона при введении кормовых добавок цыплятам-бройлерам была отмечена для сырого протеина. Показатели переваримости сырого протеина были достоверно выше контроля на 16,2% и 16,7% ( $p < 0,05$ ), соответственно, в I и II опытной группе. Переваримость углеводов корма в опытных группах не обнаруживала статистически значимых различий с контрольными показателями.

Результаты Scherzad A., *et al.* (2017) показали, что Cu, Fe, Mn и Zn способны к образованию гидроксиполимеров и хорошо растворяются в кислой среде. Однако в нейтральных условиях

**Рис. 1.** Динамика изменений показателей живой массы птицы (в %, относительно контроля)

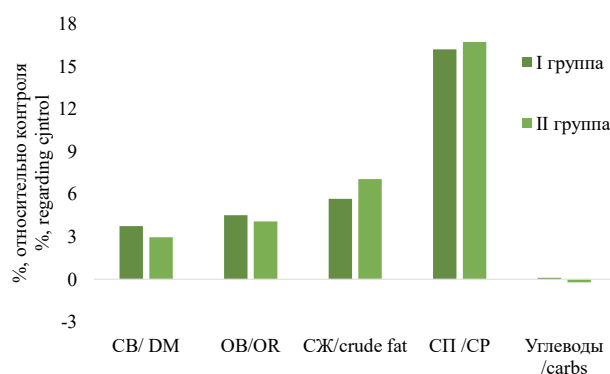
**Fig. 1.** Dynamics of live weight indicators of poultry (in %, relative to control)



Примечание: \* —  $p \leq 0,05$ ; \*\* —  $p \leq 0,01$  при сравнении с контрольным образцом

**Рис. 2.** Показатели переваримости питательных веществ рационов опытной птицы (в %, относительно контроля)

**Fig. 2.** Digestibility indices of nutrients in diets of experimental poultry (in %, relative to the control)



кишечника они быстро преобразуются в нерастворимые гидроксидные соединения, выпадающие в осадок. Следовательно, абсорбция этих микроэлементов, вероятно, зависит от секреции желудочного сока в желудке. Существенное падение кислотности желудочного сока способно уменьшить концентрацию растворенных и, как следствие, биодоступных металлов в желудке [12].

Таким образом, переваримость питательных веществ рациона (органического вещества и сырого жира) при даче цыплятам-бройлерам кормовых добавок была, преимущественно, выше контроля в I и II опытной группе. При этом переваримость сырого протеина была выше контроля на 9,55–16,7% во всех опытных группах.

#### Морфологические показатели крови

На 28 сутки эксперимента были определены показатели морфологии крови цыплят-бройлеров при введении опытных УДЧ в рацион (таблица 2).

Было показано, что содержание эритроцитов в периферической крови изменялось (на 11,8% и 5,4% выше контроля в I и II опытной группе, соответственно), однако различия с контролем были не достоверны. Содержание гемоглобина в I опытной групп было выше контроля на 10,4% ( $p < 0,05$ ).

Число лейкоцитов находилось в пределах физиологической нормы в крови опытной птицы, а число лимфоцитов имело тенденцию к повышению

**Таблица 2. Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров при введении опытных добавок в рацион**

**Table 2. Morphological blood parameters in broiler chickens following the introduction of experimental dietary supplements**

Показатели	Группы		
	контрольная	I опытная	II опытная
Эритроциты, $10^{12}$ г/л	3,46 ± 0,18	3,87 ± 0,22	3,65 ± 0,25
Гемоглобин, г/л	125,40 ± 4,47	138,21 ± 5,18*	127,00 ± 3,69
Лейкоциты, $10^9$ г/л	31,81 ± 2,81	33,22 ± 3,60	30,90 ± 2,71
Лимфоциты, $10^{12}$ г/л	55,11 ± 1,19	58,70 ± 1,06*	58,91 ± 0,95*
Моноциты, $10^{12}$ г/л	7,37 ± 0,22	7,69 ± 0,29	8,22 ± 0,24
Тромбоциты, $10^{12}$ г/л	76,52 ± 3,15	78,40 ± 2,79	76,02 ± 4,47

Примечание: \* —  $p \leq 0,05$  при сравнении с контрольным образцом

в I и II опытной группе (на 6,5% и 6,8%, соответственно, по сравнению с контролем,  $p < 0,05$ ). Это может свидетельствовать о повышении иммунного статуса опытной птицы и усилении иммунного ответа организма в ответ на введение опытных добавок. При этом количество моноцитов в периферической крови птицы не обнаруживало статистически значимых различий с контрольными показателями птиц, получавших только основной рацион. Количество тромбоцитов в крови цыплят также не обнаруживало тенденции к изменению, по сравнению с контрольными значениями в эксперименте. Отмечено изменение гематологических показателей крови птицы, выразившееся в усилении защитных сил организма в I и II опытной группе, повышении гемоглобина в I и его снижение — во II группе.

Экспериментальными исследованиями Гарипова Н.В. и др. (2022) установлено, что введение УДЧ, таких как Cu и Co, в рацион телят приводит к стимуляции активности церулоплазмينا, повышению уровня тиоловых соединений, сульфгидрильных групп и гамма-глобулиновой фракции протеинов в сыворотке крови. Это, в свою очередь, способствует увеличению скорости набора веса у животных. Вероятно, лишь небольшая доля биогенных металлов, присутствующих в корме, способна образовывать комплексы, легко усваиваемые организмом [13].

*Биохимические показатели сыворотки крови*

Для изучения особенностей функционирования различных систем организма подопытной птицы в эксперименте было выполнено исследование показателей биохимии сыворотки крови (таблица 3).

Повышение общего билирубина в крови опытных животных было выше контроля на 76,9% и 61,5% в I и II опытной группе, соответственно, что может быть связано с высоким уровнем гемоглобина в опытных группах, и как результат расщепления белков, содержащих гем. Содержание АЛТ в крови цыплят-бройлеров не имело достоверных различий с контрольной группой. При этом показатель АСТ был выше контроля в I опытной группе (на 12,54 %,  $p < 0,05$ ), что может свидетельствовать о повреждении гепатоцитов, например, особенно с высоким уровнем

**Таблица 3. Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при введении опытных добавок в рацион (n = 35)**

**Table 3. Biochemical parameters of blood in broiler chickens upon inclusion of experimental dietary supplements (n = 35)**

Показатели	Группы		
	контрольная	I опытная	II опытная
Общий белок, г/л	44,61 ± 1,12	49,30 ± 0,76*	49,80 ± 2,07*
Альбумины, г/л	18,01 ± 0,92	20,50 ± 1,02	18,10 ± 0,28
Глюкоза, ммоль/л	7,70 ± 0,35	8,10 ± 0,29	7,90 ± 0,33
Общий билирубин, мкмоль/л	0,39 ± 0,11	0,69 ± 0,09*	0,63 ± 0,14*
АЛТ, Ед/л	6,38 ± 0,94	6,92 ± 1,03	6,87 ± 0,87
АСТ, Ед/л	45,51 ± 22,92	51,60 ± 18,47*	46,90 ± 22,15
Коэффициент де Ритиса	7,13	7,45	6,82
Мочевина, ммоль/л	0,58 ± 0,07	0,65 ± 0,05	0,62 ± 0,12
Креатинин, мкмоль/л	32,31 ± 0,96	39,42 ± 1,11*	33,22 ± 0,68
Железо, мкмоль/л	18,72 ± 0,74	22,31 ± 1,17*	16,71 ± 0,83
Магний, ммоль/л	0,93 ± 0,05	1,09 ± 0,03*	1,03 ± 0,08
Кальций, ммоль/л	3,03 ± 0,14	3,29 ± 0,12	3,13 ± 0,09
Фосфор, ммоль/л	2,14 ± 0,09	2,27 ± 0,17	2,12 ± 0,12

Примечание: \* —  $p \leq 0,05$  при сравнении с контрольным образцом

билирубина у цыплят-бройлеров. Коэффициент де Ритиса в опытных группах увеличивался по сравнению с контрольной группой цыплят: в I группе на 4,2% ( $P \leq 0,05$ ), что может говорить о проблемах также сердечно-сосудистой системы. При этом II опытная группа, получавшая УДЧ Cu<sup>63</sup>, по данному коэффициенту была ниже на 0,31.

Уровень общего белка в сыворотке крови цыплят-бройлеров увеличивался во всех опытных группах: в I опытной (на 9,99%) и II опытной (на 10,99%) ( $p < 0,05$ ) относительно контрольной группы птицы.

Мирошников С.А. и др. (2019) выявил критически важную связь между микроэлементами и работой ферментных систем в организме животных. Одно- и двухвалентные ионы металлов интегрированы в структуру ферментов, имеющих асимметричное строение, что является причиной их повышенной каталитической способности. Ряд микроэлементов, таких как медь, цинк, кобальт и марганец, в форме ионов напрямую включаются в активный центр ферментов, оказывая значительное влияние на их функциональность [14].

Уровень мочевины в сыворотке крови не имел статистически значимых различий с контрольными значениями. Количество креатинина в крови птицы было выше контроля в I опытной группе (на 21,9%,  $p < 0,05$ ). Это может являться косвенным свидетельством усиления белкового обмена в организме птицы.

Исследования демонстрируют, что микроэлементы в форме ультрадисперсных частиц характеризуются повышенной биодоступностью по сравнению с традиционно используемыми в кормах неорганическими соединениями, такими как оксиды, сульфаты и карбонаты [15, 16].

Далее были рассмотрены показатели содержания минеральных веществ в крови птицы. Было

обнаружено, что содержание железа в крови было выше контроля в I группе при введении ультрадисперсных частиц одноименного изотопа элемента (на 19,2%,  $p < 0,05$ ). В I группе также увеличивалось содержание магния в сыворотке крови — на 17,2% выше контроля ( $p < 0,05$ ). Содержания кальция и фосфора в опытных группах не имело статистически значимых различий по сравнению с показателями контрольной группы.

Таким образом, изученные биохимические показатели сыворотки крови птицы свидетельствуют об усилении обменных процессов в I и II группах.

*Содержание минеральных веществ*

Внесение опытных добавок в рацион цыплят-бройлеров привело к различным изменениям в содержании химических элементов в организме птицы (рисунок 3).

Для I опытной группы было характерно, преимущественно, снижение содержания токсичных элементов в теле птицы по сравнению с контролем — Cd, Co, Hg, Sn, Pb, Ni, Sr, Cr и Zn на 97,2; 89,3; 76,2; 67,3; 61,2; 45,7; 39,7; 39,1 и 23,6%, соответственно ( $p < 0,05$ ). При этом, по сравнению с контролем, в теле птицы данной группы повышалось содержание макро- и эссенциальных микроэлементов — Na, Mg, Si, As, P, Ca и Fe на 5,2; 7,4; 7,9; 8,3; 21,6; 37,4 и 65,7%, соответственно ( $p < 0,05$ ).

Препараты наночастиц меди, введенные в организм животных, обладают пролонгированным действием и меньшей токсичностью по сравнению с солями. Наночастицы Cu при введении в организм стимулируют механизмы регуляции микроэлементного состава и активность антиоксидантных ферментов [17].

Для II опытной группы тенденция к изменению содержания в теле химических элементов, по сравнению с контролем, представлена на рисунке 4.

Можно выделить группу элементов, содержание которых уменьшалось, по сравнению с контрольными показателями — Sn, Sr, Hg, Co, Pb и Zn на 98,0; 86,5; 78,3; 69,7; 56,7 и 12,1%, соответственно ( $p < 0,05$ ). Данные элементы относятся к токсичным элементам. Пул элементов, чье содержание было выше контроля составили I, Cr, Al, Mn, Si, Cu, P, Se, Mg, Ca, K и Na — на 6,6; 6,8; 9,3; 10,8; 12,0; 12,6; 12,8; 15,6; 23,2; 29,0; 36,7 и 56,4%, соответственно ( $p < 0,05$ ).

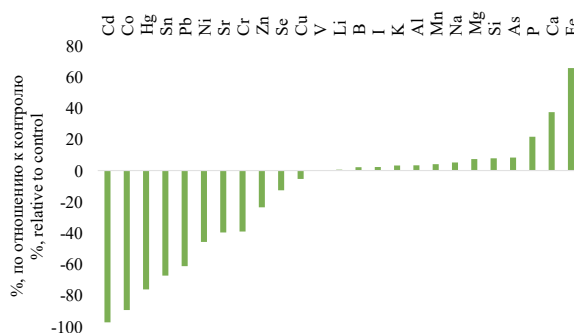
Таким образом, в I и II опытной группе отмечалась тенденция к уменьшению содержания в теле птицы токсичных элементов и увеличению — эссенциальных элементов.

*Эндогенные потери*

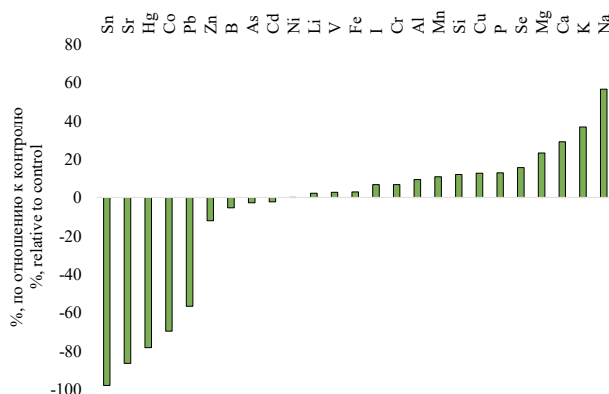
В ходе исследования была проведена оценка влияние опытных добавок на эндогенные потери химических элементов в теле цыплят-бройлеров (таблица 4).

Введение кормовой добавки в I группе позволило снизить эндогенные потери, по сравнению с контролем, железа (на 5,6%), меди (на 6,8%) и

**Рис. 3.** Изменение содержания химических элементов в теле птицы I опытной группы (в %, относительно контроля)  
**Fig. 3.** Change in the content of chemical elements in the body of birds from the first experimental group (in % relative to the control).



**Рис. 4.** Изменение содержания химических элементов в теле птицы II опытной группы (в %, относительно контроля)  
**Fig. 4.** Change in the content of chemical elements in the body of birds from the second experimental group (in % relative to the control)



**Таблица 4.** Эндогенные потери химических элементов в тушке цыплят-бройлеров (% , по отношению к контрольной группе)

**Table 4.** Endogenous losses of chemical elements in the carcasses of broiler chickens (% relative to the control group)

Химический элемент	Группы	
	I опытная	II опытная
Fe	+5,6	-2,7
Cu	+6,8	-19,0
Mn	+10,4	-6,1
Zn	-5,7	-12,4
Se	-6,1	-3,5
Co	-36,8	-45,0

марганца (на 10,4%). При этом во II опытной группе для всех изучаемых элементов было характерно увеличение эндогенных потерь, по сравнению с контрольными показателями.

Помимо неоспоримых положительных свойств нано-частиц, большинство исследователей указывает на некоторые отрицательные стороны применения препаратов на их основе, которые определяются цитотоксическим, генотоксическим и другими негативными воздействиями как на организм, так и на экологию в целом [18]. Особенно это касается размера наночастиц. При их уменьшении (до 5–10 нм) отмечаются негативные последствия на организм [19]. При попадании в

организм животных повышенных доз нано-частиц металлов, таких как кадмий, свинец, селен и др. (особенно малых размеров), может отмечаться их накопление в организме животных и человека, что ведет к выраженному нейротоксическому эффекту, изменяет ход течения патологий [20].

Таким образом, в I опытной группе отмечалось снижение эндогенных потерь Fe и Cu. Для II опытной группы было характерно увеличение эндогенных потерь по сравнению с контролем.

На основании проведенных исследований была отмечена перспективность дальнейшего изучения кормовых опытных добавок, используемых в I и II опытной группе, по совокупности изучения показателей морфо-биохимических показателей и обмена веществ для изучения возможности внедрения в практику сельского хозяйства.

### Выводы/Conclusions

Усвоение и обмен веществ наночастиц в организме птиц обусловлены их физико-химическими характеристиками. Это — ключевой фактор, демонстрирующий потенциал использования наночастиц как действенного источника изотопов УДЧ

меди и железа для бройлеров, а также расширения их применения в рационе сельскохозяйственной птицы.

В данной работе было показано, что существует потенциал использования изотопов  $^{63}\text{Cu}$  и  $^{56}\text{Fe}$  в качестве компонентов для моделирования искусственных депо микроэлементов с минимальным воздействием на нормальную микрофлору кишечника. Учитывая отсутствие выраженного антимикробного эффекта, данные изотопы потенциально безопасны при создании кормовых добавок или фармакологических форм, направленных на восполнение дефицита микроэлементов у сельскохозяйственных животных [21].

На сегодняшний день существует очень ограниченное число исследований, отражающих использование нерадиоактивных изотопов в кормлении животных. С учетом полученных результатов можно предположить, что внесение изотопов металлов в корма птице может служить дополнительным депо элементов, что подтверждается расчетом эндогенных потерь при введении изотопов железа, а также позволит регулировать содержание в теле эссенциальных и токсичных элементов.

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

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-00111

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кван О.В. Эндогенные потери веществ: оптимизация микро-нутриентной обеспеченности рационов сельскохозяйственных животных (обзор). *Животноводство и кормопроизводство*. 2023; 106(4): 148–163. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-148>
2. Gadde U., Kim W.H., Oh S.T., Lillehoj H.S. Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: a review. *Animal Health Research Reviews*. 2017; 18(1): 26–45. <https://doi.org/10.1017/S1466252316000207>
3. Singh V.V, Singh V.K, Tewari D., Gautam S., Singh V.B, Singh P. Performance of Broiler Chicken Fed Diets Supplemented with a Phyto-genic Mixture. *Indian Journal of Animal Nutrition*. 2019; 36(1): 58–64. <https://doi.org/10.5958/2231-6744.2019.00010.0>
4. Jiao L. et al. Preparation, characterization, antimicrobial and cytotoxicity studies of copper/zinc- loaded montmorillonite. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2017; 8: 27. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0156-6>
5. Liu S.Y., Macelline S.P., Chrystal P.V., Selle P.H. Progress towards reduced-crude protein diets for broiler chickens and sustainable chicken-meat production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 20. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00550-w>
6. Yadav S., Jha R. Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2019; 10: 2. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0310-9>
7. Espinosa C.D., Stein H.H. Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 13. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00533-3>
8. Byrne L., Murphy R.A. Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals*. 2022; 12(15): 1981. <https://doi.org/10.3390/ani12151981>
9. Sai Kumar B.A.A. Hormonal Regulation of Metabolism, Water, and Minerals. Das P.K., Sejian V., Mukherjee J., Banerjee D. (eds.). *Textbook of Veterinary Physiology*. Singapore: Springer. 2023; 391–415. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-9410-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-19-9410-4_16)

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

### FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation №. № 25-16-00111

### REFERENCES

1. Kvan O.V. Endogenous losses of substances: optimization of micronutrient supply of farm animal diets (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023; 106(4): 148–163 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-148>
2. Gadde U., Kim W.H., Oh S.T., Lillehoj H.S. Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: a review. *Animal Health Research Reviews*. 2017; 18(1): 26–45. <https://doi.org/10.1017/S1466252316000207>
3. Singh V.V, Singh V.K, Tewari D., Gautam S., Singh V.B, Singh P. Performance of Broiler Chicken Fed Diets Supplemented with a Phyto-genic Mixture. *Indian Journal of Animal Nutrition*. 2019; 36(1): 58–64. <https://doi.org/10.5958/2231-6744.2019.00010.0>
4. Jiao L. et al. Preparation, characterization, antimicrobial and cytotoxicity studies of copper/zinc- loaded montmorillonite. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2017; 8: 27. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0156-6>
5. Liu S.Y., Macelline S.P., Chrystal P.V., Selle P.H. Progress towards reduced-crude protein diets for broiler chickens and sustainable chicken-meat production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 20. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00550-w>
6. Yadav S., Jha R. Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2019; 10: 2. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0310-9>
7. Espinosa C.D., Stein H.H. Digestibility and metabolism of copper in diets for pigs and influence of dietary copper on growth performance, intestinal health, and overall immune status: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 13. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00533-3>
8. Byrne L., Murphy R.A. Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals*. 2022; 12(15): 1981. <https://doi.org/10.3390/ani12151981>
9. Sai Kumar B.A.A. Hormonal Regulation of Metabolism, Water, and Minerals. Das P.K., Sejian V., Mukherjee J., Banerjee D. (eds.). *Textbook of Veterinary Physiology*. Singapore: Springer. 2023; 391–415. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-9410-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-19-9410-4_16)

10. Kvan O.V., Sizova E.A., Vershinina I.A., Kamirova A.M. Изучение влияния ультрадисперсных частиц меди и железа на минеральный обмен в организме цыплят-бройлеров, находящихся на полусинтетической диете. *Аграрная наука*. 2022; (6): 48–51. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-48-51>
11. Sizova E.A., Miroshnikov S.A., Lebedev S.V., Levakhin Yu.I., Babicheva I.A., Kosilov V.I. Сравнительные испытания ультрадисперсного сплава, солей и органических форм Cu и Zn как источников микроэлементов в кормлении цыплят-бройлеров. *Сельскохозяйственная биология*. 2018; 53(2): 393–403. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.393rus>
12. Scherzad A., Meyer T., Kleinsasser N., Hackenberg S. Molecular Mechanisms of Zinc Oxide Nanoparticle-Induced Genotoxicity. *Materials*. 2017; 10(12): 1427. <https://doi.org/10.3390/ma10121427>
13. Гарипова Н.В., Рязанов В.А. Ультрадисперсные частицы железа в животноводстве. *Микроэлементы в медицине*. 2022; 23(4): 3–13. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2022-23-4-3-13>
14. Мирошников С.А., Гарипова Н.В., Холодиллина Т.Н., Курилкина М.Я., Дускаев Г.К. Продуктивное действие и переваримость кормов при использовании в кормлении птицы микрочастиц железа. *Животноводство и кормопроизводство*. 2018; 101(2): 7–16. EDN XZCKLZ
15. Adegbeye M.J. *et al.* Nanoparticles in Equine Nutrition: Mechanism of Action and Application as Feed Additives. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2019; 78: 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.04.001>
16. Fan X., Yang F., Nie C., Ma L., Cheng C., Haag R. Biocatalytic Nanomaterials: A New Pathway for Bacterial Disinfection. *Advanced Materials*. 2021; 33(33): 2100637. <https://doi.org/10.1002/adma.202100637>
17. Fisinin V.I., Miroshnikov S.A., Sizova E.A., Ushakov A.S., Miroshnikova E.P. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *World's Poultry Science Journal*. 2018; 74(3): 523–540. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000491>
18. Sizova E.A. Влияние включения в рацион наночастиц меди на уровень кадмия в организме цыплят-бройлеров. *Вестник мясного скотоводства*. 2017; (1): 13–20. EDN YHPSKZ
19. Lebedev S. *et al.* Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food*. 2021; 6(1): 14–31. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021002>
20. Xiao M. *et al.* Taurine regulates mucosal barrier function to alleviate lipopolysaccharide-induced duodenal inflammation in chicken. *Amino Acids*. 2018; 50(11): 1637–1646. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2631-6>
21. Гречкина В.В., Кван О.В., Шейда Е.В., Быков А.В. Экспериментальная оценка биотоксичности изотопов Cu-63 и Fe-56 в отношении смоделированной микрофлоры. *Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии. Сборник материалов Международной научно-практической конференции*. Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2025; 174–181. EDN MPETUC
10. Kvan O.V., Sizova E.A., Vershinina I.A., Kamirova A.M. Study of the effect of ultrafine particles of copper and iron on mineral metabolism in the body of broiler chickens on a semisynthetic diet. *Agrarian science*. 2022; (6): 48–51 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-48-51>
11. Sizova E.A., Miroshnikov S.A., Lebedev S.V., Levakhin Yu.I., Babicheva I.A., Kosilov V.I. Comparative tests of various sources of microelements in feeding chicken-broilers. *Agricultural Biology*. 2018; 53(2): 393–403. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.393eng>
12. Scherzad A., Meyer T., Kleinsasser N., Hackenberg S. Molecular Mechanisms of Zinc Oxide Nanoparticle-Induced Genotoxicity. *Materials*. 2017; 10(12): 1427. <https://doi.org/10.3390/ma10121427>
13. Garipova N.V., Ryzanov V.A. Ultrafine iron particles in animal husbandry (a review). *Trace elements in medicine*. 2022; 23(4): 3–13 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2022-23-4-3-13>
14. Miroshnikov S.A., Garipova N.V., Kholodilina T.N., Kurilkina M.Ya., Duskaev G.K. Productive action and digestibility of feeds after using iron microparticles for feeding of poultry. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018; 101(2): 7–16 (in Russian). EDN XZCKLZ
15. Adegbeye M.J. *et al.* Nanoparticles in Equine Nutrition: Mechanism of Action and Application as Feed Additives. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2019; 78: 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2019.04.001>
16. Fan X., *et al.* Biocatalytic nanomaterials: a new pathway for bacterial disinfection. *Adv Mater*. 2021;33(33):e2100637. <https://doi.org/10.1002/adma.202100637>
17. Fisinin V.I., Miroshnikov S.A., Sizova E.A., Ushakov A.S., Miroshnikova E.P. Metal particles as trace-element sources: current state and future prospects. *World's Poultry Science Journal*. 2018; 74(3): 523–540. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000491>
18. Sizova E.A. Effect of copper nanoparticles introduced to the diet on cadmium level of broiler chickens. *Herald of beef cattle breeding*. 2017; (1): 13–20 (in Russian). EDN YHPSKZ
19. Lebedev S. *et al.* Use of chromium nanoparticles as a protector of digestive enzymes and biochemical parameters for various sources of fat in the diet of calves. *AIMS Agriculture and Food*. 2021; 6(1): 14–31. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021002>
20. Xiao M. *et al.* Taurine regulates mucosal barrier function to alleviate lipopolysaccharide-induced duodenal inflammation in chicken. *Amino Acids*. 2018; 50(11): 1637–1646. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2631-6>
21. Grechkina V.V., Kvan O.V., Sheyda Ye.V., Bykov A.V. Experimental assessment of the biotoxicity of Cu-63 and Fe-56 isotopes in relation to modeled microflora. *Actual problems of applied biotechnology and engineering. Collection of materials of the International scientific and practical conference*. Orenburg: Orenburg State University. 2025; 174–181 (in Russian). EDN MPETUC

## ОБ АВТОРАХ

**Ольга Вилориевна Кван**<sup>1,2</sup>  
 доктор биологических наук  
 kwan111@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>  
**Виктория Владимировна Гречкина**<sup>1,3</sup>  
 кандидат биологических наук  
 Viktoria1985too@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>  
**Елена Владимировна Шейда**<sup>1,2</sup>  
 доктор биологических наук  
 elena-shejjda@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>  
**Ирина Александровна Вершинина**<sup>1</sup>  
 кандидат биологических наук  
 gavrish.irina.ogu@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-9377-7673>

<sup>1</sup> Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия

<sup>2</sup> Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

<sup>3</sup> Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

**Olga Vilorievna Kvan**<sup>1,2</sup>  
 Doctor of Biological Sciences  
 kwan111@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>  
**Viktoriya Vladimirovna Grechkina**<sup>1,3</sup>  
 Candidate of Biological Sciences  
 Viktoria1985too@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>  
**Elena Vladimirovna Sheyda**<sup>1,2</sup>  
 Doctor of Biological Sciences  
 elena-snejjda@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>  
**Irina Aleksandrovna Vershinina**  
 Candidate of Biological Sciences  
 gavrish.irina.ogu@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-9377-7673>

<sup>1</sup> Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 January 9<sup>th</sup> st., Orenburg, 460000, Russia

<sup>2</sup> Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

<sup>3</sup> Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev st., Orenburg, 460014, Russia

А.С. Горелик<sup>1</sup>О.В. Горелик<sup>2</sup> ✉М.Б. Ребезов<sup>2, 3</sup>С.Ю. Харлап<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

✉ [olgao205en@yandex.ru](mailto:olgao205en@yandex.ru)

Поступила в редакцию: 01.02.2026

Одобрена после рецензирования: 15.02.2026

Принята к публикации: 28.02.2026

© Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю.

Artem S. Gorelik<sup>1</sup>Olga V. Gorelik<sup>2</sup> ✉Maksim B. Rebezov<sup>2, 3</sup>Svetlana Yu. Kharlap<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ [olgao205en@yandex.ru](mailto:olgao205en@yandex.ru)

Received by the editorial office: 01.02.2026

Accepted in revised: 15.02.2026

Accepted for publication: 28.02.2026

© Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Y.

## Характеристика коров голштинской породы по продуктивным качествам в зависимости от возраста

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Разведение высокопродуктивного голштинского скота сопровождается проблемами, связанными с воспроизводством и сокращением продуктивного долголетия, что зачастую объясняют высокой молочной нагрузкой на организм. Изучение влияния возраста и продолжительности хозяйственного использования на продуктивные качества коров имеет ключевое значение для оптимизации системы содержания и повышения экономической эффективности молочного скотоводства. *Цель работы* – оценка динамики и изменчивости продуктивных и воспроизводительных качеств коров голштинской породы в зависимости от номера лактации.

**Методы.** Объект исследования – коровы голштинской породы, завершившие лактацию. Использованы данные базы ИАС «СЕЛЭКС-Молочный скот» и результаты собственных наблюдений. Изучены динамика удоя, массовой доли жира (МДЖ) и белка (МДБ), выход молочного жира и белка, а также продолжительность сервис-периода и коэффициент воспроизводительной способности (КВС) по лактациям. Статистическая обработка проведена с расчетом средних значений ( $M$ ), стандартного отклонения ( $\sigma$ ), ошибки среднего ( $m$ ) и коэффициента вариации ( $Cv$ ).

**Результаты.** Установлено, что удой достоверно возрастает до 4-й лактации (максимум 10166 кг), после чего постепенно снижается. МДЖ демонстрировала обратную зависимость от удоя. Наиболее стабильные показатели продуктивности и выхода питательных веществ наблюдались у коров 3–4-й лактаций. Длительность сервис-периода сокращалась с возрастом, достигая минимума (85 дней) к 6-й лактации, при этом КВС возрастал. Выявлена высокая изменчивость признаков у первотелок ( $Cv$  удоя >15%), снижающаяся у полновозрастных животных.

Научная значимость работы заключается в установлении четких закономерностей возрастной динамики продуктивных и воспроизводительных признаков у голштинских коров в условиях Уральского региона. Практическая ценность состоит в обосновании целесообразности использования коров до 5–6-й лактации при условии контроля их воспроизводительной функции и в необходимости усиления отбора ремонтных телок для снижения неоднородности стада.

**Ключевые слова:** голштинская порода, коровы, возраст, лактации, динамика, продуктивность, воспроизводство, изменчивость

**Для цитирования:** Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Характеристика коров голштинской породы по продуктивным качествам в зависимости от возраста. *Аграрная наука*. 2026; 404(03): 50–57.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-50-57>

## Characteristics of Holstein cows in terms of productive qualities, depending on age

### ABSTRACT

**Relevance.** The breeding of highly productive Holstein cattle is accompanied by problems related to reproduction and reduced productive longevity, often explained by the high milk load on the body. Studying the influence of age and duration of economic use on the productive qualities of cows is crucial for optimizing the housing system and increasing the economic efficiency of dairy farming. *The aim of the work* was to assess the dynamics and variability of productive and reproductive qualities of Holstein cows depending on lactation number.

**Methods.** The object of the study was Holstein cows that had completed lactation. Data from the IAC "SELEX-Dairy Cattle" database and the results of own observations were used. The dynamics of milk yield, mass fraction of fat (MF) and protein (MP), yield of milk fat and protein, as well as the duration of the service period and the reproductive capacity coefficient (RCC) by lactation were studied. Statistical processing was carried out with calculation of mean values ( $M$ ), standard deviation ( $\sigma$ ), standard error of the mean ( $m$ ) and coefficient of variation ( $Cv$ ).

**Results.** It was found that milk yield significantly increased until the 4th lactation (maximum 10,166 kg), after which it gradually decreased. MF showed an inverse relationship with milk yield. The most stable indicators of productivity and nutrient yield were observed in cows of 3–4 lactations. The duration of the service period decreased with age, reaching a minimum (85 days) by the 6th lactation, while the RCC increased. High variability of traits was revealed in first-calf heifers ( $Cv$  of milk yield >15%), decreasing in mature animals.

The scientific significance of the work lies in establishing clear patterns of age-related dynamics of productive and reproductive traits in Holstein cows in the conditions of the Ural region. The practical value consists in substantiating the feasibility of using cows up to the 5th–6th lactation, provided their reproductive function is controlled, and in the need to strengthen the selection of replacement heifers to reduce herd heterogeneity.

**Key words:** holstein breed, cows, age, lactation, dynamics, productivity, reproduction, variability.

**For citation:** Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Characteristics of Holstein cows by productive qualities depending on age. *Agrarian science*. 2026; 404(03): 50–57 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-50-57>

## Введение/Introduction

Обеспечение населения страны продуктами питания животного происхождения собственного производства в достаточном количестве — важная задача агропромышленного комплекса страны [1–3]. Молоко получают в основном от маточного поголовья крупного рогатого скота, молочного и комбинированного направлений продуктивности [1, 2]. Поэтому разведению молочного скота придается большое значение. Параллельно с увеличением производства молока стоит задача повышения эффективности использования животных, что обеспечивается их продуктивностью и эффективностью использования [3, 4]. В настоящее время в сельскохозяйственных организациях Российской Федерации более 65% поголовья молочного скота представлено высокопродуктивной обильномолочной голштинской породой [5–7]. Животные этой породы представлены двумя группами скота — чистопородным голштинским скотом, который завозился в страну, начиная с 50-х годов прошлого столетия, и большой группой, полученной в результате проведения совершенствования отечественного молочного скота путем скрещивания с быками мирового генофонда голштинской породы [5, 6, 8–12]. Длительная и повсеместная голштинизация в течение более 40 лет привела к получению массива животных с долей кровности более 87% по голштинам, которые по последней породной инвентаризации отнесены к голштинской породе [13–16]. В Свердловской области поглотительное скрещивание уральского отродья черно-пестрого скота с быками голштинской породы из США, Канады, Германии и Дании привело к получению пригодных к промышленному производству молока крупных высокопродуктивных коров с высокими показателями по удою, сохранившими уровень массовой доли жира и белка в молоке, как у улучшаемой породы [17–24].

Положительные результаты голштинизации и дальнейшее разведение молочного скота голштинской породы выявили проблемы, которые связаны прежде всего с вопросами воспроизводства, поскольку повышение продуктивности привело к снижению воспроизводительных качеств у маточного поголовья, что характерно для голштинской породы, которая выводилась с целью получения большего объема молока. Кроме того, наблюдается снижение длительности продуктивного долголетия до 2,5 лактаций, что объясняется

интенсивностью их использования, хотя известно, что окупаемость коровы наступает по полно-возрастной и далее лактации [21, 22, 25–30].

Таким образом, вызывает интерес вопрос о влиянии длительности использования коров на эффективность производства молока [24, 30–32].

*Целью работы* стала оценка продуктивных качеств коров в зависимости от возраста (длительности использования в лактациях).

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проведены в условиях племенного репродуктора по разведению голштинской породы крупного рогатого скота.

Объект исследований — коровы голштинской породы, материал — показатели молочной продуктивности: удои за 305 дней лактации по лактациям, массовая доля жира (МДЖ) и белка (МДБ) в молоке по лактациям. Условия содержания, основной рацион, режим и фронт кормления и поения, параметры микроклимата для всех групп были одинаковыми и соответствовали зоогигиеническим нормам<sup>1</sup>.

Использовались данные племенного и зоотехнического учета Информационно-аналитической системы «СЕЛЭКС — Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах»<sup>2</sup> (Россия), результаты собственных исследований.

Молочную продуктивность (удой, содержание жира, белка в молоке) коров анализировали по контрольным дойкам.

Отбор проб сырья и продукции проводили в соответствии с ГОСТ 3622<sup>3</sup>, ГОСТ 26809.1<sup>4</sup>. Содержание жира и белка определяли в средней пробе молока от каждой коровы один раз в месяц<sup>5,6</sup>.

Определяли количество молочного жира и белка; рассчитывали коэффициент изменчивости.

Воспроизводительные качества оценивали по длительности сервис и межотельного периодов, коэффициенту воспроизводительной способности.

Результаты опыта были обработаны биометрически при помощи персонального компьютера, программы Microsoft Office Excel (США).

Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных, используемых для научных целей<sup>7</sup>, и принципов обращения с животными согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ<sup>8</sup>.

<sup>1</sup> Морозова Н.И. и др. Молочная продуктивность голштинских коров при круглогодичном стойловом содержании (монография). Рязань, 2013.

<sup>2</sup> ИАС «СЕЛЭКС» - Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах внесена в Единый реестр российского программного обеспечения. Реестровая запись № 1927 от 23.09.2016

<sup>3</sup> ГОСТ 3622-68 Молоко и молочные продукты. Отбор проб и подготовка их к испытанию.

<sup>4</sup> ГОСТ 26809.1-2014 Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молочносодержащие продукты.

<sup>5</sup> ГОСТ 5867-2023 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения жира

<sup>6</sup> ГОСТ 34454-2018 Продукция молочная. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля

<sup>7</sup> Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях ([https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive\\_201063\\_rus.pdf](https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf))

<sup>8</sup> Федеральный закон от 27.12.2018 N 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

**Результаты и обсуждение / Results and discussion**

С целью определения уровня молочной продуктивности животных в стаде проанализированы данные молочной продуктивности в целом по окончившим лактацию животным (табл. 1).

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что показатели последней законченной лактации совпадают с данными, используемыми для оценки бонитировочного класса, что указывает на корректность селекционно-племенного учета в хозяйстве. Это позволяет говорить о хорошо поставленной в хозяйстве селекционно-племенной работе по проведению бонитировки молочного скота.

Установление бонитировочного класса позволяет говорить о племенной ценности животных в стаде. Основным показателем для оценки коров по собственной продуктивности являются количество молочного жира и молочного белка, как сопряженные показатели с точки зрения возможности сравнения коров с разным удоем и разными показателями качества молока между собой и определения их дальнейшей судьбы при использовании в хозяйстве.

Тут следует отметить, что в хозяйстве используется высокопродуктивный скот голштинской породы, который превосходит минимальные показатели для породы по удою в два и более раза и показывает более высокие результаты по жирно- и белковомолочности (МДЖ и МДБ в молоке), относительно требований по породе.

Был проведен анализ изменчивости продуктивных качеств по лактациям. Изменение удоя представлено на рисунке 1.

Анализ данных, представленных на диаграмме, позволяет сделать вывод о том, что лактационная деятельность коров имеет общую закономерность в зависимости от возраста, повышаясь до наступления половозрелой 3–4 лактации и затем снижаясь.

Анализ данных, представленных на рисунке 1, позволяет заключить, что наблюдается постепенное повышение удоя с первой лактации до достижения максимальных показателей по четвертой. Разница между ними составила 1378 кг или 16,4% в пользу половозрелых коров. Затем началось снижение показателей на 771 кг по пятой лактации и на 391 кг по шестой, относительно пятой или на 7,9 и 4,4%, соответственно.

С возрастом наблюдается снижение коэффициента вариации, что связано с уменьшением количества животных с возрастом и выбраковкой коров с низкими показателями продуктивности.

На рисунке 2 представлены данные о МДЖ и МДБ в молоке по лактациям и их изменчивость.

Таблица 1. Молочная продуктивность коров по стаду  
Table 1. Dairy productivity of cows by herd

Показатель	Удой за 305 дней лактации, кг	МДЖ, %	Молочного жира, кг	МДБ, %	Молочного белка, кг
<i>Последняя законченная лактация</i>					
М	9628	3,79	363,4	3,24**	311,4
mх	191,01	0,027	6,36	0,010	5,92
Б	1442,10	0,20	47,98	0,06	44,71
mБ	133,90	0,018	4,46	0,007	4,15
Cv	14,98%	5,24%	13,20%	2,34%	14,36%
<i>Максимальная лактация</i>					
М	10075	3,94**	395,1**	3,16	318,2
mх	171,26	0,041	6,18	0,015	5,29
Б	1292,98	0,31	46,66	0,11	39,92
mБ	120,05	0,029	4,33	0,010	3,71
Cv	12,83%	7,81%	11,81%	3,59%	12,55%
<i>Бонитировочная лактация</i>					
М	9628	3,79	363,4	3,24	311,4
mх	191,01	0,027	6,36	0,010	5,92
Б	1442,10	0,20	47,98	0,06	44,71
mБ	133,90	0,018	4,46	0,007	4,15
Cv	14,98%	5,24%	13,20%	2,34%	14,36%

Примечание: \*\* —  $p \leq 0,01$

Рис. 1. Изменчивость удоя за 305 дней лактации в зависимости от возраста, кг/%

Fig. 1. Milk yield variability over 305 days of lactation, depending on age, kg/%

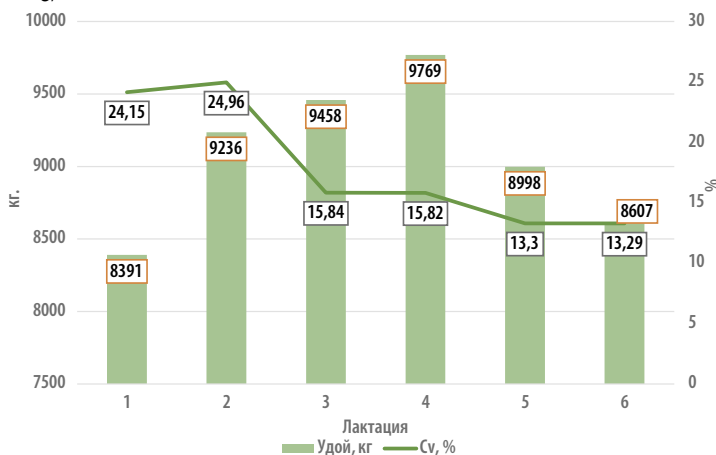
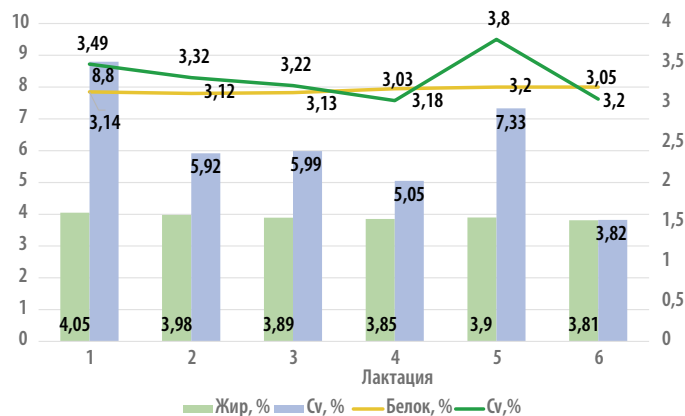


Рис. 2. Изменчивость качественных показателей молока по лактациям

Fig. 2. Variability of milk quality indicators by lactation



Массовая доля жира в молоке снижается с первой по четвертую лактацию, затем несколько возрастает и по шестой лактации опять снижается. До пятой лактации включительно изменение содержания жира в молоке идет с общей закономерностью лактационной деятельности у животных — при повышении удоя снижается МДЖ в молоке и наоборот.

Низкие показатели жира в молоке коров по шестой лактации при снижении удоя объясняются индивидуальными свойствами организма коров, лактирующих по шестой лактации.

Установлено, что коэффициент вариации признака снижается в зависимости от возраста коров. Большое снижение вариации признака наблюдается со второй лактации, что можно объяснить значительным выбытием первотелок. Повышение вариативности по МДЖ в молоке коров по 5 лактации также связано с выбраковкой. С одной стороны, были выбракованы коровы с низкими показателями продуктивности, из-за яловости и других признаков, с другой стороны, остались более жизнеспособные коровы, которые имели высокие показатели по воспроизводству, что часто сопровождается сниженными удоями.

Как было сказано выше, по сопряженным показателям — количеству молочного жира и количеству молочного белка — проводят бонитировку по собственной продуктивности и ставят балл, являющийся определяющим по определению племенного класса животного.

Данные по изменению этих показателей представлены на рисунке 3.

Количество молочного жира и молочного белка в молоке изменяется в такой же закономерности, что и удой. Это еще раз подтверждает, что выход питательных веществ с молоком в большей степени определяется удоем и изменяется от удоя за лактацию. Качественные показатели молока оказывают влияние на выход молочного жира и молочного белка при неизменном удое, но незначительно.

Это же подтверждают и коэффициенты вариации, которые оказались практически одинаковыми с коэффициентами изменчивости удоя по лактациям (рис. 4).

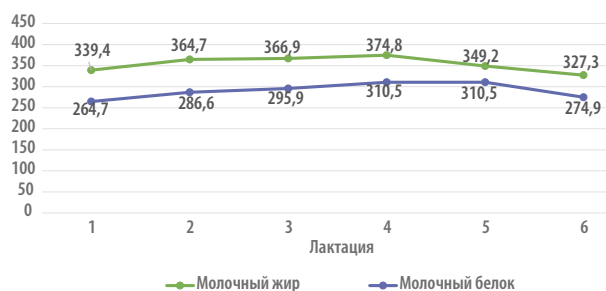
Наиболее высокими коэффициенты изменчивости (вариации) были в первую лактацию и затем снижались до конца использования, за исключением коэффициента изменчивости МДЖ в молоке по 6-ой лактации, который повысился, но незначительно.

Воспроизводительные функции изучали по длительности физиологических периодов воспроизводства и лактационной деятельности, рассчитывали коэффициент воспроизводительной способности.

Длительность сервис периода является основным показателем воспроизводства. От нее зависит длительность лактации, межотельного периода, коэффициент воспроизводительной

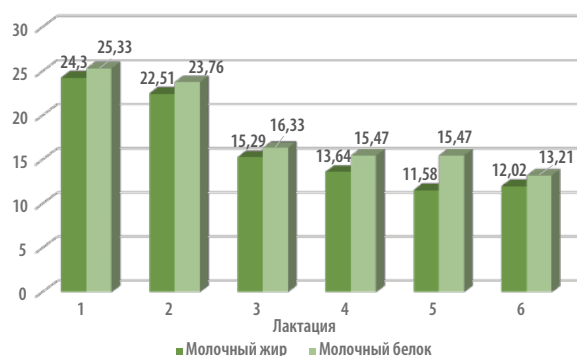
**Рис. 3.** Динамика количества молочного жира и молочного белка по лактациям, кг

**Fig. 3.** Dynamics of the amount of milk fat and milk protein by lactation, kg



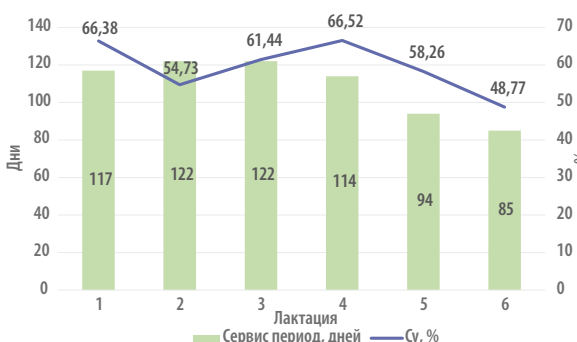
**Рис. 4.** Коэффициенты изменчивости МДЖ и МДБ в молоке, в зависимости от лактации, %

**Fig. 4.** Coefficients of variability of mass fraction of fat and protein in milk, depending on lactation, %



**Рис. 5.** Динамика длительности сервис периода и его изменчивости по лактациям

**Fig. 5.** Dynamics of the duration of the service period and its variability by lactation



способности, выход телят и другие показатели, связанные, как с производственной деятельностью, так и физиологическими параметрами производства молока и воспроизводства.

На рисунке 5 представлена динамика длительности сервис периода и его изменчивости по лактациям.

В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением возраста до 3-ей лактации наблюдается некоторое увеличение длительности сервис периода, затем он начинает снижаться, достигая минимума по 6-ой лактации — 85 дней.

Несмотря на снижение поголовья и изменение длительности сервис периода, установлены большие показатели коэффициента вариации, что

говорит о большей разбросанности данного признака.

Полученные результаты подтверждают зависимость остальных параметров, по которым проводится оценка воспроизводительной способности, от длительности сервис периода (рис. 6).

По коэффициенту воспроизводительной способности проводят оценку уровня воспроизводства в хозяйстве. Уровень считается хорошим, если коэффициент не ниже 0,95 и стремится к единице, что мы и видим по показателям в 5 и 6 лактации. Коэффициент от 0,9 до 0,95 свидетельствует об удовлетворительном уровне, а ниже 0,90 о низком и неудовлетворительном.

Такой уровень установлен по 2 и 3 лактациям, что скорее всего определяется тем, что в данных группах достаточно большое количество высокопродуктивных коров со сниженными показателями продуктивности. Их выбраковка после интенсивной лактационной деятельности приводит к повышению коэффициента воспроизводительной способности (КВС).

Интересен вопрос о взаимосвязи показателей воспроизводства и продуктивных качеств, так как эффективность производства определяется получением молока, как продукта, и получение теленка для дальнейшего использования с той или иной целью.

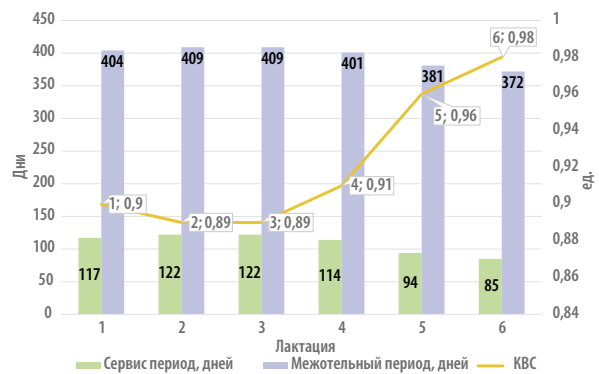
Проведен анализ сопряженности данных признаков графически. Данные представлены на рисунках 7 и 8.

На диаграмме хорошо просматривается, что изменения удоя идут параллельно с изменениями длительности сервис периода. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что длительность сервис периода оказывает влияние на молочную продуктивность — удой за 305 дней лактации, если не учитывать остальные закономерности лактационной деятельности коров.

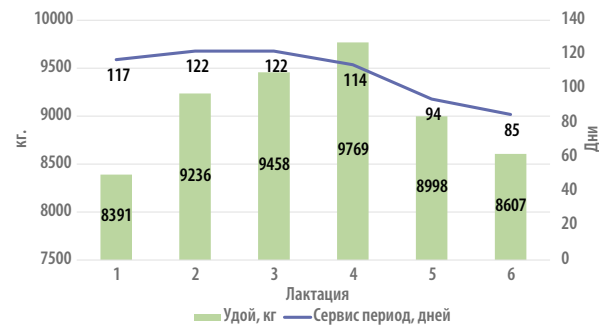
Следует отметить, что длительность сервис периода приводит к увеличению длительности лактации, то есть по идее должно наблюдаться увеличение количества молока, но поскольку мы рассматриваем удой за 305 дней лактации в динамике по возрасту, такого увеличения нее. На это указывает сопряженность данных показателей по 4-ой лактации. А в дальнейшем наблюдается физиологическое снижение молокообразования с возрастом при одновременном снижении длительности сервис периода за счет оставления в стаде коров с высокими показателями воспроизводства. Это косвенно подтверждается и при оценке сопряженности между удоем и КВС (рис. 8).

На данном графике прослеживается такая же закономерность сопряженности удоя и КВС, что и на предыдущем, только график изменения КВС обратный в сравнении с диаграммой сервис периода, что соответствует сопряженности между сервис периодом и коэффициентом воспроизводительной способности.

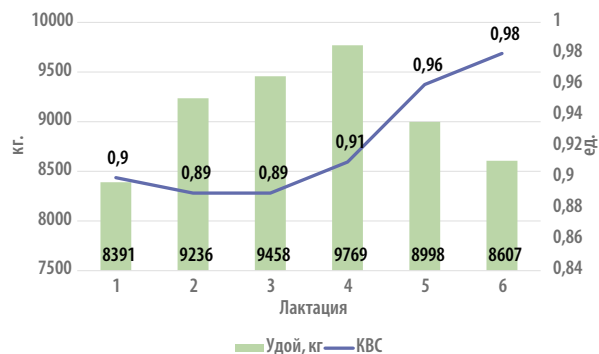
**Рис. 6.** Показатели воспроизводства коров по лактациям  
**Fig. 6.** Cow reproduction rates by lactation



**Рис. 7.** Сопряженность длительности сервис периода и удоя  
**Fig. 7.** Conjugation of the duration of the service period and milk yield



**Рис. 8.** Сопряженность удоя и коэффициента воспроизводительной способности  
**Fig. 8.** Conjugation of milk yield and reproductive capacity coefficient



**Выводы/Conclusions**

Научно подтверждена классическая возрастная динамика молочной продуктивности у голштинских коров в условиях промышленной технологии Уральского региона: восходящая фаза до 4-й лактации с последующим плавным спадом. Установлено, что максимальный выход молочного жира и белка также приходится на период 3–4-й лактаций.

Выявлена высокая фенотипическая изменчивость ( $C_v > 15\%$ ) продуктивных признаков у коров первой лактации, что служит индикатором недостаточно жесткого отбора ремонтного молодняка и определяет значительный потенциал для совершенствования стада за счет селекции.

Обнаружена обратная зависимость между динамикой удоя и массовой долей жира в молоке, а также положительная тенденция к улучшению воспроизводительных показателей (сокращение сервис-периода, рост КВС) у коров старших возрастов, сохранившихся в стаде.

Практическая значимость результатов заключается в том, что они дают экономическое обоснование для продления срока продуктивного использования высокопродуктивных коров голштинской породы до 5–6 лактации при условии сохранения у них удовлетворительных репродуктивных кондиций, что снижает затраты на ремонт стада.

Для повышения однородности и продуктивности стада рекомендуется ужесточить отбор ремонтных телок по происхождению и собственным показателям, а также внедрить

дифференцированное нормирование кормления с учетом возраста и физиологического состояния коров.

Можно сделать вывод о том, что изменения молочных признаков коров с возрастом идет по общей закономерности лактационной деятельности. МДЖ в молоке имеет обратно пропорциональную взаимосвязь с удоем. Выход питательных веществ с молоком за лактацию в первую очередь определяется удоем и в меньшей степени зависит от качественных показателей молока.

Воспроизводительные функции коров оказывают влияние на продуктивные качества коров с точки зрения начала физиологичности молокообразования и не оказывают прямого влияния на молочную продуктивность, которая изменяется закономерно в соответствии с возрастными особенностями.

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 является поисковым и выполнено в рамках научных исследований Уральского государственного аграрного университета номер государственной регистрации АААА-А19-1191014000069.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артемов Е.С., Стрибунова А.А., Светличная А.Ю. Скотоводство России — современные аспекты и перспективы. *Технологии и экспертиза сельскохозяйственной продукции*. 2025; 2(29): 63–74. [https://doi.org/10.53914/issn3034-6940\\_2025\\_2\\_63](https://doi.org/10.53914/issn3034-6940_2025_2_63)
2. Строев В.В., Магомедов М.Д., Алексейчева Е.Ю. Повышение производства и потребления молочных продуктов в России и продовольственная безопасность. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2023; 13(6–1): 368–380. <https://doi.org/10.34670/AR.2023.70.69.043>
3. Гриценко С.А., Костомахин Н.М. Динамика показателей выращивания ремонтных телок в условиях животноводческого предприятия. *Главный зоотехник*. 2023; 11(244): 3–9. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2311-01>
4. Сивкина О.Н., Зайцев С.Ю. Сравнительная характеристика продуктивности коров черно-пестрой и голштинской пород, разводимых в Российской Федерации. *Молочное и мясное скотоводство*. 2025; (5): 23–26. <https://doi.org/10.33943/MMS.2025.34.86.004>
5. Артемов Е.С., Ильина А.В., Стрибунова А.А., Шапошников И.Т. Характеристика продуктивных качеств коров голштинской породы в условиях интенсивного производства. *Технологии и экспертиза сельскохозяйственной продукции*. 2025; 3(30): 100–109. EDN QBDMWW
6. Колесникова А.В., Басонов О.А. Степень использования генетического потенциала голштинских быков-производителей различной селекции. *Зоотехния*. 2017; (1): 10–12. EDN XWVGGV
7. Сельцов В.И., Молчанова Н.В., Сулима Н.Н. Влияние методов разведения на продуктивное долголетие и пожизненную продуктивность коров. *Зоотехния*. 2013; (9): 2–4. EDN RCLXIN
8. Сермягин А.А., Быкова О.А., Лоретц О.Г., Костюнина О.В., Зиновьева Н.А. Оценка геномной изменчивости продуктивных признаков у животных голштинизированной черно-пестрой породы на основе анализа GWAS и паттернов ROH. *Сельскохозяйственная биология*. 2020; 55(2): 257–274. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.2.257rus>
9. Чеченихина О.С., Смирнова Е.С. Биологические и продуктивные особенности коров черно-пестрой породы при различной технологии доения. *Молочнохозяйственный вестник*. 2020; 1 (37): 90–102. EDN UEQGYV

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 is exploratory and was carried out within the framework of scientific research of the Ural State Agrarian University state registration number АААА-А19-1191014000069.

#### REFERENCES

1. Artemov E.S., Stribunova A.A., Svetlichnaya A.Yu. Cattle breeding in Russia — current aspects and prospects. *Technologies and examination of agricultural products*. 2025; 2(29): 63–74 (in Russian). [https://doi.org/10.53914/issn3034-6940\\_2025\\_2\\_63](https://doi.org/10.53914/issn3034-6940_2025_2_63)
2. Stroeve V.V., Magomedov M.D., Alekseycheva E.Yu. Increasing production and consumption of dairy products in Russia and food security. *Economics: yesterday, today, tomorrow*. 2023; 13(6–1): 368–380 (in Russian). <https://doi.org/10.34670/AR.2023.70.69.043>
3. Gritsenko S.A., Kostomakhin N.M. Dynamics of indicators of growing replacement heifers in a livestock enterprise. *Head of Animal Breeding*. 2023; 11(244): 3–9 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-03-2311-01>
4. Sivkina O.N., Zaitsev S.Yu. Comparative characteristics of the productivity of cows of the Black-and-White and Holstein breeds bred in the Russian Federation. *Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*. 2025; (5): 23–26 (in Russian). <https://doi.org/10.33943/MMS.2025.34.86.004>
5. Artemov E.S., Ilyina A.V., Stribunova A.A., Shaposhnikov I.T. Characteristics of the productive qualities of Holstein cows under intensive production conditions. *Technologies and Expertise of Agricultural Products*. 2025; 3(30): 100–109 (in Russian). EDN QBDMWW
6. Kolesnikova A.V., Basonov O.A. The degree of use of the genetic potential of Holstein sires of various selections. *Zootchnics*. 2017; (1): 10–12 (in Russian). EDN XWVGGV
7. Seltsov V.I., Molchanova N.V., Sulima N.N. The influence of breeding methods on the productive longevity and lifetime productivity of cows. *Zootchnics*. 2013; (9): 2–4 (in Russian). EDN RCLXIN
8. Sermyagin A.A., Bykova O.A., Lorets O.G., Kostyunina O.V., Zinovieva N.A. Assessment of genomic variability of productive traits in Holsteinized Black-and-White cattle based on GWAS analysis and ROH patterns. *Agricultural biology*. 2020; 55(2): 257–274 (in Russian). <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.2.257rus>
9. Chechenikhina O.S., Smirnova E.S. Biological and productive characteristics of black-and-white cows with different milking technologies. *Dairy Bulletin*. 2020; 1 (37): 90–102 (in Russian). EDN UEQGYV

10. Дунин И.М. Тяпугин С.Е., Мещеряков Р.К. Разведение скота голштинской породы на территории Российской Федерации. *Зоотехния*. 2020. (2): 5–8. <https://doi.org/10.25708/ZT.2020.95.35.002>
11. Сафронов С.Л., Костомакхин Н.М., Соловьева О.И., Остроухова В.И., Кульмакова Н.И. Молочная продуктивность и долгодетность коров в условиях промышленной технологии производства молока. *Селекционные и технологические аспекты интенсификации производства продуктов животноводства. По материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения академика М.Ф. Иванова*. 2022; 223–227. EDN DRQJGH
12. Скобелев В.В., Чижевский С.И., Серяков И.С., Цикунова О.Г. Молочная продуктивность коров-первотелок в зависимости от генеалогической структуры в ОАО «Валище» Пинского района. *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2017; 4: 32–37. EDN YMNEIK
13. Черемуха Е.Г., Бузина О.В. Хозяйственно-полезные признаки коров черно-пестрой породы в зависимости от степени голштинизации. *Инновационное развитие животноводства в современных условиях: Сборник трудов по материалам национальной конференции с международным участием, посвященный памяти, 75-летию со дня рождения Заслуженного работника высшей школы РФ, Почетного работника высшего профессионального образования РФ, Почетного профессора Брянского ГАУ, профессора Нуриева Геннадия Газизовича*. Брянск, 2021. Том Часть 2. 2021; 92–97. EDN KKBETX
14. Чеченихина О.С., Быкова О.А., Лоретц О.Г., Степанов А.В. Возраст выбытия коров из стада в зависимости от генетических и паратипических факторов. *Аграрный вестник Урала*. 2021; (6): 71–79. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79>
15. Гридин В.Ф., Гридина С.Л. Анализ породного и классного состава крупного рогатого скота уральского региона. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019; (1): 50–51. <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019150-51>
16. Лоретц О.Г., Горелик О.В., Гафнер В.Д. Влияние происхождения на молочную продуктивность коров. *Аграрный вестник Урала*. 2016; 4(146): 45–50. EDN VVUUGZ
17. Шелковкина Е.В., Харлап С.Ю., Горелик О.В. Молочная продуктивность голштинизированного черно-пестрого скота. *Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. Том Часть I*. С.-Пб.: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2022; 321–324. EDN RQADJU
18. Gorelik O.V., Lihodeevskaya O.E., Zezin N.N., Sevostyanov M.Ya., Leshonok O.I. The use of inbreeding in dairy cattle breeding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Vol. 548*. Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020; 82013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082013>
19. Шелковкина Е.В., Горелик О.В. Хозяйственно-полезные качества голштинизированного черно-пестрого скота. *Молодежь и наука*. 2021; 11. EDN DSUOXU
20. Гридина С.Л., Гридин В.Ф., Сидорова Д.В., Новицкая К.В. Сравнительный уровень голштинизации на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы. *Достижения науки и техники АПК*. 2018; 32(8): 60–61. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10816>
21. Braganholo R.C. et al. Age at first calving and productive performance of primiparous Holsteins. *Journal of Dairy Research*. 2023; 90(4): 353–356. <https://doi.org/10.1017/S0022029923000729>
22. Pollott G.E. Short communication: do Holstein lactations of varied lengths have different characteristics? *Journal of Dairy Research*. 2011; 94(12): 6173–6180. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4467>
23. Прохоренко, П. Голштинская порода и ее влияние на генетический прогресс продуктивности черно-пестрого скота европейских стран и Российской Федерации. *Молочное и мясное скотоводство*. 2015; 2: 2–7.
24. Назарченко О.В., Цопанова А.В., Денисов С.А., Евшиков С.С. Голштинская порода и ее генетический потенциал в условиях Зауралья. *Аграрная наука в условиях модернизации и цифрового развития АПК России. Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции*. Курган (Лесниково): Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева 2022; 139–143. EDN RVWKJV
10. Dunin I.M. Tyapugin S.E., Meshcheryakov R.K. Breeding Holstein cattle on the territory of the Russian Federation. *Animal science*. 2020; (2): 5–8 (in Russian). <https://doi.org/10.25708/ZT.2020.95.35.002>
11. Safronov S.L., Kostomakhin N.M., Solovieva O.I., Ostroukhova V.I., Kulmakova N.I. Milk productivity and longevity of cows under industrial milk production technology. *Breeding and technological aspects of intensification of livestock production. Based on the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 150th anniversary of the birth of Academician M.F. Ivanov*. 2022; 223–227 (in Russian). EDN DRQJGH
12. Skobelev V.V., Chizhevsky S.I., Seryakov I.S., Tsikunova O.G. Milk productivity of first-calf heifers depending on the genealogical structure in JSC Valishche, Pinsk District. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*. 2017; 4: 32–37 (in Russian). EDN YMNEIK
13. Cheryomukha E.G., Buzina O.V. Economically useful traits of Black-and-White cows depending on the degree of Holsteinization. *In: Innovative development of animal husbandry in modern conditions: Collection of papers based on the materials of the national conference with international participation, dedicated to the memory of the 75th anniversary of the birth of Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Professor of Bryansk State Agricultural University, Professor Gennady G. Nuriyev*. Volume Part 2. 2021; 92–97 (in Russian). EDN KKBETX
14. Chechenikhina O.S., Bykova O.A., Loretz O.G., Stepanov A.V. The age at which cows leave the herd depending on genetic and paratypic factors. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; (6): 71–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79>
15. Gridin V.F., Gridina S.L. Analysis of the breed and class composition of cattle in the Ural region. *Russian agricultural science*. 2019; (1): 50–51 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019150-51>
16. Loretts O.G., Gorelik O.V., Gafner V.D. Influence of origin on milk productivity of cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2016; 4(146): 45–50 (in Russian). EDN VVUUGZ
17. Shelkovkina E.V., Kharlap S.Yu., Gorelik O.V. Milk productivity of Holsteinized Black-and-White cattle. *Intellectual potential of young scientists as a driver of agro-industrial complex development: Proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists and students. Volume Part I*. St. Petersburg: St. Petersburg State Agrarian University, 2022; 321–324 (in Russian). EDN RQADJU
18. Gorelik O.V., Lihodeevskaya O.E., Zezin N.N., Sevostyanov M.Ya., Leshonok O.I. The use of inbreeding in dairy cattle breeding. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Vol. 548*. Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020; 82013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/8/082013>
19. Shelkovkina E.V., Gorelik O.V. Economically useful qualities of Holsteinized black-and-white cattle. *Youth and Science*. 2021; 11 (in Russian). EDN DSUOXU
20. Gridina S.L., Gridin V.F., Sidorova D.V., Novitskaya K.V. Comparative Effect of Holsteinization on Milk Productivity of Black-and-White Cows. *Achievements of Science and Technology of AICs*. 2018; 32(8): 60–61 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10816>
21. Braganholo R.C. et al. Age at first calving and productive performance of primiparous Holsteins. *Journal of Dairy Research*. 2023; 90(4): 353–356. <https://doi.org/10.1017/S0022029923000729>
22. Pollott G.E. Short communication: do Holstein lactations of varied lengths have different characteristics? *Journal of Dairy Research*. 2011; 94(12): 6173–6180. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4467>
23. Prokhorenko, P. Holstein Breed and Its Impact on the Genetic Progress of the Productivity of Black-and-White Cattle in European Countries and the Russian Federation. *Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2015; 2: 2–7 (in Russian).
24. Nazarchenko O.V., Tsopanava A.V., Denisov S.A., Evshikov S.S. Holstein breed and its genetic potential in the Trans-Urals. *Agricultural science in the context of modernization and digital development of the Russian agro-industrial complex. Collection of articles based on the materials of the International scientific and practical conference*. Kurgan (Lesnikovo): Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev 2022; 139–143 (in Russian). EDN RVWKJV

25. Fahim N., Ibrahim M., Sadek R. Lifetime performance traits of Holstein cows: implications of first-lactation milk yield and culling causes. *Tropical Animal Health and Production*. 2025; 57: 454. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04670-7>

26. Сударев Н.П., Абылкасымов Д., Абрампальская О.В., Чаргеишвили С.В. Влияние возраста первого плодотворного осеменения телок разной селекции на их последующие хозяйственно полезные признаки. *Сельскохозяйственный журнал*. 2018; 3(11): 50–56.

27. Горелик О.В., Ребезов М.Б., Долматова И.А. Молочная продуктивность коров уральского типа голштинизированного чёрно-пестрого скота. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Материалы 81-й международной научно-технической конференции*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2023; 2: 250. EDN AZJXIC

28. Ferris C.P., Watson S., Gordon A.W., Barley J. Physical and economic performance of dairy cows managed within contrasting grassland-based milk production systems over 3 successive lactations. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(4): 3153–3175. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20315>

29. Bene S.A., Kőrösi Z.J., Bognár L., Polgár J.P., Szabó F. Relationship Between Age at First Calving and 305-Day Milk Yield in Hungarian Holstein-Friesian Cows: Trends and Genetic Parameters. *Animals*. 2025; 15(24): 3648. <https://doi.org/10.3390/ani15243648>

30. Манукян Е.А., Лепехина Т.В., Бакай Ф.Р. Сравнительная оценка молочной продуктивности коров-матерей и их дочерей голштинской породы в Московской области. *Современное состояние животноводства и тенденции его развития: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции М.: Академия Принт*, 2025; 92–98. EDN FAWOWY

31. Горелик А.С. и др. Изменение показателей молочной продуктивности по лактациям. *Аграрная наука*. 2025; 397 (08): 32–38. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-32-38>

32. Шальнев О.В., Харлап С.Ю., Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Особенности молочной продуктивности коров в зависимости от возраста и подбора. *Аграрная наука*. 2026; 402 (01): 77–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-77-84>

25. Fahim N., Ibrahim M., Sadek R. Lifetime performance traits of Holstein cows: implications of first-lactation milk yield and culling causes. *Tropical Animal Health and Production*. 2025; 57: 454. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04670-7>

26. Sudarev N.P., Abylkasymov D., Abrampalskaya O.V., Chargeishvili S.V. Influence of the age of the first fruitful insemination of heifers of different selections on their subsequent economically useful traits. *Agricultural Journal*. 2018; 3(11): 50–56. (in Russian)

27. Gorelik O.V., Rebezov M.B., Dolmatova I.A. Milk productivity of Ural type cows of Holsteinized black-and-white cattle. *Current problems of modern science, technology and education. Proceedings of the 81<sup>st</sup> international scientific and technical conference*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2023; 2: 250 (in Russian). EDN AZJXIC

28. Ferris C.P., Watson S., Gordon A.W., Barley J. Physical and economic performance of dairy cows managed within contrasting grassland-based milk production systems over 3 successive lactations. *Journal of Dairy Science*. 2022; 105(4): 3153–3175. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20315>

29. Bene S.A., Kőrösi Z.J., Bognár L., Polgár J.P., Szabó F. Relationship Between Age at First Calving and 305-Day Milk Yield in Hungarian Holstein-Friesian Cows: Trends and Genetic Parameters. *Animals*. 2025; 15(24): 3648. <https://doi.org/10.3390/ani15243648>

30. Manukyan E.A., Lepekhina T.V., Bakai F.R. Comparative assessment of milk productivity of mother cows and their daughters of the Holstein breed in the Moscow region. *Current state of animal husbandry and trends in its development: Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference*. Moscow: Akademiya Print, 2025; 92–98 (in Russian). EDN FAWOWY

31. Gorelik A.S. et al. Changes in milk productivity indicators by lactation. *Agrarian science*. 2025; 397 (08): 32–38 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-32-38>

32. Shalnev O.V., Kharlap S.Yu., Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B. Features of dairy productivity of cows depending on age and selection. *Agrarian science*. 2026; 402 (01): 77–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-402-01-77-84>

#### ОБ АВТОРАХ:

##### Артём Сергеевич Горелик<sup>1</sup>

кандидат биологических наук  
temae077ex@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3362-2514>

##### Ольга Васильевна Горелик<sup>2</sup>

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

##### Максим Борисович Ребезов<sup>2, 3</sup>

– доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник<sup>2</sup>;  
– доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов<sup>3</sup>  
rebezov@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

##### Светлана Юрьевна Харлап<sup>2</sup>

кандидат биологических наук, доцент  
proffuniver@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3651-8835>

<sup>1</sup>Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, ул. Мира, 22, Екатеринбург, 620062, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

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

#### ABOUT THE AUTHORS:

##### Artyom Sergeevich Gorelik<sup>1</sup>

Candidate of Biological Sciences  
temae077ex@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3362-2514>

##### Olga Vasilyevna Gorelik<sup>2</sup>

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products  
olgao205en@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9546-2069>

##### Maksim Borisovich Rebezov<sup>2, 3</sup>

– Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher<sup>2</sup>;  
– Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products<sup>3</sup>  
rebezov@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

##### Svetlana Yurievna Kharlap<sup>2</sup>

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor  
proffuniver@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3651-8835>

<sup>1</sup>Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 22 Mira st., Yekaterinburg, 620062, Russia

<sup>2</sup>Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht st., Yekaterinburg, 620075, Russia

<sup>3</sup>Gorbatov Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

Л. В. Ефимова ✉

Т. В. Зазнобина

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярск, Россия

✉ [ljubow\\_wal@mail.ru](mailto:ljubow_wal@mail.ru)

Поступила в редакцию: 05.11.2025

Одобрена после рецензирования: 15.02.2026

Принята к публикации: 28.02.2026

© Ефимова Л.В., Зазнобина Т.В.

Lyubov V. Efimova ✉

Tatyana V. Zaznobina

Krasnoyarsk Agricultural Research Institute — the Separate division of the Krasnoyarsk Science Centre of the Siberian Branch of Russian Academy of Science, Krasnoyarsk, Russia

✉ [ljubow\\_wal@mail.ru](mailto:ljubow_wal@mail.ru)

Received by the editorial office: 05.11.2025

Accepted in revised: 15.02.2026

Accepted for publication: 28.02.2026

© Efimova L.V., Zaznobina T.V.

## Содержание соматических клеток в молоке коров голштинской породы в разные сезоны года

### РЕЗЮМЕ

Одним из показателей оценки качества молока коров и его пригодности к промышленной переработке является количество соматических клеток.

**Цель исследований:** изучение сезонной изменчивости содержания соматических клеток в молоке голштинских коров и их взаимосвязи с продуктивностью и химическим составом. Исследования проведены на коровах второй и третьей лактации. Были проанализированы: суточный удой, состав молока и количество соматических клеток в зависимости от сезона лактирования (зима, весна, лето, осень). Установлено, что наибольшее количество соматических клеток (412,3–531,9 тыс/см<sup>3</sup>) обнаружено в молоке коров обоих возрастов в зимний сезон, наименьшее — в осенний (80,4–97,6 тыс/см<sup>3</sup>). Выявлена положительная корреляционная связь между количеством соматических клеток в молоке и массовой долей жира (0,747) в осенний сезон у коров второй лактации и отрицательные связи между соматическими клетками и среднесуточным удоем (-0,580), содержанием жира (-0,645), белка (-0,894), сухих веществ (-0,774) и СОМО (-0,888) в зимний у коров третьей лактации. Сила влияния сезона лактирования на содержание в молоке жира составила 69,6 и 75,0%, лактозы — 42,8 и 39,3%, сухих веществ — 63,9 и 63,7%, количество соматических клеток — 59,3% и 68,2%. По количеству соматических клеток молоко, полученное в зимний сезон, относилось ко второму сорту, в остальные сезоны — к высшему сорту.

**Ключевые слова:** молоко, среднесуточный удой, химический состав, количество соматических клеток, корова, голштинская порода, сезон года

**Для цитирования:** Ефимова Л.В., Зазнобина Т.В. Содержание соматических клеток в молоке коров голштинской породы в разные сезоны года. *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 58–64.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-58-64>

## Somatic cell counts in Holstein cows' milk in different seasons of the year

### ABSTRACT

One of the indicators for assessing the quality of cow's milk and its suitability for industrial processing is the somatic cell count (SCC). *The aim of this research* was to study the seasonal variability of somatic cell content in the milk of Holstein cows and its relationship with productivity and chemical composition. The studies were conducted on cows in their second and third lactations. The following parameters were analyzed: daily milk yield, milk composition, and somatic cell count depending on the lactation season (winter, spring, summer, autumn). It was found that the highest somatic cell count (412.3–531.9 thousand/cm<sup>3</sup>) was observed in the milk of cows of both ages in winter, and the lowest in autumn (80.4–97.6 thousand/cm<sup>3</sup>). A positive correlation was found between the somatic cell count in milk and the mass fraction of fat (0.747) in the autumn for second-lactation cows. Negative correlations were found between somatic cells and daily milk yield (-0.580), fat content (-0.645), protein (-0.894), total solids (-0.774), and solids-not-fat (SNF) (-0.888) in winter for third-lactation cows. The strength of the influence of the lactation season on the fat content in milk was 69.6% and 75.0%, on lactose — 42.8% and 39.3%, on total solids — 63.9% and 63.7%, and on the somatic cell count — 59.3% and 68.2%, for second and third lactation cows respectively. According to the SCC, milk obtained in the winter season was classified as second grade, while in other seasons it was classified as premium grade.

**Key words:** milk, daily milk yield, chemical composition, somatic cell count, cow, Holstein breed, seasons of the year

**For citation:** Efimova L.V., Zaznobina T.V. Somatic cell counts in Holstein cows' milk in different seasons of the year. *Agrarian science*. 2026; 404 (03): 58–64 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-58-64>

## Введение/Introduction

Молоко является одним из основных продуктов питания человека.

В Красноярском крае молоко и молочные продукты занимают наибольшую долю в структуре потребления — 32,6%. За последние пять лет потребление молока и молочных продуктов в регионе выросло на 2,5%, составив в 2024 году 244 кг на душу населения<sup>1</sup>. Вместе с тем, для потребителей важную роль играет качество и безопасность молочной продукции [1–4].

В настоящее время в Российской Федерации действует ГОСТ Р 52054-2023<sup>2</sup>, согласно которому молоко-сырье, поступающее на перерабатывающее предприятие, должно соответствовать требованиям по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям.

Одним из показателей оценки качества молока и его пригодности к переработке является количество соматических клеток, которое также служит индикатором здоровья вымени коровы и используется для контроля за воспалительным процессом в молочной железе и прогнозирования возникновения субклинической и клинической форм маститов [5–7].

С 2023 года подсчет количества соматических клеток в сыром молоке включен в оценку здоровья вымени при определении племенной ценности крупного рогатого скота молочного направления продуктивности<sup>3</sup>.

Мастит — воспалительное заболевание молочной железы — не только негативно влияет на физиологическое здоровье коровы, но и приводит к уменьшению количества надоев молока, снижению его физико-химических и технологических свойств, к выбраковке коровы из стада, в результате чего молочные фермы несут экономические потери [8, 9].

Для снижения рисков заболевания маститом (и для уменьшения содержания соматических клеток в молоке) необходимо проводить правильный уход за выменем коровы до и после доения, следить за продолжительностью доения и за параметрами работы доильной установки (колебания вакуума, частота пульсации, соотношение тактов доильного аппарата), а также не нарушать условий содержания и не допускать погрешностей в кормлении [10, 11].

Кроме того, на количество соматических клеток в молоке коров оказывают влияние такие факторы, как возраст животного, фаза лактации, условия кормления и содержания, а также соблюдение гигиены вымени до и после доения.

Многими отечественными и зарубежными учеными установлено, что уровень соматических клеток в молоке коров может варьироваться в

зависимости от сезона года. Однако единого мнения по этому вопросу нет. Одни авторы говорят об увеличении количества соматических клеток в молоке летом [12–14], другие — в весенний период [15, 16], третьи — в осенний [7, 17], четвертые сообщают о максимальном содержании количества соматических клеток в зимне-весенний сезон [8].

В Российской Федерации изучение влияния сезона года на количество соматических клеток осуществлялось на коровах черно-пестрой породы в Вологодской области [16], голштинской породы в Костромской области [12], в Республике Татарстан [8]. В Красноярском крае подобных экспериментов не проводилось, следовательно, исследования обладают научной новизной.

*Цель исследований* заключалась в изучении сезонной изменчивости содержания соматических клеток в молоке голштинских коров и их взаимосвязи с продуктивностью и химическим составом.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проведены в АО «Арефьевское» Канского района Красноярского края с января по сентябрь 2025 года.

Для исследований при использовании базы данных ИАС «Селэкс» было отобрано 15 коров в возрасте второй лактации и 15 коров в возрасте третьей лактации с учетом породной (голштинская) и линейной принадлежности (Вис Бек Айдиал), а также удоя за предыдущую лактацию.

У коров второй лактации удой за предыдущую лактацию (первую) составил  $6254 \pm 301$  кг, у коров третьей лактации за последнюю законченную лактацию (вторую) составил  $6404 \pm 282$  кг.

У отобранных коров обоих возрастов были проанализированы среднесуточный удой, химический состав молока и количество соматических клеток в разные сезоны лактирования (зима, весна, лето, осень).

Условия кормления, содержания и доения были одинаковыми для всех животных. В хозяйстве принята стойлово-пастбищная система содержания коров. В стойловый период животные находятся на привязи. В летний период все поголовье коров содержится на пастбище в лагерях, оборудованных кормушками и поилками, навесами, загонами для скота, а также передвижными доильными установками. Доение двукратное, производится в линейный молокопровод АДМН-200 (ОАО «Кургансельмаш», Россия) с использованием аппаратов попарного доения Inter Puls (InterPuls, Италия); летом — с помощью универсальной доильной станции (УДС) (ОАО «Кургансельмаш», Россия).

<sup>1</sup> Красноярскстат.

<https://24.rosstat.gov.ru/folder/44270>

<sup>2</sup> ГОСТ Р 52054–2023 Молоко коровье сырое. Технические условия.

<sup>3</sup> Решение Коллегии ЕЭК от 22.08.2023 № 125 «О внесении изменений в Методику оценки племенной ценности крупного рогатого скота молочного направления продуктивности».

<https://www.alt.ru/tamdoc/23kr0125/>

Тип кормления — силосно-концентратно-сенный. Все эксперименты на животных были выполнены с соблюдением этических норм, соответствующих Директиве Европейского союза № 2010/63/ЕС<sup>4</sup> и принципам гуманного обращения с животными, изложенным в статье 4 Федерального закона РФ № 498-ФЗ<sup>5</sup>.

Отбор проб молока производился от каждой опытной коровы во время проведения утреннего доения<sup>6</sup>, затем пробы отправлялись в лабораторию селекционного контроля качества молока АО «Красноярскагроплем» (Россия).

Химический состав молока и количество соматических клеток определялись на анализаторе молока<sup>7</sup> марки Bentley (США).

Биометрическую обработку данных проводили с использованием программы «Биометрический анализ количественных признаков в зоотехнии»<sup>8</sup>.

Долю влияния фактора «сезон года» на качественные показатели молока коров устанавливали методом однофакторного дисперсионного анализа.

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Пищевая ценность молока определяется его химическим составом, то есть содержанием жиров, белков, углеводов и других веществ, от соотношения которых, в свою очередь, зависит качество молочной продукции.

Химический состав и свойства молока зависят от индивидуальных особенностей животных, их

возраста, породы, сезона года, условий содержания и кормления [18–22].

Наибольшим изменениям подвержено содержание жира, затем белка, и, в меньшей степени, лактозы и минеральных веществ. Некоторыми авторами [23–25] установлено влияние сезона года на содержание отдельных компонентов молока (жир, белок, лактоза, сухие вещества, СОМО и др.).

На сезонные колебания состава молока влияют, прежде всего, особенности кормления и климатические условия. Известно, что в зимний сезон года содержание жира и белка в молоке повышается из-за введения в рацион более питательных кормов, а летом, напротив, снижается по причине меньшей калорийности и питательности пастбищных кормов. Кроме того, в летний период в жаркую погоду животные потребляют больше воды, чем зимой, вследствие чего уменьшается количество жира и белка в молоке. Н.Ф. Щегольков с соавт. [26] при изучении химического состава молока коров красно-пестрой и симментальской пород в зимний и летний периоды установили, что молоко коров обеих пород, полученное зимой, характеризовалось более высоким содержанием жира, белка и СОМО по сравнению с молоком, полученным летом.

В результате исследований выявлено, что коровы в возрасте как второй, так и третьей лактации в весенний период характеризовались наибольшими показателями среднесуточного удоя, содержания лактозы и СОМО по сравнению с другими сезонами (табл. 1).

Таблица 1. Среднесуточный удой и химический состав молока коров второй и третьей лактации  
Table 1. Average daily milk yield and chemical composition of milk from cows in the second and third lactation

Показатель	Сезон лактирования			
	зима (З)	весна (В)	лето (Л)	осень (О)
<i>вторая лактация</i>				
Среднесуточный удой, кг	21,73 ± 1,51	24,07 ± 1,55	20,13 ± 1,67	17,20 ± 2,35
Массовая доля жира, %	4,79 ± 0,08	4,13 ± 0,04*** <sup>(3)</sup>	3,95 ± 0,08*** <sup>(3)</sup>	4,04 ± 0,04*** <sup>(3)</sup>
Массовая доля белка, %	3,58 ± 0,01	3,51 ± 0,01*** <sup>(3)</sup>	3,39 ± 0,08 <sup>(3, 4);**<sup>(B)</sup></sup>	3,59 ± 0,04
Массовая доля лактозы, %	5,27 ± 0,01*** <sup>(B)</sup>	5,51 ± 0,01	5,15 ± 0,05 <sup>(3);**<sup>(B)</sup></sup>	4,98 ± 0,11 <sup>(3);**<sup>(B)</sup></sup>
Массовая доля сухих веществ, %	14,00 ± 0,07	13,53 ± 0,04*** <sup>(3)</sup>	11,92 ± 0,18*** <sup>(3; B);*<sup>(O)</sup></sup>	12,62 ± 0,27*** <sup>(3)</sup>
Массовая доля СОМО, %	9,25 ± 0,02*** <sup>(B)</sup>	9,41 ± 0,02	8,89 ± 0,09 <sup>(3);***<sup>(B)</sup></sup>	8,95 ± 0,17
<i>третья лактация</i>				
Показатель/сезон	зима (З)	весна (В)	лето (Л)	осень (О)
Среднесуточный удой, кг	19,40 ± 1,99 <sup>(B; Л)</sup>	26,80 ± 2,15	25,33 ± 1,51	16,93 ± 1,98 <sup>(B; Л)</sup>
Массовая доля жира, %	4,73 ± 0,07	4,09 ± 0,04*** <sup>(3)</sup>	3,92 ± 0,05*** <sup>(3);*<sup>(B)</sup></sup>	4,03 ± 0,04*** <sup>(3)</sup>
Массовая доля белка, %	3,55 ± 0,03	3,51 ± 0,02	3,37 ± 0,08 <sup>(3; Л)</sup>	3,57 ± 0,05
Массовая доля лактозы, %	5,28 ± 0,01*** <sup>(B)</sup>	5,50 ± 0,01	5,22 ± 0,04*** <sup>(B)</sup>	5,01 ± 0,11*** <sup>(3; B)</sup>
Массовая доля сухих веществ, %	13,92 ± 0,09	13,50 ± 0,04*** <sup>(3)</sup>	11,84 ± 0,18*** <sup>(3; B);*<sup>(4)</sup></sup>	12,69 ± 0,26*** <sup>(3);**<sup>(B)</sup></sup>
Массовая доля СОМО, %	9,24 ± 0,03*** <sup>(B)</sup>	9,42 ± 0,03	8,94 ± 0,09 <sup>(3);***<sup>(B)</sup></sup>	9,00 ± 0,17 <sup>(B)</sup>

Примечание: разница между сезонами лактирования (З, В, Л, О) у коров одного возраста достоверна: <sup>\*</sup>(З, В, Л, О) p ≤ 0,05; <sup>\*\*</sup>(З, В, Л, О) p ≤ 0,01; <sup>\*\*\*</sup>(З, В, Л, О) p ≤ 0,001.

<sup>4</sup> Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. [https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive\\_201063\\_rus.pdf](https://ruslasa.ru/wp-content/uploads/2017/06/Directive_201063_rus.pdf)

<sup>5</sup> Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

<sup>6</sup> ГОСТ 13928-84 «Молоко и сливки заготавливаемые. Правила приемки, методы отбора проб и подготовка их к анализу».

<sup>7</sup> ГОСТ 32255-2013 Молоко и молочная продукция. Инструментальный экспресс-метод определения физико-химических показателей идентификации с применением инфракрасного анализатора.

<sup>8</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619580 Российская Федерация. Биометрический анализ количественных признаков в зоотехнии: № 2021618613: заявл. 04.06.2021; опубл. 15.06.2021 / Л. В. Ефимова; правообладатель Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук».

У коров в возрасте второй лактации превосходство по суточному удою в весенний период по сравнению с другими сезонами составило 2,4–6,9 кг, однако разница не была статистически значимой; по содержанию лактозы в молоке достоверная разница обнаружена с другими сезонами (0,24–0,53 п.п.,  $p \leq 0,01$ ;  $p \leq 0,001$ ), по содержанию СОМО — с зимним и летним сезонами (0,16–0,52 п.п.,  $p \leq 0,001$ ).

Наибольшая массовая доля жира и сухих веществ в молоке выявлена в зимний период: достоверная ( $p \leq 0,001$ ) разница со всеми сезонами по массовой доле жира составила соответственно 0,66–0,84 и 0,47–2,08 п.п. ко всем остальным сезонам.

У коров третьей лактации среднесуточный удой в весенний сезон был достоверно больше, чем зимой и осенью, на 7,4 и 9,9 кг соответственно ( $p \leq 0,05$  и  $p \leq 0,01$ ); в этот же период наибольшими были массовые доли лактозы (+0,22–0,49 п.п. к другим сезонам;  $p \leq 0,001$ ) и СОМО (+0,18–0,48 п.п.;  $p \leq 0,05$ ;  $p \leq 0,001$ ).

Самые высокие показатели жирномолочности и содержания сухих веществ установлены в зимний сезон: превосходство над всеми сезонами по массовой доле жира составило 0,64–0,81 п.п. ( $p \leq 0,01$ ;  $p \leq 0,001$ ), по массовой доле сухих веществ — 0,42–2,08 п.п. ( $p \leq 0,001$ ).

Подобные результаты получены Ф.М. Раджабовым с соавторами [27], которые, изучив состав молока коров таджикской черно-пестрой породы, обнаружили, что наилучшим по химическому составу было молоко зимнего периода: оно содержало больше жира, белка и сухого вещества, по сравнению с летним.

У коров обоих возрастов высокие показатели белкомолочности отмечались в осенне-зимний период: +0,07–0,2 п.п. ( $p \leq 0,05$ ;  $p \leq 0,001$ ) к весне и лету у животных второй лактации, +0,06–0,2 п.п. ( $p \leq 0,05$ ) к лету у животных третьей лактации. Наши результаты согласуются с результатами, полученными О.В. Латышевой [28] и Д.А. Ивановой [29].

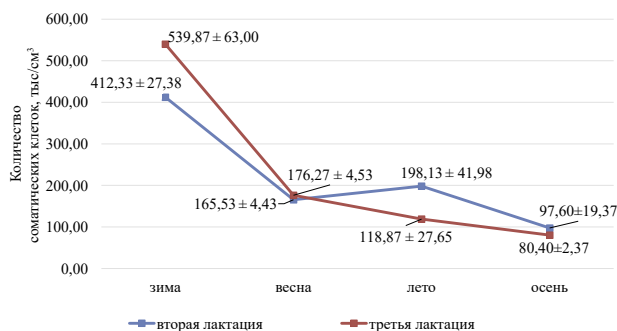
Основной причиной повышения содержания белка в молоке коров осенью и зимой является переход на более питательные корма.

Следует отметить, что молоко, полученное от коров в разные сезоны, по химическому составу соответствовало требованиям ГОСТ Р 52054-2023<sup>9</sup> и относилось к высшему сорту.

Еще одним показателем качества молока, на который оказывает влияние сезон года, является количество соматических клеток. В.Ф. Позднякова и Т.Ю. Гусева [12] установили, что максимальная концентрация соматических клеток в молоке была в летний и зимний периоды. Sahin *et al.* [7], напротив, сообщает о повышенном содержании соматических клеток в молоке в осенний сезон.

**Рис. 1.** Количество соматических клеток в молоке коров второй и третьей лактации

**Fig. 1.** Somatic cells count in milk of cows in the second and third lactation



В описываемых исследованиях у коров обоих возрастов наибольшее количество соматических клеток обнаружено в молоке зимой, а наименьшее — осенью (рис. 1).

По данному показателю разница между зимой и другими сезонами была достоверна ( $p \leq 0,001$ ) и составила у коров в возрасте второй лактации 214,2–314,7 тыс/см<sup>3</sup>, у коров в возрасте третьей лактации 363,6–459,5 тыс/см<sup>3</sup>.

По количеству соматических клеток молоко коров, полученное в зимний сезон, относилось ко второму сорту, а молоко коров весеннего, летнего и осеннего сезонов — к высшему сорту в соответствии с ГОСТ Р52054–2023.

При индивидуальном анализе содержания соматических клеток в молоке коров каждой группы было обнаружено, что у 5 коров (33,3%) в возрасте второй лактации и 8 коров (53,3%) в возрасте третьей лактации в зимний сезон содержалось более 500 тыс/см<sup>3</sup> соматических клеток в молоке, а также у 1 коровы (6,7%) в возрасте второй лактации в летний период.

Расчет коэффициентов корреляции позволяет прогнозировать изменения в развитии одних признаков при селекции по другим и определять целесообразность селекции по нескольким признакам одновременно.

По данным некоторых авторов, существует взаимосвязь между содержанием соматических клеток и отдельными компонентами молока, таких как жир, белок, лактоза [30, 31], сухие вещества и СОМО [32].

Коэффициент корреляции между количеством соматических клеток в молоке и массовой долей жира ( $r = 0,747$ ;  $p \leq 0,001$ ) в осенний период у коров в возрасте второй лактации и отрицательные связи между соматическими клетками и среднесуточным удоем ( $r = -0,580$ ;  $p \leq 0,05$ ), содержанием жира ( $r = -0,645$ ;  $p \leq 0,01$ ), белка ( $r = -0,894$ ;  $p \leq 0,001$ ), сухих веществ ( $r = -0,774$ ;  $p \leq 0,001$ ) и СОМО ( $r = -0,888$ ;  $p \leq 0,001$ ) в зимний период у коров в возрасте третьей лактации (табл. 2).

<sup>9</sup> ГОСТ Р 52054-2023 Молоко коровье сырое. Технические условия.

**Таблица 2. Коэффициенты корреляции между содержанием соматических клеток, среднесуточным удоем и компонентами молока**

**Table 2. Correlation coefficients between somatic cell count, average daily milk yield and milk components**

Показатели	Сезон лактирования			
	зима	весна	лето	осень
<b>вторая лактация</b>				
Среднесуточный удой, кг	0,112	0,389	-0,416	-0,058
Массовая доля жира, %	0,450	0,071	-0,344	0,747***
Массовая доля белка, %	-0,067	-0,038	0,426	0,019
Массовая доля лактозы, %	0,047	0,010	-0,035	0,011
Массовая доля сухих веществ, %	0,493	0,023	0,460	0,222
Массовая доля СОМО, %	-0,043	-0,044	0,338	0,015
<b>третья лактация</b>				
Показатель/сезон	зима	весна	лето	осень
Среднесуточный удой, кг	-0,580*	0,030	0,018	-0,068
Массовая доля жира, %	-0,645**	-0,038	0,098	0,224
Массовая доля белка, %	-0,894***	0,222	0,182	0,352
Массовая доля лактозы, %	-0,211	-0,191	-0,297	0,143
Массовая доля сухих веществ, %	-0,774***	-0,009	-0,236	0,207
Массовая доля СОМО, %	-0,888***	0,024	0,032	0,145

Примечание: \* $p \leq 0,05$ ; \*\* $p \leq 0,01$ ; \*\*\* $p \leq 0,001$

Полученные результаты согласуются с результатами других авторов. М.А. Часовщикова [30] сообщает о снижении удоя и содержания лактозы в молоке с увеличением в нем соматических клеток, а О.А. Кажико и др. [31] говорят также о снижении белка в молоке.

С помощью дисперсионного анализа подтверждено влияние сезона года на изучаемые показатели (рис. 2).

У коров в возрасте второй и третьей лактации была установлена наибольшая достоверная ( $p \leq 0,001$ ) сила влияния сезона года на содержание в молоке жира (69,6 и 75,0% соответственно), лактозы (42,8 и 39,3%) и сухих веществ (63,9 и 63,7%).

Сила влияния сезона лактирования на количество соматических клеток в молоке коров второй лактации составила 59,3%, коров третьей лактации — 68,2% ( $p \leq 0,001$ ).

### Выводы/Conclusions

Установлена четкая сезонная динамика качества молока коров голштинской породы в условиях Красноярского края. Максимальное содержание жира, белка и сухих веществ в молоке отмечена в зимний период, что обусловлено особенностями кормления.

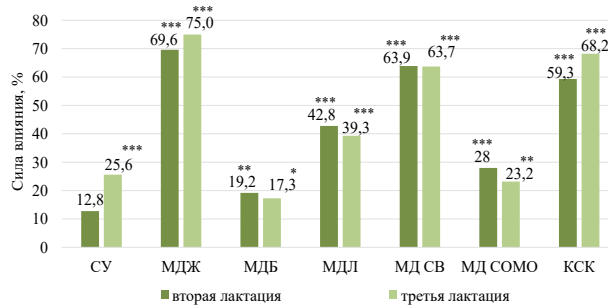
Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России, номер государственного учёта НИОКТР: 122031400484-7. Авторы благодарят специалистов АО «Арефьевское» (Россия) в содействии проведению научных исследований.

**Рис. 2. Сила влияния сезона года на среднесуточный удой и качество молока коров второй и третьей лактации**  
 СУ — среднесуточный удой, МДЖ — массовая доля жира, МДБ — массовая доля белка, МДЛ — массовая доля лактозы, МД СВ — массовая доля сухих веществ, МД СОМО — массовая доля сухого обезжиренного молочного остатка, КСК — количество соматических клеток.

**Fig. 2. Influence of the season on the average daily milk yield and milk quality of cows in the second and third lactation**  
 СУ — average daily milk yield, МДЖ — mass fraction of fat, МДБ — mass fraction of protein, МДЛ — mass fraction of lactose, МД СВ — mass fraction of total solids, МД СОМО — mass fraction of solids-not-fat, КСК — somatic cell count.



В результате исследований выявлено, что наибольшее количество соматических клеток отмечалось у коров второй и третьей лактации в зимний сезон (412,3–531,9 тыс/см<sup>3</sup>). Обнаружена положительная корреляционная связь между количеством соматических клеток в молоке и массовой долей жира (0,747) в осенний период у коров в возрасте второй лактации и отрицательные связи между соматическими клетками и среднесуточным удоем, содержанием жира (-0,645), белка (-0,894), сухих веществ (-0,774) и СОМО (-0,888) в зимний период у коров в возрасте третьей лактации.

Методом дисперсионного анализа количественно подтверждена высокая степень влияния сезона года на формирование качества молока. Сила влияния на содержание жира (до 75,0%), сухих веществ (до 63,9%) и количество соматических клеток (до 68,2%) является определяющей.

Согласно ГОСТ Р 52054-2023 по количеству соматических клеток молоко коров, полученное во все четыре сезона, относилось в зимний сезон ко второму сорту, во все остальные сезоны — высшему сорту.

В зимний период необходимо усилить контроль за состоянием здоровья вымени, параметрами микроклимата и сбалансированностью рационов и обеспечения производства молока стабильно высокого качества вне зависимости от сезона.

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

### FUNDING

The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of Russia, state registration number for research, development and technological work: 122031400484-7. The authors would like to thank the specialists of JSC Arefyevskoye (Russia) for their assistance in conducting scientific research.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kuramshina N. *et al.* Heavy metals content in meat and milk of Orenburg region of Russia. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(1): 1031–1035. EDN ZSXHDF
2. Smolnikova F. *et al.* Nutritive Value Of Curd Product Enriched With Wheat Germ. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(3): 1003–1008. EDN XNNCPZ
3. Sidra-Tul - M. *et al.* Safety assessment of milk and indigenous milk products from different areas of Faisalabad. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2020; 9(6): 1197–1203. <https://doi.org/10.15414/JMBFS.2020.9.6.1197-1203>
4. Горелик А.С., Ребезов М.Б., Горелик О.В. Технологические свойства молока коров с разной долей кровности по голштинской породе. *Аграрная наука*. 2023; 370(5): 63–67. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-63-67>
5. Сермягин А.А. и др. Морфологический состав соматических клеток в молоке коров как критерий оценки здоровья молочной железы в связи с продуктивностью и компонентами. *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(6): 1183–1198. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1183rus>
6. Самусенко Л.Д., Мамаев А.В. Содержание соматических клеток в молоке коров как фактор рентабельности производства. *Вестник техносферной безопасности и сельского развития*. 2023; (4): 13–16. EDN OJFXMU
7. Sahin O. Analysis of The Effect of Region, Province and Breed on Somatic Cell Count in Dairy Cattle in Turkey By Regression Tree Method. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2023; 35(6): 588–597. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i6.3100>
8. Зиннатов Ф.Ф. Воздействие сезона года и периода лактации на динамику содержания соматических клеток в молоке коров голштинской породы. *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2021; 7(4): 353–358. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-4-353-358>
9. Довыденкова М.В. Изучение резистентности коров при заболевании маститом в зависимости от возраста лактации. *Аграрная наука*. 2021; (11–12): 27–31. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-27-31>
10. Курак А. Соматические клетки в молоке — показатель здоровья. *Животноводство России*. 2019; (4): 51–53. <https://doi.org/10.25701/ZZR.2019.75.82.003>
11. Илькин Н. Мастит коров: проблема, которой можно управлять. *Эффективное животноводство*. 2022; (3): 84–89. EDN GKZCZW
12. Позднякова В.Ф., Гусева Т.Ю. Химический состав молока коров голштинской породы в зависимости от сезона года. *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2024; (4): 48–52. EDN ZLJFMS
13. Stocco G. *et al.* Herd and animal factors affect the variability of total and differential somatic cell count in bovine milk. *Journal of Animal Science*. 2023; 101: skac406. <https://doi.org/10.1093/jas/skac406>
14. de Lima E.R., de Oliveira J.P.F., Bezerra M.d.F., Borba L.H.F., Bezerra J.d.S., Rangel A.H.d.N. Influence seasons of the year and somatic cell counts on physical-chemical and sensory parameters of milk and coalho cheese. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 2019; 41(1): e44666. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.44666>
15. Кретов А.А., Максименко С.Н. Морфологический состав соматических клеток в молоке коров. *Промышленность и сельское хозяйство*. 2022; (4): 16–22. EDN QDMQWV
16. Корельская Л.А., Сафаралиева С.Ф.К., Фоменко П.А., Богатырева Е.В. Влияние сезона года на содержание соматических клеток в молоке коров черно-пестрой породы при различных технологиях доения. *Молочнохозяйственный вестник*. 2016; (2): 36–44. EDN WEIMXZ
17. Ivanov G.Y., Bilgucu E., Balabanova T.B., Ivanova I.V., Uzatici A. Effect of animal breed, season and milk production scale on somatic cell count and composition of cow milk. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2017; 23(6): 1047–1052.
18. Крупин Е.О. и др. Качественные показатели молока и кисломолочных продуктов при включении в состав рациона коров активированного цеолита и пробиотиков. *Аграрная наука*. 2024; (10): 72–79. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-72-79>
19. Rebezov M.B., Gorelik A.S., Pavlova Y.S., Khorobrykh E.V., Sharavyev P.V. Interaction of economically useful traits in cows of different breeds. *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences — Web of Conferences. 2021; 282: 03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128203010>

## REFERENCES

1. Kuramshina N. *et al.* Heavy metals content in meat and milk of Orenburg region of Russia. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(1): 1031–1035. EDN ZSXHDF
2. Smolnikova F. *et al.* Nutritive Value Of Curd Product Enriched With Wheat Germ. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018; 9(3): 1003–1008. EDN XNNCPZ
3. Sidra-Tul - M. *et al.* Safety assessment of milk and indigenous milk products from different areas of Faisalabad. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2020; 9(6): 1197–1203. <https://doi.org/10.15414/JMBFS.2020.9.6.1197-1203>
4. Gorelik A.S., Rebezov M.B., Gorelik O.V. Technological properties of milk of cows with different proportion of blood in the Holstein breed. *Agrarian science*. 2023; 370(5): 63–67. (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-63-67>
5. Sermyagin A.A. *et al.* Differential somatic cell count in milk as criteria for assessing cows' udder health in relation with milk production and components. *Agricultural Biology*. 2021; 56(6): 1183–1198. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.6.1183eng>
6. Samusenko L.D., Mamaev A.V. THE Content of somatic cells in cow's milk as a factor of profitability of production. *Vestnik tekhnosfernoy bezopasnosti i sel'skogo razvitiya*. 2023; (4): 13–16 (in Russian). EDN OJFXMU
7. Sahin O. Analysis of The Effect of Region, Province and Breed on Somatic Cell Count in Dairy Cattle in Turkey By Regression Tree Method. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2023; 35(6): 588–597. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i6.3100>
8. Zinnatov F.F. Influence of the season of the year and the lactation period on the dynamics of the content of somatic cells in the milk of Holstein cows. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2021; 7(4): 353–358 (in Russian). <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-4-353-358>
9. Dovydenkova M.V. Study of the resistance of cows with mastitis depending on the age of lactation. *Agrarian science*. 2021; (11–12): 27–31 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-27-31>
10. Kurak A. Somatic cells in milk — a health indicator. *Animal Husbandry of Russia*. 2019; (4): 51–53 (in Russian). <https://doi.org/10.25701/ZZR.2019.75.82.003>
11. Il'kin N. Mastitis in cows: a problem that can be managed. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2022; (3): 84–89 (in Russian). EDN GKZCZW
12. Pozdnyakova V.F., Guseva T.Yu. Milk productivity and technological properties of milk from Holstein cows. *Agrarian Bulletin of the non-Chernozem region*. 2024; (4): 48–52 (in Russian). EDN ZLJFMS
13. Stocco G. *et al.* Herd and animal factors affect the variability of total and differential somatic cell count in bovine milk. *Journal of Animal Science*. 2023; 101: skac406. <https://doi.org/10.1093/jas/skac406>
14. de Lima E.R., de Oliveira J.P.F., Bezerra M.d.F., Borba L.H.F., Bezerra J.d.S., Rangel A.H.d.N. Influence seasons of the year and somatic cell counts on physical-chemical and sensory parameters of milk and coalho cheese. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 2019; 41(1): e44666. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.44666>
15. Kretov A.A., Maksimenko S.N. Morphological composition of somatic cells in cow's milk. *Promyshlennost' i sel'skoye khozyaystvo*. 2022; (4): 16–22 (in Russian). EDN QDMQWV
16. Korel'skaya L.A., Safaraliyeva S.F.K., Fomenko P.A., Bogatyreva E.V. Influence of the season on the maintenance of somatic cells in the milk of black-and-white cows under various milking technologies. *Molochnokhozyaistvenny Vestnik*. 2016; (2): 36–44 (in Russian). EDN WEIMXZ
17. Ivanov G.Y., Bilgucu E., Balabanova T.B., Ivanova I.V., Uzatici A. Effect of animal breed, season and milk production scale on somatic cell count and composition of cow milk. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2017; 23(6): 1047–1052.
18. Krupin E.O. *et al.* Qualitative indicators of milk and fermented milk products when activated zeolite and probiotics are included in the diet of cows. *Agrarian science*. 2024; (10): 72–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-72-79>
19. Rebezov M.B., Gorelik A.S., Pavlova Y.S., Khorobrykh E.V., Sharavyev P.V. Interaction of economically useful traits in cows of different breeds. *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences — Web of Conferences. 2021; 282: 03010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128203010>

20. Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Молочная продуктивность коров-дочерей голштинских быков-производителей. *Аграрная наука*. 2025; 396(07): 85–91. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-85-91>

21. Горелик А.С. и др. Изменение показателей молочной продуктивности по лактации. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 32–38. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-32-38>

22. Шальнев О.В., Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Иргашев Т.А. Сопряженность возраста первого осеменения телок с продуктивностью коров в зависимости от возраста в лактации. *Аграрная наука*. 2025; 401(12): 76–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-76-84>

23. Руденко Е.В., Русько Н.П., Шаповалов С.О., Россо Л.М. Контроль соматических клеток молока племенных коров. *Научно-технический бюллетень Института тваринництва НААН*. 2011; 104: 187–198. EDN SKXLPN

24. Мартынова Е.Н., Ачкасова Е.В., Дултаева И.Ф. Влияние сезона года на молочную продуктивность, химический состав и технологические свойства молока коров черно-пестрой породы. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2014; 219: 215–219. EDN SVRRID

25. Горелик А.С., Ребезов М.Б., Горелик О.В. Изучение влияния молочного сырья по сезонам года на технологические параметры при производстве мягкого сыра. *Аграрная наука*. 2023; 374(9): 59–63. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-59-63>

26. Щегольков Н.Ф., Захаров В.Л., Школьников М.Н., Аджибеков В.К. Качество творога крупного рогатого скота разных пород в зависимости от сезона года. *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2022; (4): 30–40. EDN ABSEUK

27. Раджабов Ф.М., Соатов С.С., Бахтияри С., Азизов П.М. Влияние сезона года на состав и свойства молока коров таджикской черно-пестрой породы. *Известия Дагестанского ГАУ*. 2023; (1): 133–138. [https://doi.org/10.52671/26867591\\_2023\\_1\\_133](https://doi.org/10.52671/26867591_2023_1_133)

28. Латышева О.В. Влияние сезона года и уровня молочной продуктивности на химический состав молока коров голштинской породы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016; (6-5): 177–180. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.48.160>

29. Иванова Д.А. Сезонные изменения массовой доли белка и мочевины в коровьем молоке. *Вестник Чувашского государственного аграрного университета*. 2024; (4): 84–88. <https://doi.org/10.48612/vch/9fb3-ha42-u4z9>

30. Часовщикова М.А. Состав и свойства молока коров при разном уровне соматических клеток. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.П. Филиппова*. 2023; (2): 81–88. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2023.71.2.011>

31. Кажико О.А., Барановский М.В., Курак А.С. Химический состав и технологические свойства молока коров при различном уровне соматических клеток. *Зоотехническая наука Беларуси*. 2014; 49(2): 266–278. EDN VCESAT

32. da Silva J.E. et al. Effect of somatic cell count on milk yield and milk components in Holstein cows in a semi-arid climate in Brazil. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 2018; 19(4): 391–402. <https://doi.org/10.1590/s1519-99402018000400004>

#### ОБ АВТОРАХ

##### Любовь Валентиновна Ефимова

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
ljubow\_wal@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3234-9747>

##### Татьяна Вячеславовна Зазнобина

научный сотрудник отдела животноводства  
tv-kulakova@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6951-2475>

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», пр. Свободный, 66, Красноярск, 660041, Россия

20. Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Dairy productivity of cowdaughters of Holstein bulls-producers. *Agrarian science*. 2025; 396(07): 85–91 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-85-91>

21. Gorelik A.S. et al. Changes in milk productivity indicators by lactation. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 32–38 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-32-38>

22. Shalnev O.V., Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Irgashev T.A. The correlation of the age of the first insemination of heifers with the productivity of cows depending on the age in lactation. *Agrarian science*. 2025; 401(12): 76–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-401-12-76-84>

23. Rudenko Ye., Rusko N., Shapovalov S., Rosso L. Somatic cell contamination control in breeding cow milk. *Naukovo-tekhnichnyi byuletен' Institutu tvarinnitstva NAAN*. 2011; 104: 187–198 (in Ukrainian). EDN SKXLPN

24. Martynova E.N., Achkasova E.V., Dultayeva I.F. Season influence on milk productivity, chemical composition and technological milk properties of Black-Motley breed cows. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2014; 219: 215–219 (in Russian). EDN SVRRID

25. Gorelik A.S., Rebezov M.B., Gorelik O.V. Study of the influence of dairy raw materials by seasons of the year on technological parameters in the production of soft cheese. *Agrarian science*. 2023; 374(9): 59–63 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-59-63>

26. Shchegolkov N., Zakharov V., Shkolnikova M., Adzhibekov V. The quality of cottage cheese of cattle of different breeds depending on the season of the year. *Agro-industrial technologies of Central Russia*. 2022; (4): 30–40 (in Russian). EDN ABSEUK

27. Rajabov F.M., Soatov S.S., Bahtiyori S., Azizov P.M. Influence of the seasons of the year on the composition and properties of the milk of the Tajik Black-and-White breed cows. *Dagestan GAU Proceedings*. 2023; (1): 133–138 (in Russian). [https://doi.org/10.52671/26867591\\_2023\\_1\\_133](https://doi.org/10.52671/26867591_2023_1_133)

28. Latysheva O.V. Influence of season and milk productivity on the chemical composition of milk of Holstein breed cows. *International Research Journal*. 2016; (6-5): 177–180 (in Russian). <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.48.160>

29. Ivanova D.A. Seasonal changes in the mass fraction of protein and urea in cow's milk. *Vestnik Chuvash SAU*. 2024; (4): 84–88 (in Russian). <https://doi.org/10.48612/vch/9fb3-ha42-u4z9>

30. Chasovshchikova M.A. Composition and properties of cow milk at different level of somatic cells. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2023; (2): 81–88 (in Russian). <https://doi.org/10.34655/bgsha.2023.71.2.011>

31. Kazheko O.A., Baranovsky M.V., Kurak A.S. Chemical composition and technological properties of cow milk at different levels of somatic cells content. *Zootechnical Science of Belarus*. 2014; 49(2): 266–278 (in Russian). EDN VCESAT

32. da Silva J.E. et al. Effect of somatic cell count on milk yield and milk components in Holstein cows in a semi-arid climate in Brazil. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 2018; 19(4): 391–402. <https://doi.org/10.1590/s1519-99402018000400004>

#### ABOUT THE AUTHORS

##### Lyubov Valentinovna Efimova

Candidate of agricultural sciences, Associate professor  
ljubow\_wal@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3234-9747>

##### Tatyana Vyacheslavovna Zaznobina

Researcher the department of animal husbandry  
tv-kulakova@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6951-2475>

Krasnoyarsk Agricultural Research Institute — Separate Division Federal State-Funded Science Institution “Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”,

66 Svobodny prospect, Krasnoyarsk, 660041, Russia

УДК 636.2.082.454.5:612.017.1

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-65-74

А.И. Абилов ✉

Н.А. Комбарова

В.В. Турбина

Федеральный исследовательский  
центр животноводства— ВИЖ  
им. академика Л.К. Эрнста,  
Подольск, Московская область,  
Россия

✉ [ahmed.abilov@mail.ru](mailto:ahmed.abilov@mail.ru)

Поступила в редакцию: 10.10.2025

Одобрена после рецензирования: 15.02.2026

Принята к публикации: 28.02.2026

© Абилов А.И., Комбарова Н.А.,  
Турбина В.В.

## Повышение результативности искусственного осеменения у высокопродуктивных коров с иммунологическим бесплодием

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** В настоящее время в молочном скотоводстве все чаще диагностируют случаи бесплодия у высокопродуктивных коров. Ускоренная селекция требует комплексного анализа воспроизводства с целью повышения его эффективности.

**Методы.** Исследования проведены и результаты апробированы в хозяйствах Московской и Орловской областей. В исследованиях участвовали 52 быка-производителя и 246 коров, у 72 из которых был предварительно установлен диагноз «иммунное бесплодие».

**Результаты.** Разработан новый диагностический протокол, позволивший повысить результативность искусственного осеменения у высокопродуктивных генетически ценных коров, имевших в анамнезе более 6 безрезультатных попыток осеменения в течение 8 и более месяцев. Основу протокола составляет индивидуальный подбор быков-производителей методом титрования их нативной спермы в аллосыворотке крови каждой проблемной коровы. Для индивидуального подбора использовали быков, прошедших полную андрологическую диспансеризацию и не имевших титров спермальных аутоантител в собственной сыворотке крови. В разработку метода входила подготовка и проведение искусственного осеменения, определение стельности методом ультразвукового исследования.

**Выводы.** Представлено решение проблемы иммунологического бесплодия у многократно безуспешно осеменяемых коров при отсутствии клинических гинекологических патологий. Апробация данного протокола позволила получить стельность в 44,4% случаев у яловых коров с предварительным диагнозом иммунное бесплодие.

**Ключевые слова:** иммунологическое бесплодие, аутоантитела, аллоантитела, яловость, индивидуальный подбор быков-производителей, результативность осеменения

**Для цитирования:** Абилов А.И., Комбарова Н.А., Турбина В.В. Повышение результативности искусственного осеменения у высокопродуктивных коров с иммунологическим бесплодием. *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 65–74.  
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-65-74>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-65-74

Akhmedaga I. Abilov ✉

Nina A. Kombarova

Victoria V. Turbina

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

✉ [ahmed.abilov@mail.ru](mailto:ahmed.abilov@mail.ru)

Received by the editorial office: 10.10.2025

Accepted in revised: 15.02.2026

Accepted for publication: 28.02.2026

© Abilov A.I., Kombarova N.A., Turbina V.V.

## Improving the efficiency of artificial insemination in high-yielding cows with immunological infertility

### ABSTRACT

**Relevance.** Currently, in dairy farming, cases of infertility in highly productive cows are being diagnosed with increasing frequency. Accelerated selection requires a comprehensive analysis of reproduction in order to improve its efficiency.

**Methods.** The research was conducted and the results were tested on farms in the Moscow and Oryol regions. The studies involved 52 service bulls and 246 cows, 72 of which had been previously diagnosed with “immune infertility.”

**Results.** A new diagnostic protocol was developed, which improved the effectiveness of artificial insemination in highly productive, genetically valuable cows with a history of more than 6 unsuccessful insemination attempts over 8 or more months. The basis of the protocol is the individual selection of service bulls by titrating their native semen in the alloserum of each problem cow. For individual selection, we used bulls that had undergone a complete andrological examination and had no titers of sperm autoantibodies in their own blood serum. The development of the method included the preparation and execution of artificial insemination, and the determination of pregnancy via ultrasound examination.

**Conclusions.** A solution to the problem of immunological infertility in repeatedly unsuccessfully inseminated cows with no clinical gynecological pathologies is presented. Testing of this protocol resulted in pregnancy in 44.4% of cases in barren cows with a preliminary diagnosis of immune infertility.

**Key words:** immunological infertility, autoantibodies, alloantibodies, barrenness, individual selection of sires, insemination success

**For citation:** Abilov A.I., Kombarova N.A., Turbina V.V. Improving the efficiency of artificial insemination in high-yielding cows with immunological infertility. *Agrarian science*. 2026; 404 (03): 65–74 (in Russian).  
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-65-74>

## Введение/Introduction

Уровень воспроизводства в стаде является комплексным показателем, который определяется как плодовитостью маточного поголовья [1], так и оплодотворяющей способностью семени быков-производителей, а также эффективностью организации искусственного осеменения. Динамика воспроизводительных качеств коров в значительной степени зависит от длительности их хозяйственного использования [2–4].

В условиях современной промышленной технологии производства молока отмечается увеличение разрыва между генетическим потенциалом и физиологическими возможностями животных, что ведет к устойчивой тенденции снижения выхода телят на 100 коров [4].

Особую проблему в молочном скотоводстве представляет распространение бесплодия у высокопродуктивных коров, не сопровождающееся клинически выраженными патологиями репродуктивных органов.

Ряд исследователей связывают данное явление с такими факторами, как рост доли инбридинга в стадах [5], использование семени одних и тех же или генетически близких быков-производителей при повторных осеменениях. Каждое последующее безрезультативное осеменение является реиммунизацией и провоцирует у самок усиление иммунного ответа, выступающего триггером бесплодия иммунного характера [6].

Иммунологическое бесплодие сформировалось как самостоятельное научное направление в начале 70-х годов XX века (Братанов К., Соколовская И.И., Шульман С., Трунова и др.). Его патогенез связан с развитием гипериммунного ответа организма, характеризующегося секрецией специфических антиспермальных антител (АСАТ). Данные антитела способны блокировать ключевые репродуктивные процессы, включая оплодотворение и имплантацию эмбриона, АСАТ могут продуцироваться как в мужском, так и в женском организме и обнаруживаться в различных биологических средах: цервикальной и внутриматочной слизи, сыворотке крови, семенной плазме, а также в тканях семявыводящих протоков и других органах репродуктивной системы [7, 8].

В формировании иммунологического бесплодия играют важную роль эндогенные и экзогенные факторы, среди которых необходимо выделить нарушения целостности биологических барьеров между кровеносными сосудами и репродуктивными органами млекопитающих [9–15].

В этом контексте необходимо отметить, что у млекопитающих главный комплекс гистосовместимости (МНС) синтезирует белки на поверхности клеток и тканей, которые являются маркерами индивидуальности и уникальны для каждого организма, участвуют в реализации чужеродных антигенов и иммунного ответа.

Установлено, что совпадение по генам МНС (в частности, по гаплотипам HLA у человека;

аналогам у КРС — BoLA) между партнерами ассоциировано со снижением репродуктивной успешности. Показано, что с антигенами МНС I и II класса ассоциируется предрасположенность ко многим аутоиммунным и иммунопатологическим заболеваниям у крупного рогатого скота [16] и у человека [17].

Патогенетическую основу иммунологического бесплодия составляет нарушение баланса между различными звеньями адаптивного иммунного ответа. Известно, что специфическая защита реализуется по двум основным путям: клеточному и гуморальному. Гуморальное звено опосредовано активацией В-лимфоцитов, которые пролиферируют и дифференцируются в плазматические клетки. Последние секретируют специфические антитела (иммуноглобулины классов IgG, IgA, IgM) [18]. Клеточное звено иммунитета обеспечивается популяцией Т-лимфоцитов (хелперов, цитотоксических и регуляторных), которые обладают высокой антигенной специфичностью и осуществляют прямые цитотоксические эффекты, а также регулируют активность других иммунокомпетентных клеток [19].

Ключевая роль в нарушении толерантности и в реализации повреждающего эффекта может принадлежать как гуморальному компоненту (синтез антиспермальных антител), так и клеточному [8, 20].

По данным А.А. Камалова [21], ключевым патогенетическим звеном иммунологического бесплодия является секреция специфических АСАТ, преимущественно относящихся к классам иммуноглобулинов IgA и IgG. [22]

Антиспермальные антитела впервые были обнаружены в 1954 году у бесплодных мужчин иммунологами Филипом Рюмке (Нидерланды) и Лео Вильсоном (США) [23].

Сперматозоиды обладают выраженными ауто- и изоантигенными свойствами, что делает их потенциальной мишенью для иммунной системы самца и самки. Образовавшиеся в результате антиспермальные антитела могут нарушать фертильность посредством воздействия на различные этапы репродуктивного процесса. Имеются научные данные, которые показывают, что специально выполненная иммунизация самок и самцов разных видов способствовала возникновению иммунологического бесплодия [12, 24, 25].

В целях комплексного управления репродуктивным здоровьем стада и снижения рисков иммунологического бесплодия необходим постоянный системный мониторинг андрологического статуса быков-производителей [26–28]. Важное диагностическое значение в оценке их физиологического состояния имеют гематологические показатели, которые, с учетом возрастных особенностей, являются индикаторами адаптационного напряжения организма [29].

Существенную роль в модуляции аутоиммунных процессов и поддержании репродуктивного

здоровья играет баланс эссенциальных микроэлементов, в частности меди (Cu) и цинка (Zn). [29, 30]

Дефицит меди в организме оказывает негативное влияние на функционирование иммунной системы и способность подавлять проявления аутоиммунных реакций в организме животных. [31, 32].

Особое место в цепочке возникновения аутоиммунного бесплодия у млекопитающих занимает гемато-тестикулярный барьер (ГТБ) [9]. Считается, что он создает особую среду для прохождения мейоза и защищает гаплоидные клетки от иммунной системы [33]. Нарушение целостности ГТБ приводит к нарушению мейоза вплоть до стерильности [34].

Семенники млекопитающих также обладают особой средой, обеспечивают иммунную защиту и эффективный местный врожденный иммунитет [35].

Сперматозоиды при физиологически нормальном состоянии не подвергаются воздействию иммунной системы, однако при нарушении или повреждении ГТБ происходит воздействие антигенов половых клеток на иммунную систему, что и приводит к формированию антиспермальных аутоантител [12], которые влияют на функциональные качества, сперматозоидов [13, 23].

Слизь шейки матки, выполняя функцию физиологического фильтра для сперматозоидов, способствует отбору наиболее фертильных сперматозоидов из эякулята, действуя как иммунологический фильтр, предотвращающий прохождение сперматозоидов, покрытых антиспермальными антителами [8]. В цервикальной слизи были обнаружены антиспермальные антитела изотипов IgG и IgA, вызывающие иммобилизацию сперматозоидов, со снижением частоты оплодотворения коррелируют IgG [36].

Репродуктивный тракт самки является частью общей иммунной системы слизистых оболочек и способен вырабатывать эффективные иммунные реакции против инфекционных агентов, чужеродных антигенов и, в том числе, сперматозоидов [37]. Выявлено взаимное влияние как плодношения на клиническое течение аутоиммунных расстройств, так и аутоиммунности на развитие плодношения [38].

По данным Fair T. [39], стимуляция влагалищного оплодотворения способствует проникновению нейтрофилов в ткани шейки матки и самой матки. Нейтрофильные гранулоцитарные ферменты способствуют процессу удаления неподвижных или поврежденных сперматозоидов из общего пула клеток.

Основную роль в материнском организме по предотвращению аутоиммунности, эмбриональной смертности и аборт, а также обеспечению устойчивости связи «мать-плод» выполняют Т-клетки, которые вырабатываются в костном мозге и далее развиваются в тимусе. Регуляторные Т-клетки, или Treg, играют существенную роль в переносимости аллогенных тканей, связанных с

беременностью, и аутологических яйцеклеток [40].

Исходя из вышеизложенного краткого обзора, становится понятен термин «иммунное бесплодие», его основные причины возникновения и возможные последствия у крупного рогатого скота. Бесплодие иммунного происхождения формируется при повышенном титре спермоантител, как в сыворотке крови, так и в различных участках половых путей самок. Титры спермоантител могут присутствовать в сыворотке крови и цервикальной слизи в пределах физиологической нормы (0–2) и в обратимом диапазоне 1:4 до 1:16. [10], но не должны превышать 1:32 [41]. Условно можно разделить иммунный статус репродуктивной системы коров по степени нарастания титров спермоантител и длительности их пребывания в цервикальной слизи. Первая категория коров, у которых их количество в цервикальной слизи не превышает 30%. Вторая категория самок сохраняет уровень АСАТ после осеменения в течение одного месяца. Последняя категория включает в себя животных, у которых титр спермоантител поддерживается в течение продолжительного периода [42], что способствует в дальнейшем формированию яловости.

В статье приведен обширный обзорный материал с целью дальнейшего развития данного направления в животноводстве.

Для своевременного выявления генетически ценных высокопродуктивных коров с высоким титром спермальных антител и для повышения эффективности искусственного осеменения возникла необходимость разработки нового протокола, позволяющего тестировать не только их иммунный репродуктивный статус, но и производить индивидуальный иммунный подбор быков-производителей к проблемным маткам.

*Цель исследования* — разработать новый протокол для повышения эффективности искусственного осеменения среди высокопродуктивных коров в течение длительного периода и отобранных для выбраковки из стада со вторичным идиопатическим бесплодием на основе реакции иммобилизации сперматозоидов в аллосыворотке крови.

#### **Материалы и методы исследования / Materials and methods**

Работа выполнена в Федеральном исследовательском центре животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста в период 2022–2024 гг.

Андрологическая диспансеризация быков-производителей проведена на базе Головного центра по воспроизводству сельскохозяйственных животных АО «ГЦВ» (Московская область, Россия). Апробация разработанного протокола осуществлена в хозяйствах, в том числе личных подсобных (ЛПХ) Московской и Орловской областей.

В работе использованы: 52 быка-производителя голштинской породы в активном репродуктивном возрасте (3–5 лет), принадлежащих АО «ГЦВ» (Московская область) отобранные по критериям

нормального физиологического, биохимического и гормонального статуса, 246 высокопродуктивных коров, яловых в течение длительного периода, из них 242 голштинской, 2 айрширской и 2 джерсейской породы в возрасте 3 лактации и выше с продуктивностью 8000 кг и выше за лактацию, принадлежащих хозяйствам, в том числе ЛПХ Московской и Орловской областей.

*Критериями включения быков-производителей в исследование служили:* возраст от 3 до 5 лет, клиническое здоровье, соответствие физиологических и биохимических показателей крови референсным значениям для данной возрастной группы, а также отсутствие аутоиммунного ответа к собственным сперматозоидам (титр аутоантител в РИМЖ не выше 2).

*Критериями исключения быков из дальнейшего индивидуального подбора являлись:* наличие хронических системных заболеваний, воспалительных процессов репродуктивного тракта, отклонений в качестве спермопродукции (подвижность, концентрация, морфология), а также выявление титра аутоантител к собственным сперматозоидам в реакции РИМЖ на уровне 4 и выше.

Работа выполнена в соответствии с разработанным пятиэтапным протоколом:

*I этап — андрологический мониторинг* включал оценку иммунного профиля быков с помощью реакции иммобилизации сперматозоидов (РИМЖ)<sup>1</sup> в аутосыворотке крови для выявления аутоиммунного ответа к собственным сперматозоидам. Для постановки реакции использовалась нативная сперма с активностью не менее 8 баллов разбавленная до 300 млн/мл с помощью 1%-го раствора хлорида натрия, инактивированная сыворотка крови исследуемых быков (при температуре +56 °С в течение 2-х часов).

В качестве комплемента использовали сыворотку крови морской свинки, разведенной стерильным физиологическим раствором в соотношении 1:9.

Постановку реакции осуществляли на титровальных пластинах (225 × 120) ± 1 × (14 ± 0,5) мм. с 72 круглодонными лунками. В первую лунку каждого ряда вносили по 0,1 мл NaCl 1% (контроль) со второго по 6 ряд по вертикали, вместо NaCl 1% вносили по 0,1 мл испытуемой инактивированной сыворотки крови быка-производителя, разбавленной в 2, 4, 8, 16 и 32 раза (опыт) соответственно. Затем во все лунки последовательно добавляли по 0,1 мл нативной спермы с активностью не менее 8 баллов, разбавленной до 300 млн/мл с помощью 1% — NaCl, 0,1 мл комплемента сыворотки крови морской свинки в разведении 1:9, затем размещали в термостатируемой водяной бане при температуре + 37 °С, читку реакции проводили через 2 часа. Проявлением аутоиммунности считали иммобилизацию сперматозоидов в

опытных лунках. При проявлении иммобилизации в контроле опыт повторяли.

Быки с титром аутоантител > 4 исключались из числа подбираемых производителей к проблемным коровам.

*II этап — гинекологический мониторинг.* В исследование были включены 246 высокопродуктивных яловых коров с продуктивностью свыше 8000 кг молока за 305 дней лактации, отобранных специалистами хозяйств для выбраковки по воспроизводству, длительность ялового периода по хозяйству 1 (Московская обл.) составила 390 суток (360–440), по хозяйству 2 (Орловская обл.) — 452 суток (411–485) с кратностью осеменений 7,3 и 9,5 соответственно и поставленных на заключительный откорм. Критерием включения являлось наличие в анамнезе множественных (6 и более) безрезультатных осеменений при отсутствии клинически выявляемых репродуктивных патологий. Для верификации этого состояния всем животным провели УЗИ-диагностику органов репродуктивного тракта с ректальным датчиком 7,5 МГц Honda HS-1600V (Япония) совместно со специалистами по воспроизводству АО «ГЦВ».

Коровам с признаками эндометрита (включая субклинические формы) или иными воспалительными/гормональными нарушениями ветеринарными специалистами хозяйств было назначено лечение, и они были исключены из дальнейшего исследования.

Таким образом, была сформирована группа коров (n=72) с идиопатическим (предположительно иммунологическим) бесплодием. Учитывая, что эти коровы находились на откорме после выбраковки по воспроизводству специалистами хозяйства, не было возможности сформировать контрольную группу. Так как были созданы константные условия, в качестве контроля послужили данные по осеменению доопытного периода по этой же группе животных. В качестве контроля были взяты результаты предыдущих осеменений по этой же группе животных.

*III этап — иммунологический мониторинг.* Проводили у коров с использованием модифицированной РИМЖ<sup>1</sup>. Модификация заключалась в использовании инактивированной сыворотки крови исследуемых проблемных коров вместо инактивированной аутосыворотки крови быков-производителей, инкубированной со спермой подобранных быков, для определения циркулирующих аллоантител к спермальным антигенам. Уровень антител оценивали по титру иммобилизации. Для дальнейшего осеменения каждой корове подбирали быков, не имеющих аутоантител против собственных сперматозоидов, также в отношении спермы которых титр аллоантител у данной коровы был минимален (0–2).

<sup>1</sup> Абилов А.И. (ред.). Некоторые аспекты воспроизводства крупного рогатого скота. СПб.: Проспект науки. 2019; 302. ISBN 978-5-906109-91-0

*IV этап — проведение искусственного осеменения.* Охоту у коров выявляли спонтанно, с помощью визуальных наблюдений. При выявлении половой охоты на основе «рефлекса неподвижности» у коров проводили двукратное осеменение ректоцервикальным способом с интервалом 8–10 часов спермой индивидуально подобранного быка-производителя.

*V этап — диагностика стельности.* Стельность устанавливали с помощью УЗИ-диагностики на 35-й день после осеменения и подтверждали методом ректальной пальпации на 60-й день. Полученные данные были обработаны с использованием t-критерий Стьюдента,  $\chi^2$ , критерий Манна–Уитни), уровень значимости ( $p < 0,05$ ), стандартных офисных программ Statistica, SPSS и Microsoft Office (США).

Исследование проводили в соответствии с принципами гуманного обращения с сельскохозяйственными животными в соответствии с Федеральным законом от 27.12.2018 №498-ФЗ «Об ответственном обращении с животными<sup>2</sup>».

Все манипуляции выполнялись квалифицированным персоналом в рамках стандартных ветеринарно-зоотехнических процедур.

Дизайн исследования не предусматривал формирование отдельной контрольной группы из числа яловых коров, поскольку все животные с длительным периодом бесплодия ( $n=72$ ) на момент начала эксперимента были отобраны специалистами хозяйств для выбраковки и поставлены на откорм, что исключало возможность их дальнейшего производственного использования без вмешательства. В связи с этим в качестве контроля для оценки эффективности предложенного протокола использовали ретроспективные данные по результативности предшествующих многократных (6 и более) осеменений этих же коров (исторический контроль).

**Результаты и обсуждение /  
Results and discussion**

На первом этапе была проведена комплексная андрологическая диспансеризация 52 быков-производителей, направленная на оценку их репродуктивного и общего физиологического статуса. Далее был проведен мониторинг состояния иммунного ответа в реакции РИМЖ по наличию /отсутствию в сыворотке крови спермальных аутоантител. Результаты специфического иммунного ответа у быков-производителей против собственных сперматозоидов представлены на схеме проведения анализа 1 и в таблице 1

По результатам реакции иммобилизации сперматозоидов (РИМЖ) в аутологичной сыворотке все 52 исследованных быка-производителя были распределены на три группы в зависимости от выявленного титра аутоантител (Табл. 1).

**Рис. 1.** Пример прочтения реакции РИМЖ

**Fig. 1.** Example of reading the reaction (RIMZh — sperm immobilization reaction)

*Примечание:* К — контроль Титры 2–32, Быки Хайп — (титр 2); Бык Самшит (титр 0); Бык Абель — (титр 8); Бык Халк —(титр 32); К — control Titers 2–32; Bulls Hype — (title 2); Bull Boxwood (title 0); Bull Abel — (title 8); Bull Hulk — (title 32)

	Хайп	Самшит	Абель	Халк
К				
1:2				
1:4				
1:8				
1:16				
1:32				

**Таблица 1.** Иммунобиологический мониторинг быков-производителей АО «ГЦВ» ( $n = 52$ , 2022–2023 г.)

**Table 1.** Immunobiological monitoring of breeding bulls of JSC GCV ( $n = 52$ , 2022–2023)

Титры аутоантител	0–2	4–8	16–32
Голов, n	32	11	9
Всего, %	61,5 ± 4,77	21,1 ± 4,00	17,3 ± 3,71

Полученные данные свидетельствуют о том, что аутоиммунный ответ против собственных спермальных антигенов в опыте составил 38,5% исследованных быков-производителей, 17,3% высоких титров (16–32) указывают на возможно потенциально серьезное влияние на репродуктивные качества спермы. Быки-производители с титрами аутоантител 4–8 и более были исключены из опыта.

В дальнейшем для подбора быков к маточному поголовью использовали только 32 производителя, не имеющих аутоантител к собственным сперматозоидам. Этот выбор был основан на предыдущих исследованиях одним из авторов, где было показано снижение оплодотворяющей способности семени при высоких титрах аутоантител на 10–15% [12, 42].

Примененный критерий был направлен на минимизацию риска использования спермы с потенциально сниженной фертильностью. Формирование пула иммунологически проверенных быков-производителей обеспечил основу для последующего индивидуального подбора, исключая влияние аутоиммунного фактора со стороны

<sup>2</sup> Федеральным законом от 27.12.2018 №498-ФЗ «Об ответственном обращении с животными». <https://docs.cntd.ru/document/552045936>

**Таблица 2. Контрольные показатели искусственного осеменения условно бесплодных коров в доопытный период**

**Table 2. Control indicators of artificial insemination of conditionally infertile cows in the pre-test period**

Регион	Осеменено коров, n	Кратность осеменения, n	Период яловости, мес.	Число стельных, n
Московская область	35	> 6	> 8	0
Орловская область	27	> 6	> 8	0
Личное подсобное хозяйство (МО)*	10	> 6	> 8	0
Всего	72	> 6	> 8	0
По хозяйствам (без ЛПХ)	62	> 6	> 8	0

Примечание: \* — Московская область

производителя и позволяя сфокусироваться на выявлении аллоиммунного ответа у коров (табл. 2).

Эти данные служили контролем. Выделять отдельную контрольную группу не имело смысла, так как эти животные были выделены в группу откорма ввиду многократных безрезультативных осеменений.

На завершающем этапе отобранным коровам с идиопатическим бесплодием взяли кровь для получения сыворотки. Затем методом модифицированной реакции иммобилизации сперматозоидов (РИМЖ) провели скрининг на наличие аллоантител к сперме быков-производителей (n = 32, без

аутоантител), подходящих по генеалогии, согласованных со специалистами хозяйства. Для каждой коровы индивидуально подбирали одного или нескольких быков, в отношении спермы которых титр специфических аллоантител не обнаруживался (0) или был физиологически допустимым ( $\leq 2$ ). Подготовку животных к осеменению проводили по специально разработанной схеме. Осеменение осуществляли ректоцервикальным способом двукратно в одну охоту с интервалом 8–10 часов.

Результаты представлены на рисунке 2 и в таблице 3.

Всего в исследовании приняли участие 246 высокопродуктивных коров, отобранных для выбраковки из-за длительного периода яловости. Из них у 72 (29,3%) был предварительно диагностирован иммунологический компонент бесплодия на основе анамнеза и исключения иных причин. После применения протокола, включающего индивидуальный иммунологический подбор быка, стельность на 35-е сутки, подтвержденная УЗИ-диагностикой, была установлена у 32 коров, что составило 44,4% (32/72). Данный результат был верифицирован методом ректальной пальпации на 60-е сутки. Таким образом, разработанный метод позволил восстановить репродуктивную функцию и вернуть в производственное стадо 44,4% животных, изначально считавшихся бесперспективными.

**Рис. 2.** Примерные образцы подбора быков-производителей для исследуемой коровы с многократными безрезультативными осеменениями (иммунологическое бесплодие)

**Fig. 2.** Approximate examples of selection of breeding bulls for the studied cow with multiple unsuccessful inseminations (immunological infertility)

Кличка быка	корова Вольная							
	Амадеус	Бенедикт	Одер	Полис	Матнас	Форсаж	Каспер	Фигаро
К								
2								
4								
8								
16								
32								

Интерпретация рисунка: Бык Амадеус — титр 4 (иммобилизация сперматозоидов в лунках 2 и 3). Бык Бенедикт — титр 32 (иммобилизация сперматозоидов во всех лунках, кроме контрольной). Бык Одер — титр 0 (иммобилизация сперматозоидов отсутствует).

Figure interpretation: Amadeus bull — titer 4 (sperm immobilization in wells 2 and 3). Benedict bull — titer 32 (sperm immobilization in all wells except the control). Oder bull — titer 0 (no sperm immobilization).

**Таблица 3. Результативность искусственного осеменения условно бесплодных коров с применением нового протокола**

Регион	Подобрано быков	Осеменено коров	Стали стельными		Яловые	Эндометрит*
			n	%		
Московская область	2	35	12	34,30 ± 5,67	20	3
Орловская область	1	27	14	51,90 ± 6,80	7	6
Личное подсобное хозяйство (МО)	5	10	6	60,00 ± 10,95	4	0
В среднем	8	72	32	44,40 ± 4,14	31	9
По хозяйствам (без ЛПХ)	3	62	26	41,90 ± 4,43	27	9

Примечание: \* — у 9 коров после осеменения диагностирован скрытый эндометрит (подтвержден УЗИ), они не учитывались как стельные.

Учитывая, что все животные до исследования были отобраны для выбраковки и поставлены на откорм, данный результат следует рассматривать как значимое достижение, открывающее путь к сохранению ценного генетического материала в стаде. Экономическая целесообразность метода обусловлена в первую очередь прямой экономией. Возврат высокопродуктивной коровы в стадо исключает затраты на ее замену (покупка и выращивание ремонтного молодняка) и покрывает упущенную выгоду от неполученной продукции. Одновременно снижает риск заноса инфекционных заболеваний при покупке ремонтного молодняка.

Акцент данной работы сфокусирован на общеприкладной возможности использования выбракованных коров с диагнозом «иммунологическое бесплодие» для возвращения в стадо.

Реализация протокола возможна в рамках существующих селекционных программ без прямых дополнительных затрат для хозяйства, что критически важно для его практического внедрения. Индивидуальный подбор быков может проводиться за счет племпредприятия, заинтересованного в высокой результативности осеменения своей спермопродукцией.

Таким образом, метод позволяет целенаправленно снижать процент выбраковки по воспроизводству, повышая общую экономическую эффективность молочного скотоводства за счет более полного использования генетического потенциала маточного поголовья.

Полученная в исследовании эффективность протокола (44,4% стельности у коров с подтвержденным иммунологическим бесплодием) сопоставима с результатами, описанными в более ранних работах по применению иммунологических методов в воспроизводстве крупного рогатого скота. Так, в исследованиях Соколовской И.И. (1994) и Петрова А.М. *с соавт.* (2011) указывалось, что преодоление высоких титров антиспермальных антител возможно лишь при индивидуальном подходе, однако конкретные показатели результативности осеменения у длительно яловых коров варьировались в пределах 30–40% [10, 41]. Более поздние зарубежные обзоры (Gupta V.K. *et al.*, 2023) также подчеркивают сложность терапии иммунных форм бесплодия и отсутствие универсальных протоколов лечения, что делает разработанный учеными метод востребованным [6]. Достижение стельности в 44,4% случаев в группе животных, обреченных на выбраковку, позволяет предположить, что ключевым фактором успеха является именно элиминация иммунного конфликта на этапе подбора производителя. Вероятным механизмом положительного эффекта служит снижение гуморального иммунного ответа в репродуктивном тракте самки: использование спермы быков, не вызывающей реакции иммобилизации в аллосыворотке крови коровы, минимизирует воздействие антиспермальных антител классов IgA и IgG на сперматозоиды, обеспечивая их продвижение и оплодотворяющую

способность [8, 22]. Кроме того, нельзя исключать роль антигенного сходства или различия по системе BoLA (главного комплекса гистосовместимости крупного рогатого скота): подбор быков, иммунологически «совместимых» с конкретной коровой, вероятно, способствует снижению риска отторжения эмбриона на ранних стадиях развития [5, 16]. При интерпретации полученных данных необходимо учитывать ограничения настоящего исследования. Отсутствие параллельной контрольной группы (использован исторический контроль) обусловлено производственными условиями — все животные на момент начала работы были выбракованы и поставлены на откорм. Также размер выборки в отдельных категориях (например, в личных подсобных хозяйствах,  $n=10$ ) недостаточен для статистически значимых выводов по региональным особенностям. Тем не менее, общий положительный результат на основной группе ( $n=72$ ) позволяет рекомендовать разработанный протокол для практического применения в отношении генетически ценных коров.

### Выводы/Conclusions

Впервые разработан и апробирован в производственных условиях комплексный пятиэтапный протокол управления воспроизводством, включающий андрологический и гинекологический мониторинг, выявление ауто- и аллоантител у быков и коров с помощью модифицированной реакции иммобилизации сперматозоидов (РИМЖ), а также индивидуальный иммунологический подбор производителей.

Эффективность разработанного протокола подтверждена наступлением стельности у 44,4% (32 из 72) высокопродуктивных коров с предварительным диагнозом «иммунное бесплодие», имевших в анамнезе 6 и более безрезультатных осеменений в течение 8–15 месяцев и отобранных для выбраковки. При этом в контрольном доопытном периоде у всех этих животных, несмотря на многократные попытки осеменения, стельность отсутствовала.

Апробация метода в различных регионах показала его воспроизводимость и стабильную эффективность: результативность осеменения в хозяйствах Московской области составила 34,3%, Орловской области — 51,9%, в личном подсобном хозяйстве — 60,0%.

Помимо воспроизводственного эффекта, предложенный подход обладает высокой экономической значимостью, так как позволяет вернуть в основное стадо ценных животных, избежав затрат на их замену и снизив риски, связанные с заносом инфекций при вводе ремонтного молодняка.

Для практического внедрения рекомендован следующий алгоритм: применение протокола к генетически ценным коровам с 5 и более безрезультатными осеменениями; проведение полной гинекологической диспансеризации для исключения иных патологий; забор крови и индивидуальный подбор быка, сперма которого не вызывает иммунного ответа в модифицированной РИМЖ.

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

Научная статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию научно-исследовательских работ № FGGN-2024-0013 ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. ак.Л.К. Эрнста.

### FUNDING

The scientific article was prepared as part of the research carried out under the state assignment for scientific research work No. FGGN-2024-0013 of the Federal State Budgetary Scientific Institution, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устименко А.В., Абилов А.И., Козменков П.Л. Послеотельные отклонения у коров и первотелок и способы их коррекции. *Аграрная наука*. 2025; (10): 45–57. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-45-57>
2. Решетникова Н., Ескин Г., Комбарова Н., Порошина Е., Шавырин И. Современное состояние и стратегия воспроизводства стада при повышении молочной продуктивности крупного рогатого скота. *Молочное и мясное скотоводство*. 2012; (4): 2–6. EDN OZJADN
3. Харлап С.Ю., Ребезов М.Б., Гриценко С.А., Сафронов С.Л., Бобылева И.В., Журавель В.В. Динамика воспроизводительных качеств коров в зависимости от длительности использования. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 93–97. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-93-97>
4. Халиуллин Н.А., Вафин И.А., Моторин О.А., Вокуева Н.Е. Динамика поголовья крупного рогатого скота в сельхозпредприятиях Республики Татарстан. *Управление рисками в АПК*. 2023; (4): 53–63. EDN IFWCIS
5. Lazzari G., Colleoni S., Duchi R., Galli A., Houghton F.D., Galli C. Embryonic genotype and inbreeding affect preimplantation development in cattle. *Reproduction*. 2011; 141(5): 625–632. <https://doi.org/10.1530/REP-10-0282>
6. Gupta V.K. *et al.* Bovine reproductive immunofertility: pathogenesis and immunotherapy. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10: 1248604. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1248604>
7. Vickram A.S. *et al.* Role of Antisperm Antibodies in Infertility, Pregnancy, and Potential for Contraceptive and Antifertility Vaccine Designs: Research Progress and Pioneering Vision. *Vaccines*. 2019; 7(3): 116. <https://doi.org/10.3390/vaccines7030116>
8. Соколовская И.И., Милованов В.К. Иммунология воспроизведения животных. М.: Колос. 1981; 264.
9. Соколовская И.И. Гемато-генитальные барьеры и воспроизведение. *Иммунология репродукции. Труды Третьего Международного симпозиума*. София: БАН. 1978; 64–83.
10. Соколовская И.И. Иммунная система регулятор воспроизведения. *Зоотехния*. 1994; (1): 24–26.
11. Vlasova A.N., Saif L.J. Bovine Immunology: Implications for Dairy Cattle. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 643206. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.643206>
12. Чернышов В.П. Иммуноандрология. Киев: Здоров'я. 1983; 192.
13. Комбарова Н.А., Абилов А.И. Диспансеризация быков-производителей по состоянию иммунной системы и биохимии крови. *Молочное и мясное скотоводство*. 2009; (3): 30–32. EDN KWQZZZ
14. Соколовская И.И., Абилов А.И., Кочетков А.А., Ойвадис Р.Н. Выявление спонтанной аутоиммуности быков в клеточных реакциях. *Доклады ВАСХНИЛ*. 1988; (12): 24–27.
15. Комбарова Н.А., Абилов А.И., Ескин Г.В., Мониторинг быков производителей на наличие спермальных аутоантител. *Международный вестник ветеринарии*. 2008; (3): 49. EDN TKTWUJ
16. Behl J.D., Verma N.K., Tyagi N., Mishra P., Behl R., Joshi B.K. The Major Histocompatibility Complex in Bovines: A Review. *ISRN Veterinary Science*. 2012; 2012: 872710. <https://doi.org/10.5402/2012/872710>
17. Matzaraki V., Kumar V., Wijmenga C., Zhernakova A. The MHC locus and genetic susceptibility to autoimmune and infectious diseases. *Genome Biology*. 2017; 18: 76. <https://doi.org/10.1186/s13059-017-1207-1>
18. Лушова А.А., Жеремян Э.А., Астахова Е.А., Спиридонова А.Б., Бязрова М.Г., Филатов А.В. Субпопуляции В-лимфоцитов: функции и молекулярные маркеры. *Иммунология*. 2019; 40(6): 63–75. EDN OWNPNF
19. Каббани М.С., Сергеева Т.Б., Щеголева Л.С. Клеточно-опосредованная цитотоксичность (фенотипы CD8 и CD16) в иммунном ответе (обзор). *Новые исследования*. 2021; (2): 36–43. EDN ANCHIX

### REFERENCES

1. Ustimenko A.V., Abilov A.I., Kozmenkov P.L. Postpartum deviations in cows and first-calf heifers and methods for their correction. *Agrarian science*. 2025; (10): 45–57 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-45-57>
2. Reshetnikova N., Eskin G., Kombarova N., Poroshina E., Shavyrin I. Baseline conditions and herd reproduction strategy with the increase of cattle lactation performance. *Dairy and beef cattle farming*. 2012; (4): 2–6 (in Russian). EDN OZJADN
3. Kharlap S.Yu., Rebezov M.B., Gritsenko S.A., Safronov S.L., Bobyleva I.V., Zhuravel V.V. Dynamics of reproductive qualities of cows depending on the productive longevity. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 93–97 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-93-97>
4. Khalullin N.A., Vafin I.A., Motorin O.A., Vokueva N.E. Dynamics of cattle numbers in agricultural enterprises of the Republic of Tatarstan. *Upravleniye riskami v APK*. 2023; (4): 53–63 (in Russian). EDN IFWCIS
5. Lazzari G., Colleoni S., Duchi R., Galli A., Houghton F.D., Galli C. Embryonic genotype and inbreeding affect preimplantation development in cattle. *Reproduction*. 2011; 141(5): 625–632. <https://doi.org/10.1530/REP-10-0282>
6. Gupta V.K. *et al.* Bovine reproductive immunofertility: pathogenesis and immunotherapy. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10: 1248604. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1248604>
7. Vickram A.S. *et al.* Role of Antisperm Antibodies in Infertility, Pregnancy, and Potential for Contraceptive and Antifertility Vaccine Designs: Research Progress and Pioneering Vision. *Vaccines*. 2019; 7(3): 116. <https://doi.org/10.3390/vaccines7030116>
8. Sokolovskaya I.I., Milovanov V.K. Immunology of animal reproduction. Moscow: Kolos. 1981; 264 (in Russian).
9. Sokolovskaya I.I. Hematogenous barriers and reproduction. *Immunology of reproduction. Works of 3rd International Symposium*. Sofia: Bulgarian Academy of Sciences. 1978; 64–83 (in Russian).
10. Sokolovskaya I.I. The immune system regulator of reproduction. *Zootechniya*. 1994; (1): 24–26 (in Russian).
11. Vlasova A.N., Saif L.J. Bovine Immunology: Implications for Dairy Cattle. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 643206. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.643206>
12. Chernyshov V.P. Immunology. Kyiv: Zdorov'ya. 1983. 192 (in Russian).
13. Kombarova N.A., Abilov A.I. Clinical examination of breeding bulls for the state of the immune system and blood biochemistry. *Dairy and beef cattle farming*. 2009; (3): 30–32 (in Russian). EDN KWQZZZ
14. Sokolovskaya I.I., Abilov A.I., Kochetkov A.A., Oyvadis R.N. Detection of spontaneous autoimmunity in bulls in cellular reactions. *Doklady VASKhNIL*. 1988; (12): 24–27 (in Russian).
15. Kombarova N.A., Abilov A.I., Eskin G.V. Monitoring of breeding bulls for the presence of sperm autoantibodies. *International bulletin of Veterinary Medicine*. 2008; (3): 49 (in Russian). EDN TKTWUJ
16. Behl J.D., Verma N.K., Tyagi N., Mishra P., Behl R., Joshi B.K. The Major Histocompatibility Complex in Bovines: A Review. *ISRN Veterinary Science*. 2012; 2012: 872710. <https://doi.org/10.5402/2012/872710>
17. Matzaraki V., Kumar V., Wijmenga C., Zhernakova A. The MHC locus and genetic susceptibility to autoimmune and infectious diseases. *Genome Biology*. 2017; 18: 76. <https://doi.org/10.1186/s13059-017-1207-1>
18. Lushova A.A., Zheremyan E.A., Astakhova E.A., Spiridonova A.B., Byazrova M.G., Filatov A.V. B-lymphocyte subsets: functions and molecular markers. *Immunologiya*. 2019; 40(6): 63–75 (in Russian). EDN OWNPNF
19. Kabbani M.S., Sergeeva T.B., Shchegoleva L.S. Cell-mediated cytotoxicity (phenotypes of CD8 and CD16) in immune response (review). *Novye issledovaniya*. 2021; (2): 36–43 (in Russian). EDN ANCHIX

20. Hunter A.G. Immunology and fertility in the bovine. *Journal of Dairy Science Dairy Science*. 1989; 72(12): 3353–3362. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79498-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79498-4)
21. Камалов А.А., Охоботов Д.А. Изменения уровня иммуноглобулинов (антиспермальных антител классов А и G) у пациентов с инфертильностью на фоне терапии просперматогеенным биостимулятором. *Медицинский Совет*. 2017; (13): 144–149. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2017-13-144-149>
22. Heidl G. Characterization of fertility related antisperm antibodies — a step towards causal treatment of immunological infertility and immuno-contraception. *Asian Journal of Andrology*. 2010; 12(6): 793–794. <https://doi.org/10.1038/aja.2010.112>
23. Gupta S. *et al.* Antisperm Antibody Testing: A Comprehensive Review of Its Role in the Management of Immunological Male Infertility and Results of a Global Survey of Clinical Practices. *The World Journal of Men's Health*. 2022; 40(3): 380–398. <https://doi.org/10.5534/wjmh.210164>
24. Naz R.K. Antisperm Contraceptive Vaccines: Where We Are and Where We Are Going?. *American Journal of Reproductive Immunology*. 2011; 66(1): 5–12. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2011.01000.x>
25. Божедомов В.А. и др. Этиопатогенез аутоиммунных реакций против сперматозоидов. *Андрология и генитальная хирургия*. 2012; 13(4): 45–53. EDN PNMJAZ
26. Абилов А.И., Новгородова И.П., Билас Я.А. Мониторинг биохимического статуса быков-производителей. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 80–85. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-80-85>
27. Абилов А.И., Зарипов Ф.Ш., Дуниев М.И., Пыжова Е.А. Содержание эндогенных гормонов в сыворотке крови у быков-производителей молочных пород в условиях Республики Татарстан. *Аграрная наука*. 2020; (7–8): 44–48. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-44-48>
28. Абилов А.И., Новгородова И.П., Никанова Д.А., Комбарова Н.А., Корнеевко-Жильев Ю.А. Неспецифическая резистентность быков-производителей в зависимости от пород, внутривидовых возрастных отличий и уровня общего белка. *Аграрная наука*. 2024; (7): 55–61. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-55-61>
29. Абилов А.И., Амерханов Х.А., Ескин Г.В., Жаворонкова Н.В. Взаимосвязь сперматопроизводства быков-производителей современной селекции с гематологическими показателями. *Зоотехния*. 2014; (10): 26–28. EDN STXXGZ
30. Prasad A.S. Zinc is an Antioxidant and Anti-Inflammatory Agent: Its Role in Human Health. *Frontiers in Nutrition*. 2014; (1): 14. <https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00014>
31. Suttle N.F. Copper deficiency in ruminants; recent developments. *The Veterinary record*. 1986; 119(21): 519–522. <https://doi.org/10.1136/vr.119.21.519>
32. González-Maldonado J., Rangel-Santos R., Rodríguez-de Lara R., García-Peña O. Effect of injectable trace mineral complex supplementation on development of ovarian structures and serum copper and zinc concentrations in over-conditioned Holstein cows. *Animal Reproduction Science*. 2017; 181: 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.03.015>
33. Yan Cheng C., Murk D.D. The blood-testis barrier and its implications for male contraception. *Pharmacological Reviews*. 2012; 64(1): 16–64. <https://doi.org/10.1124/pr.110.002790>
34. Jiang X.-H. *et al.* Blood-testis barrier and spermatogenesis: lessons from genetically-modified mice. *Asian Journal of Andrology*. 2014; 16(4): 572–580. <https://doi.org/10.4103/1008-682X.125401>
35. Güney Saruhan B., Sağsöz H., Akbalık E., Ketani M.A., Erdoğan S. Distribution of CD68-, CD8-, MHC-I and MHC-II-positive cells in the bull and ram testis and epididymis. *Anatomia, Histologia, Embryologia*. 2018; 47(4): 313–321. <https://doi.org/10.1111/ah.12354>
36. Chiu W.W.-C., Chamley L.W. Clinical associations and mechanisms of action of antisperm antibodies. *Fertility and Sterility*. 2004; 82(3): 529–535. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2003.09.084>
37. Naz R.K., Menge A.C. Antisperm antibodies: origin, regulation, and sperm reactivity in human infertility. *Fertility and Sterility*. 1994; 61(6): 1001–1013. [https://doi.org/10.1016/s0015-0282\(16\)56747-8](https://doi.org/10.1016/s0015-0282(16)56747-8)
38. Tabarkiewicz J., Selvan S.R., Cools N. Autoimmunity in Reproductive Health and Pregnancy. *Journal of Immunology Research*. 2018; 2018: 9501865. <https://doi.org/10.1155/2018/9501865>
39. Fair T. The Contribution of the Maternal Immune System to the Establishment of Pregnancy in Cattle. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 7. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2015.00007>
20. Hunter A.G. Immunology and fertility in the bovine. *Journal of Dairy Science Dairy Science*. 1989; 72(12): 3353–3362. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79498-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79498-4)
21. Kamalov A.A., Okhobytov D.A. Changes in immunoglobulins level (antisperm antibodies of A and G classes) in patients with infertility associated with the therapy by prospematogenic biostimulators. *Medical Council*. 2017; (13): 144–149 (in Russian). <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2017-13-144-149>
22. Heidl G. Characterization of fertility related antisperm antibodies — a step towards causal treatment of immunological infertility and immuno-contraception. *Asian Journal of Andrology*. 2010; 12(6): 793–794. <https://doi.org/10.1038/aja.2010.112>
23. Gupta S. *et al.* Antisperm Antibody Testing: A Comprehensive Review of Its Role in the Management of Immunological Male Infertility and Results of a Global Survey of Clinical Practices. *The World Journal of Men's Health*. 2022; 40(3): 380–398. <https://doi.org/10.5534/wjmh.210164>
24. Naz R.K. Antisperm Contraceptive Vaccines: Where We Are and Where We Are Going?. *American Journal of Reproductive Immunology*. 2011; 66(1): 5–12. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2011.01000.x>
25. Bozhedomov V.A. *et al.* Etiopathogenesis of autoimmune responses against sperm. *Andrology and genital surgery*. 2012; 13(4): 45–53 (in Russian). EDN PNMJAZ
26. Abilov A.I., Novgorodova I.P., Bilas Ya.A. Monitoring of the biochemical status of breeding bulls. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 80–85 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-80-85>
27. Abilov A.I., Zaripov F.R., Dunin M.I., Pyzhova E.A. Content of endogenous hormones in the blood serum of milking breeds bulls-producers in the conditions of Tatarstan region. *Agrarian science*. 2020; (7–8): 44–48 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-44-48>
28. Abilov A.I., Novgorodova I.P., Nikanova D.A., Kombarova N.A., Korneenko-Zhilyaev Yu.A. Nonspecific resistance of breeding bulls depending on breeds, intrabreed age differences and total protein level. *Agrarian science*. 2024; (7): 55–61 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-55-61>
29. Abilov A.I., Amerkhanov Kh.A., Yeskin G.V., Zhavoronkova N.V. Sperm production of modern selection sires and hematologic characteristics. *Zootekhnika*. 2014; (10): 26–28 (in Russian) EDN STXXGZ
30. Prasad A.S. Zinc is an Antioxidant and Anti-Inflammatory Agent: Its Role in Human Health. *Frontiers in Nutrition*. 2014; (1): 14. <https://doi.org/10.3389/fnut.2014.00014>
31. Suttle N.F. Copper deficiency in ruminants; recent developments. *The Veterinary record*. 1986; 119(21): 519–522. <https://doi.org/10.1136/vr.119.21.519>
32. González-Maldonado J., Rangel-Santos R., Rodríguez-de Lara R., García-Peña O. Effect of injectable trace mineral complex supplementation on development of ovarian structures and serum copper and zinc concentrations in over-conditioned Holstein cows. *Animal Reproduction Science*. 2017; 181: 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.03.015>
33. Yan Cheng C., Murk D.D. The blood-testis barrier and its implications for male contraception. *Pharmacological Reviews*. 2012; 64(1): 16–64. <https://doi.org/10.1124/pr.110.002790>
34. Jiang X.-H. *et al.* Blood-testis barrier and spermatogenesis: lessons from genetically-modified mice. *Asian Journal of Andrology*. 2014; 16(4): 572–580. <https://doi.org/10.4103/1008-682X.125401>
35. Güney Saruhan B., Sağsöz H., Akbalık E., Ketani M.A., Erdoğan S. Distribution of CD68-, CD8-, MHC-I and MHC-II-positive cells in the bull and ram testis and epididymis. *Anatomia, Histologia, Embryologia*. 2018; 47(4): 313–321. <https://doi.org/10.1111/ah.12354>
36. Chiu W.W.-C., Chamley L.W. Clinical associations and mechanisms of action of antisperm antibodies. *Fertility and Sterility*. 2004; 82(3): 529–535. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2003.09.084>
37. Naz R.K., Menge A.C. Antisperm antibodies: origin, regulation, and sperm reactivity in human infertility. *Fertility and Sterility*. 1994; 61(6): 1001–1013. [https://doi.org/10.1016/s0015-0282\(16\)56747-8](https://doi.org/10.1016/s0015-0282(16)56747-8)
38. Tabarkiewicz J., Selvan S.R., Cools N. Autoimmunity in Reproductive Health and Pregnancy. *Journal of Immunology Research*. 2018; 2018: 9501865. <https://doi.org/10.1155/2018/9501865>
39. Fair T. The Contribution of the Maternal Immune System to the Establishment of Pregnancy in Cattle. *Frontiers in Immunology*. 2015; 6: 7. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2015.00007>

40. Knapik L.O., Paresh S., Nabi D., Brayboy L.M. The Role of T Cells in Ovarian Physiology and Infertility. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2022; 10: 713650. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.713650>

41. Петров А.М., Петров М.А., Ванюкова О.И., Колобаева А.А. Основные этиологические факторы иммунного бесплодия коров. *Ученые записки учреждения образования «Витебская орден «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»*. 2011; 47(2-2): 94–97. EDN SEKNUJ

42. Абылкасымов Д., Никитина З.Я., Никитин К.А. Иммунологические подходы в воспроизводстве крупного рогатого скота. *Повышение управленческого, экономического, социального, инновационно-технологического и технического потенциала предприятий и отраслей АПК. сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции*. Тверь: Тверская ГСХА. 2017; 107–110. EDN ZDXUNZ

40. Knapik L.O., Paresh S., Nabi D., Brayboy L.M. The Role of T Cells in Ovarian Physiology and Infertility. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2022; 10: 713650. <https://doi.org/10.3389/fcell.2022.713650>

41. Petrov A.M., Petrov M.A., Vanyukova O.I., Kolobayeva A.A. Major etiological factors of immune infertility of cows. *Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of 'the Badge of Honor' State Academy of Veterinary Medicine"*. 2011; 47(2-2): 94–97 (in Russian). EDN SEKNUJ

42. Abylkasymov D., Nikitina Z.Ya., Nikitin K.A. Immunological approaches to cattle reproduction. *Increasing the managerial, economic, social, innovative, technological and technical potential of enterprises and branches of the agro-industrial complex. Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference*. Tver: Tver State Agricultural Academy. 2017; 107–110 (in Russian). EDN ZDXUNZ

**ОБ АВТОРАХ**

**Ахмедага Имаш оглы Абилов**

доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник  
ahmed.abilov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6236-8634>

**Нина Анатольевна Комбарова**

кандидат биологических наук  
komnina@list.ru  
<https://orcid.org./0000-0003-3861-4465>

**Виктория Владимировна Турбина**

аспирант  
<https://orcid.org./0000-0003-1039-0375>

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста п. Дубровицы д. 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Россия

**ABOUT THE AUTHORS**

**Akhmedaga Imash ogly Abilov**

Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher  
ahmed.abilov@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-6236-8634>

**Nina Anatolyevna Kombarova**

Candidate of Biological Sciences  
komnina@list.ru  
<https://orcid.org./0000-0003-3861-4465>

**Victoria Vladimirovna Turbina**

postgraduate student  
<https://orcid.org./0000-0003-1039-0375>

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

# ПРО ЯБЛОКО

**ЗДЕСЬ ФОРМИРУЕТСЯ БУДУЩЕЕ  
РОССИЙСКОГО САДОВОДСТВА**

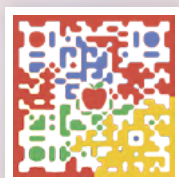
**9-11 июня 2026**

**МВЦ «МинводыЭКСПО»**

ОРГАНИЗАТОРЫ:



ПОДРОБНАЯ  
ИНФОРМАЦИЯ  
О ВЫСТАВКЕ >



УДК 633.35:633.13:631.86

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-75-81

Л.В. Тиранова ✉

А.В. Григорьев

Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал Санкт-Петербургского ФИЦ Российской академии наук, дер. Борки, Новгородская обл., Россия

✉ [tiranova.zevs1954@yandex.ru](mailto:tiranova.zevs1954@yandex.ru)

Поступила в редакцию: 22.09.2025

Одобрена после рецензирования: 28.12.2025

Принята к публикации: 25.01.2026

© Тиранова Л.В., Григорьев А.В.

## Эффективность микробиологических удобрений серии «Арксойл» на посевах вико-овсяной смеси в условиях Новгородской области

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Микробиологические удобрения «Арксойл Азот» и «Арксойл Фосфор» значительно снижают внесение традиционных удобрений и необходимы сельхозтоваропроизводителям для увеличения продукции растениеводства с единицы площади возделываемых культур.

**Методы.** Исследования проводили в условиях Новгородской области в 2022–2024 гг. на дерново-подзолистой почве на опытном поле в дер. Лорешниково на базе Новгородского НИИСХ — филиале СПб ФИЦ РАН на двух фонах минеральных удобрений (фон 1-й — без удобрений, фон 2-й — в расчете на плановую урожайность зеленой массы вико-овсяной смеси). Объекты исследования — вико-овсяная смесь, вика Льговская 22, овес Боррус и микробиологические удобрения «Арксойл Азот» и «Арксойл Фосфор».

**Results.** Установили высокую эффективность исследуемых микробиоудобрений. В среднем за три года исследований в варианте 8 на фоне 2 получили лучшую среднегодовую продуктивность (5,9 тыс. т к. ед/га) при включении в технологические операции «Арксойл Азот» и «Арксойл Фосфор» (обработка высеваемых семян по 1,0 л/т + обработка растений штанговым опрыскивателем в фазу кущения овса и ветвления вики по 0,5 л/га). В данном варианте с 1 га получили самую высокую среднегодовую питательную ценность зеленой массы вико-овсяной смеси: переваримый протеин для КРС — 0,85 т с содержанием в 1 к. ед. 144 г, обменная энергия для КРС — более 55 ГДж, сухое вещество — более 7 т с рентабельностью производства выше 100%.

**Ключевые слова:** вико-овсяная смесь, «Арксойл Азот», «Арксойл Фосфор», минеральные удобрения, зеленая масса, продуктивность, питательность, плодородие

**Для цитирования:** Тиранова Л.В., Григорьев А.В. Эффективность микробиологических удобрений серии «Арксойл» на посевах вико-овсяной смеси в условиях Новгородской области. *Аграрная наука.* 2026; 404 (03): 75–81. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-75-81>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-75-81

Lyudmila V. Tiranova ✉

Alexander V. Grigoriev

Novgorod Research Institute of Agriculture, a branch of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Borki, Novgorod Region, Russia

✉ [tiranova.zevs1954@yandex.ru](mailto:tiranova.zevs1954@yandex.ru)

Received by the editorial office: 22.09.2025

Accepted in revised: 28.12.2025

Accepted for publication: 25.01.2026

© Tyranova L.V., Grigoriev A.V.

## Efficiency of the Arksoil series microbiological fertilizers on vetch-oat mixture crops in the conditions of the Novgorod region

### ABSTRACT

**Relevance.** Microbiological fertilizers “Arksoil Nitrogen” and “Arksoil Phosphorus” significantly reduce the application of traditional fertilizers and are necessary for agricultural producers to increase crop production per unit area of cultivated crops.

**Methods.** The research was carried out in the conditions of the Novgorod region in 2022–2024 on sod-podzolic soil in an experimental field in the village of Loreshnikovo on the basis of the Novgorod Research Institute of Agricultural Sciences, a branch of the St. Petersburg Institute of Applied Sciences, on two backgrounds of mineral fertilizers (background 1 without fertilizers, background 2 based on the planned yield of the green mass of the vetch-oat mixture). The object of the study is an oatmeal mix, vetch variety Lgovskaya 22, oats variety Borrus and microbiological fertilizers “Arksoil Nitrogen” and “Arksoil Phosphorus”.

**Results.** The high efficiency of the studied biofertilizers has been established. On average, over three years of research in option 8 against background 2, we obtained the best average annual productivity of 5.9 thousand tons per unit/ha when included in the technological operations “Arksoil Nitrogen” and “Arksoil Phosphorus” (processing of sown seeds at 1.0 l/t + treatment of plants with a rod sprayer in the phase of tillering oats and branching vetches at 0.5 l/ha). In this variant, the highest average annual nutritional value of the green mass of the vico-oat mixture was obtained from 1 ha: digestible protein for cattle — 0.85 t with a 1 k content of 144 g units, exchangeable energy for cattle — more than 55 GJ, dry matter — more than 7 t with a production profitability above 100%.

**Key words:** vetch-oat mixture, “Arksoil Nitrogen”, “Arksoil Phosphorus”, mineral fertilizers, green mass, productivity, nutritional value, fertility

**For citation:** Tyranova L.V., Grigoriev A.V. Efficiency of the “Arksoil” series microbiological fertilizers on vetch-oat mixture crops in the conditions of the Novgorod region. *Agrarian science.* 2026; 404 (03): 75–81 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-75-81>

## Введение/Introduction

Одна из ведущих отраслей в Новгородской области — молочное животноводство. Следовательно, необходимо укрепить кормовую базу отрасли животноводства.

По данным сельскохозяйственных научно-исследовательских учреждений Северо-Западного федерального округа (СЗФО), в которую входит и Новгородская область, и других НИИ Российской Федерации, особую ценность для кормовой базы имеют зернобобовые культуры (вика, горох, фасоль, люпин узколистный и др.) семейства мотыльковых (бобовых), которые имеют высокую питательную ценность и улучшают структуру почвы [1, 2].

Возделывание зернобобовых, в частности вики яровой, способствует увеличению в кормах для сельскохозяйственных животных белка и других питательных веществ. Кроме того, они способствуют повышению плодородия почвы в связи с азотфиксирующей способностью бобовых.

Вместо того чтобы сеять зеленый корм в чистом виде, вику лучше смешивать со вспомогательными культурами. Вика яровая характеризуется полегающим стеблем, в связи с чем в качестве опорной культуры традиционно используется овес. Наиболее распространенной поддерживающей культурой для вики является овес. При росте овес потребляет много азота. Вика использует азотфиксирующие бактерии для фиксации атмосферного азота и накопления его в почве [2, 3].

Овес и вику можно использовать на кормовые цели в различные фазы развития растений. До молочно-восковой спелости в бобах идет прирост биомассы и снижается переваримость незрелой части урожая. Содержание белка в вике значительно выше, чем в овсе.

В связи с высокой требовательностью злаковой культуры овса (род *Avena*) к содержанию доступного азота в почве ее совместное возделывание с викой является эффективным агротехническим приемом. В таких агроценозах овес использует биологически зафиксированный викой азот, что положительно коррелирует с его продуктивностью и темпами развития.

Для увеличения продукции животноводства на естественно-низкоплодородной дерново-подзолистой почве, которой в Новгородской области 84% от площади пашни [4], необходимо использовать минеральные удобрения. Однако производство минеральных удобрений и средств защиты растений требует больших затрат энергии. В природно-климатических условиях области источниками повышения урожая сельскохозяйственной продукции являются микробиологические удобрения.

Настоящие исследования направлены на изучение способов использования новых микробиологических удобрений для увеличения продуктивности зеленой массы вико-овсяной смеси, используемой на корм животных.

В соответствии с соглашением, подписанным с ООО «НПО «Эко Ойл Сервис»<sup>1</sup>, в Новгородской области впервые было проведено исследование влияния микробиологических удобрений «Арксоил Азот» и «Арксоил Фосфор» на урожайность сельскохозяйственных культур в Новгородской области. Исследуемые препараты содержат специально подобранные штаммы бактерий и других организмов и улучшают условия питания сельскохозяйственных культур.

С помощью микробиологического удобрения «Арксоил Азот» происходит переход атмосферного азота в связанное состояние. Этому способствуют бактерии «Арксоил Азот», которые принадлежат к группе азотфиксаторов *Azotobacter chroococcum*, *Azotobacter vinelandii*, *Exiguobacterium acetylicum* и выделяют в почву биологически активные вещества и синтезируют большой спектр витаминов.

Бактерии, входящие в состав препарата «Арксоил Фосфор», принадлежат к группе фосформобилизаторов *Bacillus mucilaginosus*, *Exiguobacterium acetylicum* и проявляют высокую эффективность в переводе недоступных форм питательных веществ, особенно фосфора, в растворимую и доступную для растения форму. Они обладают солюбилизующими свойствами и являются стимуляторами роста растений, и возделываемые культуры усваивают из почвы намного больше полезных веществ [5–7].

Изученность вопросов агротехники возделывания зеленой массы вико-овсяной смеси в условиях Новгородской области недостаточна. Разработка основных технологических приемов комплексного использования микробиологических удобрений серии «Арксоил» совместно с минеральными удобрениями при производстве биомассы вико-овсяной смеси позволит получать стабильные урожаи высококачественных кормов [8–10].

*Цель исследований* — изучить эффективность использования микробиологических удобрений «Арксоил Азот» и «Арксоил Фосфор» на продуктивность и питательную ценность биомассы вико-овсяной смеси и сохранение плодородия почвы Новгородской области Российской Федерации.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проведены на опытном поле Новгородского НИИСХ (2022–2024 гг.) в дер. Лорешниково Новгородского района на среднеоккультуренной дерново-подзолисто-глеевой легкой суглинистой почве, подстилаемой ленточными глинами, с высоким содержанием подвижного фосфора и обменного калия (более 230 мг/кг) (по Кирсанову), гумуса — 3,2–3,6% (по Тюрину),  $pH_{\text{сол.}} = 5,6–5,8$ .

В опытах использовали вику яровую Льговская 22. Сорт выведен Льговской опытно-селекционной станцией, среднеспелый с вегетационным

<sup>1</sup> Договор № 2-23 о научно-техническом сотрудничестве.

периодом на корм от 38 до 45 дней. Содержание сухого вещества составляет 20–25%<sup>2</sup>. Из-за высокой кормовой ценности с 1993 г. внесен в Госреестр селекционных достижений<sup>3</sup> и рекомендован для культивирования практически на всей территории России, кроме районов с засушливым климатом. Вика склонна к полеганию, в качестве поддерживающей культуры использовали яровой овес Боррус.

Овес сорта Боррус — разновидность мутика, среднеранний, выведен в Германии. Вегетационный период 80–93 дня. Равномерное созревание, устойчив к полеганию и осыпанию. Средне поражается ржавчиной. Кроме зернового использования, высевается в смеси с зернобобовыми культурами на зеленый корм. С 1982 года районирован в Нечерноземной зоне. Предшественник — зерновые озимые культуры.

Эксперимент двухфакторный:

- фактор В — минеральные удобрения:  $V_0$  (фон 1) —  $N_0P_0K_0$  без минеральных удобрений;  $V_1$  (фон 2) —  $N_1P_1K_1$  в расчете на планируемую урожайность зеленой массы вико-овсяной смеси (27 т/га) в среднем за 3 года доза удобрений —  $N_{82}P_{10}K_{108}$ . Содержание фосфора в почве — 240 мг/кг. Будет использовано из почвы растениями 36 кг/га, и вносить фосфор нет необходимости.

- фактор Н — способы применения «Аркосил Азот» (далее — АА) и «Аркосил Фосфор» (далее — АФ):

1.  $H_0$  — контроль (без использования АА + АФ);

2.  $H_1$  — предпосевная обработка семян (АА 1,0 л/га + АФ 1,0 л/га);

3.  $H_2$  — некорневая обработка в фазы ветвления вики и кущения овса (АА + АФ по 0,5 л/га каждого препарата);

4.  $H_3$  — использованы факторы  $H_1 + H_2$ .

Варианты опыта представлены в таблице 2.

В проведенных исследованиях обработку экспериментальных данных проводили по методике опытного дела по Б.А. Доспехову<sup>4</sup>. Дозы внесения минеральных удобрений на планируемую урожайность рассчитывали по М.К. Каюмову<sup>5</sup> (при этом использовали для дерново-подзолистой почвы поступление питательных веществ азота, фосфора и калия из почвы — 20%, 5% и 10% соответственно, поступление питательных веществ из минеральных удобрений для вико-овсяной смеси  $NPK$  — 60%, 20% и 80%) с учетом агрохимических показателей почвы и выноса с урожаем зеленой массы вико-овсяной смеси азота 3,3 кг/т,

фосфора 1,1 кг/т, калия 5,1 кг/т, используя данные по химическому составу, определенные в лаборатории Новгородского НИИСХ.

В Федеральном государственном бюджетном учреждении «САС Новгородская» определены показатели кормового качества зеленой массы вико-овсяной смеси. Содержание сухого вещества рассчитывали по ГОСТ 31640-2012<sup>6</sup>, азота и сырого протеина — по ГОСТ 13496.4-2019<sup>7</sup>. Обменную энергию (ОЭ) вико-овсяной смеси по сухому веществу для КРС определяли по «Методическим указаниям по оценке качества и питательности кормов» с учетом полученных результатов<sup>8</sup>, массовую долю сырой клетчатки — по ГОСТ 31675-2012 (п. 6)<sup>9</sup>.

Расчет баланса гумуса проведен по методическим указаниям издательства ЦИНАО<sup>10</sup>. При расчете энергоемкости основной продукции использовали методические рекомендации отделения по Нечерноземной зоне России<sup>11</sup>. Рентабельность затрат рассчитана как отношение прибыли к полной себестоимости<sup>12</sup>.

При возделывании зеленой массы вико-овсяной смеси в технологических операциях применяли: азотоску (нитроаммофоска)  $NPK$  по 16% (гранулы); аммиачную селитру  $N$  марки Б — 34,4% (гранулы); хлористый калий  $K_2O$  — 60%; двойной суперфосфат  $P_2O_5$  марки Б — 43,0%.

Использование микробиологических препаратов в данном случае не требовало дополнительных расходов, так как их использовали в баковых смесях с пестицидами.

Обработку семян микробиологическими удобрениями проводили за 2–5 дней до посева. Агротехника возделывания зеленой массы вико-овсяной смеси общепринятая для условий Новгородской области.

Исследования проводили в трехкратной повторности. Общая площадь делянки — 100 м<sup>2</sup>. Учетная площадь по факторам В и Н составила 25 м<sup>2</sup>. Варианты в повторениях размещали рендомизированно. Делянки были поделены на две половины. На 1/2 части делянок высевали семена, обработанные перед посевом фунгицидами, на другой части делянок семена перед посевом обработали фунгицидами совместно с микробиологическими удобрениями. Для протравливания семян овса применяли фунгицид «Витавакс 200, СП» (375 г/кг + 375 г/кг) — 3 кг/т, производитель — фирма «Юнироял Кемикал» (США).

<sup>2</sup> <https://www.semena58.ru/> Лыговская 22

<sup>3</sup> Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: Росинформагротех. 2024; 620.

<sup>4</sup> Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию. 2013; 248–255.

<sup>5</sup> Каюмов М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат. 1989; 320.

<sup>6</sup> ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества.

<sup>7</sup> ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

<sup>8</sup> Методические указания по оценке качества и питательности кормов. М.: Издательство ЦИНАО. 2002; 74.

<sup>9</sup> ГОСТ 31675-2012 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания клетчатки.

<sup>10</sup> Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: Издательство ЦИНАО. 2000; 40.

<sup>11</sup> Энергетическая оценка технологий в земледелии (методические рекомендации). СПб.; Пушкин: Издательское отделение по Нечерноземной зоне России. 1994; 30.

<sup>12</sup> Расчет рентабельности проведен по Н.Н. Баранову. Экономика использования удобрений. М.: Колос. 1974; 219.

Обработка почвы под возделываемые культуры была традиционной для избыточно увлажненных почв: зяблевая вспашка на глубину пахотного слоя, предпосевная культивация в 2–3 следа сельскохозяйственным орудием КПС-4.2 (Машиностроительный завод «Агромашина», Молдова).

Минеральные удобрения под возделываемую культуру вносили под культивацию. Использовали рядовой способ посева. Сев проводили сеялкой СН-16 (Московский завод опытных конструкций ВИМ, Россия) в оптимальные сроки (норма высева: овес — 3 млн шт. всх. семян на 1 га, вика — 2 млн). Семена заглабливали в почву на 4–6 см. Прицепным орудием ОПШ-16 (ООО «Сальксельмаш», Россия) проводили некорневую подкормку.

В полевом опыте применяли сплошной метод учета урожая<sup>4</sup> (он наиболее точен).

Возделываемую культуру убирали: у вики — в фазу образования зеленых лопаток, у овса — в фазу молочной спелости.

Влияние агрометеорологических условий на возделываемую культуру за вегетационные периоды (с мая по август) было достаточно благоприятным, гидротермический коэффициент за годы исследований составил более 1,2 ед. (по данным Новгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»).

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Учет урожайности зеленой массы вико-овсяной смеси на корм животным проводили: в фазу образования зеленых лопаток — у вики, молочной

спелости зерна — у овса. Результаты представлены в таблице 1.

Высокую урожайность зеленой массы (36,8 т/га) получили при дозе минеральных удобрений в расчете на планируемую урожайность  $N_{82}P_0K_{108}$ , протравливании семян перед посевом микробиологическими удобрениями АА 1 л/т + АФ 1 л/т и некорневой подкормке в фазы ветвления вики и кущения овса по 0,5 л/га АА + АФ при расходе рабочего раствора 200 л/га по факторам  $V_1$  и  $H_3$ .

Прибавка урожайности по отношению к варианту 5 (без применения микробиоудобрений) составила 31%. Данные результаты подтверждаются другими исследователями в России [7, 9, 11].

Двухфакторный дисперсионный анализ полевого опыта не подтвердил совместного взаимодействия минеральных и микробиологических удобрений на урожайность биомассы вико-овсяной смеси.

Увеличение урожайности биомассы вико-овсяной смеси по вариантам 2–4 и 6–8 по сравнению с вариантами 1 и 5 составило 3,3 и 3,0 т/га, 4,1 и 4,3 т/га и 7,4 и 8,7 т/га при  $HCP_{05}$  по фактору  $H = 2,0$  т/га и не зависело от вносимых доз минеральных удобрений.

В Федеральном государственном бюджетном учреждении «САС Новгородская» (Россия) были определены показатели качества зеленой массы вико-овсяной смеси и приведены в таблице 2 (средние значения за 3 года).

Как видно из таблицы 2, на двух фонах минеральных удобрений (варианты 4 и 8) и при двукратном применении микробиологических удобрений при производстве зелёной массы вико-овсяной смеси доля сухого вещества увеличилась на 3,8% и 2,6%, а массовая доля азота в сухом

**Таблица 1. Продуктивность зеленой биомассы вико-овсяной смеси в зависимости от применяемых микробиологических и минеральных удобрений (среднее за 2022–2024 гг.), т/га**  
**Table 1. Productivity of green biomass of vetch-oat mixture depending on applied microbiological and mineral fertilizers (average for 2022–2024), t/ha**

Фактор В	Фактор Н				Среднее по фактору В, ( $HCP_{05} = 2,3$ т/га)
	$H_0$ , без АА + АФ контроль	$H_1$ , протравливание семян АА + АФ	$H_2$ , некорневая обработка АА + АФ	$H_3$ , протравливание семян + некорневая обработка АА + АФ	
$V_0$ , фон 1	12,8	16,1	16,9	20,2	16,5
$V_1$ , фон 2	28,1	31,1	32,4	36,8	32,1
Среднее по фактору Н ( $HCP_{05} = 2,0$ т/га)	20,4	23,6	24,6	28,5	24,3
$HCP_{05} = 3,5$ т/га для сравнения частных средних					

**Таблица 2. Показатели кормовых качеств зеленой массы вико-овсяной смеси в среднем за 3 года исследований**  
**Table 2. Indicators of feed quality of green mass of vetch-oat mixture, average for 3 years of research.**

№ варианта	Фактор Н	Доза минеральных удобрений, кг д. в. / га	Показатели качества			
			Массовая доля сухого вещества, %	Массовая доля азота в сухом веществе, %	Массовая доля сырого протеина, %	Массовая доля сырой клетчатки, %
1	$H_0$	$N_0P_0K_0$	18,2	2,75	15,92	28,8
2	$H_1$		19,3	2,64	16,52	29,6
3	$H_2$		20,0	2,81	17,89	28,2
4	$H_3$		22,0	2,96	19,62	29,1
5	$H_0$	$N_{82}P_0K_{108}$	16,9	2,95	18,55	27,0
6	$H_1$		17,3	2,99	18,71	31,4
7	$H_2$		18,9	3,10	19,10	26,6
8	$H_3$		19,5	3,18	21,40	28,8
$HCP_{05, \%}$			2,5	0,20	2,7	0,3

**Таблица 3. Питательная ценность зеленой массы вико-овсяной смеси в зависимости от вариантов применения удобрений (среднее за 2022–2024 гг.)**

**Table 3. Nutritional value of vetch-oat mixture green mass depending on fertilizer application options (average for 2022–2024)**

№ варианта	Фактор Н	Доза минеральных удобрений, кг д. в. / га	Урожайность, т к. ед. / га	Сухое вещество, т/га	Сырой протеин, т/га	Переваримый протеин, КРС, т/га	Обменная энергия, КРС, ГДж/га
1	H <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	2,10±0,14	2,30±0,26	0,37±0,04	0,29±0,03	19,20±0,96
2	H <sub>1</sub>		2,60±0,14	3,50±0,26	0,58±0,04	0,37±0,03	24,20±0,96
3	H <sub>2</sub>		2,70±0,14	3,40±0,26	0,63±0,04	0,40±0,03	25,10±0,96
4	H <sub>3</sub>		3,20±0,14	3,90±0,26	0,67±0,04	0,46±0,03	30,30±0,96
5	H <sub>0</sub>	N <sub>82</sub> P <sub>0</sub> K <sub>108</sub>	4,50±0,14	5,30±0,26	0,97±0,04	0,64±0,03	42,20±0,96
6	H <sub>1</sub>		5,00±0,14	5,30±0,26	0,99±0,04	0,72±0,03	46,70±0,96
7	H <sub>2</sub>		5,20±0,14	5,60±0,26	1,13±0,04	0,74±0,03	48,60±0,96
8	H <sub>3</sub>		5,90±0,14	7,20±0,26	1,39±0,04	0,85±0,03	55,20±0,96

веществе — на 0,21% и 0,23% по сравнению с вариантами 1 и 5 соответственно.

Питательная ценность зеленой массы вико-овсяной смеси при использовании в технологических операциях микробиологических удобрений представлена в таблице 3. При расчете питательности зеленой массы вико-овсяной смеси использовали показатели таблицы 2 и данные справочника по питательности кормов для условий СЗФО.

Двукратное исследование микробиологических удобрений при производстве зеленой массы вико-овсяной смеси привело к увеличению сырого протенина в корме для сельскохозяйственных животных в вариантах 4 и 8 в среднем за 3 года на 80% и 43% по отношению в вариантах 1 и 5 соответственно. Это экономит потребление кормов в животноводстве и снижает себестоимость

продуктов животного происхождения для населения Новгородской области, что согласуется с другими исследованиями [12, 13].

Лучшая питательная ценность в среднем за 3 года получена в варианте 8 со следующими показателями по зеленой массе вико-овсяной смеси: сырой протеин — 1,39 т/га с содержанием в кормовой единице 235 г; сухое вещество — 7,2 т/га, обменная энергия для КРС — более 55 ГДж с содержанием в 1 кг зеленой массы вико-овсяной смеси 1,5 МДж. Подтверждается исследованиями [8, 14, 15].

Расчет баланса гумуса (табл. 4), проведенный по методическим указаниям, показал, что прироста гумуса почвы нет только в варианте 1 без использования микробиологических удобрений.

Наибольший прирост гумуса в почве получили по фактору H<sub>3</sub> в вариантах 4 (0,17 т/га без внесения минеральных удобрений) и 8 (0,21 т/га с внесением минеральных удобрений в дозе N<sub>82</sub>P<sub>0</sub>K<sub>108</sub>) по отношению к вариантам 1 и 5 соответственно, что подтверждается исследованиями [7, 16].

В таблице 5 приведены энергоэкономические показатели производства зеленой массы вико-овсяной смеси.

При изучении приемов использования новых микробиологических удобрений при производстве зеленой массы вико-овсяной смеси наиболее высокие энергоэкономические показатели получили, применяя в технологиях двукратно «Арксоил Азот» и «Арксоил Фосфор» (обработка семян перед посевами и некорневая подкормка) с внесением минеральных удобрений на планируемую

**Таблица 4. Баланс гумуса почвы при возделывании зеленой массы вико-овсяной смеси (в среднем за 2022–2024 гг.)**

**Table 4. The balance of soil humus during cultivation of the green mass of the vico-oat mixture (on average for 2022–2024)**

№ варианта	Гумификация пожнивно-корневых остатков, т/га	Минерализация гумуса, т/га	Баланс гумуса, ±, т/га
1	0,31±0,28	0,34±0,16	-0,03±0,01
2	0,39±0,28	0,34±0,16	0,05±0,01
3	0,41±0,28	0,34±0,16	0,07±0,01
4	0,48±0,28	0,34±0,16	0,14±0,01
5	0,67±0,28	0,34±0,16	0,33±0,01
6	0,75±0,28	0,34±0,16	0,41±0,01
7	0,78±0,28	0,34±0,16	0,44±0,01
8	0,88±0,28	0,34±0,16	0,54±0,01

**Таблица 5. Энергоэкономические показатели производства зеленой массы вико-овсяной смеси (в среднем за 2022–2024 годы)**

**Table 5. Energy-economic indicators of the production of green mass of vico-oat mixture (on average for 2022–2024)**

№ варианта	Фактор В	Доза минеральных удобрений, кг д. в. / га	Продуктивность, т к. ед. / га	Энергоемкость основной продукции, ГДж/т	Энергетическая эффективность, ед.	Рентабельность затрат, %
1	B <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	2,1	1,8	6,0	31
2			2,6	1,6	6,5	62
3			2,7	1,6	6,5	60
4			3,2	1,5	7,1	57
5	B <sub>1</sub>	N <sub>82</sub> P <sub>0</sub> K <sub>108</sub>	4,5	3,6	3,9	80
6			5,0	3,3	4,2	84
7			5,2	2,8	4,3	85
8			5,9	2,6	4,5	104

урожайность (фон 2) в варианте 8: энергоемкость основной продукции — 2,6 ГДж/т, энергетическая эффективность — 4,5 ед. (полученная путем деления выхода энергии наземной фитомассы, ГДж/га), на энергоемкость технологий (антропогенная невозобновляемая энергия — химические удобрения, технические средства и др., ГДж/га). Рентабельность в указанном варианте составила 104%. Расчет себестоимости для определения рентабельности проведен в ценах 2024 года. Результаты подтверждаются проведенными ранее исследованиями [8, 11].

### Выводы/Conclusions

Настоящие исследования демонстрируют агрономическую и энергоэкономическую эффективность комплексного применения микробиологических удобрений «Арксойл Азот» и «Арксойл Фосфор» и минеральных при возделывании вико-овсяной смеси на зеленый корм на дерново-подзолистой почве в условиях Новгородской области.

При возделывании зеленой массы вико-овсяной смеси в технологические операции необхо-

димо включать предпосевную обработку семян и последующую некорневую подкормку вегетирующих растений микробиологическими удобрениями на фоне внесения минеральных удобрений в расчете на планируемую урожайность в дозе  $N_{82}P_{0}K_{108}$ . Это обеспечило максимальную прибавку урожая зеленой массы — 8,7 т/га (31% к контролю).

С ростом продуктивности произошло существенное улучшение питательности зеленой массы вико-овсяной смеси: увеличился сбор сырого протеина до 1,39 т/га. При внесении минеральных удобрений на плановую урожайность и двукратном внесении микробиологических удобрений повысилась энергетическая ценность корма: обменная энергия для КРС составила 55,2 ГДж/га против 30,3 ГДж/га без применения удобрений.

В указанной технологии получен лучший энергоэкономический результат: рентабельность — на уровне 104% при одновременном снижении энергоемкости производства до 2,6 ГДж/т, энергопотенциал почвы повысился на 13 ГДж/га, что очень важно для бедных дерново-подзолистых почв.

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 при поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках государственного задания № FFZF-2025-0009, рег. № НИОКР 125031803947-7.

### FUNDING

The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment No. FFZF-2025-0009, R&D reg. No. 125031803947-7.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дегунова Н.Б., Шкодина Е.П. Агроэкосистемы с многолетними травами в кормопроизводстве Новгородской области. *Владимирский земледелец*. 2017; (3): 17–20. EDN ZGQFGVB
2. Сабирова Т.П., Сабиров Р.А., Шукин С.В., Соколов И.М., Ошкина Г.К. Продуктивность вико-овсяной смеси в кормовом севообороте при различных технологиях возделывания. *Владимирский земледелец*. 2018; (4): 33–37. <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2018-10038>
3. Сабирова Т.П., Лобанова А.А., Тихонов А.В., Трущенко А.А. Улучшенная технология производства кормов с высокой энергетической и протеиновой питательностью в зернотравяном севообороте при сохранении и повышении плодородия почвы. Ярославль: *Канцлер*. 2024; 177. ISBN 978-5-907966-12-3 EDN IZXCFCG
4. Покровская Е.В., Ефимова В.С. Динамика плодородия почв Новгородской области. *Плодородие*. 2003; (2): 13–14.
5. Виноградов Д.В., Зубкова Т.В. Влияние способов обработки почвы и биологических удобрений на урожайность ярового рапса и озимой пшеницы в условиях лесостепи. *Аграрный научный журнал*. 2023; (11): 21–28. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i11pp21-28>
6. Пилипенко Н.Г., Андреева О.Т., Сидорова Л.П., Харченко Н.Ю. Создание агроценозов кормовых культур для весеннего и раннелетнего использования в лесостепной зоне Забайкальского края. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2018; 48(4): 43–50. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-4-6>
7. Жариков М.Г., Салпагаров Р.Ю., Грунская В.П. Эффективность нового органоминерального удобрения «Арксойл» на посевах озимой пшеницы. *Актуальная биотехнология*. 2019; (3): 258–263. EDN YQUDEG
8. Тиранова Л.В. Влияние микробиологических и минеральных удобрений на качество кормов и плодородие почвы в Новгородской области. *Плодородие*. 2022; (2): 26–29. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.125.07>

### REFERENCES

1. Degunova N.B., Shkodina E.P. Agroecosystems with perennial grasses in forage production of Novgorod region. *Vladimir agriculturalist*. 2017; (3): 17–20 (in Russian). EDN ZGQFGVB
2. Sabirova T.P., Sabirov R.A., Shchukin S.V., Sokolov I.M., Oshkina G.K. Efficiency of the oat-vetch mixture in the fodder crop rotation by different cultivation technologies. *Vladimir agriculturalist*. 2018; (4): 33–37 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2018-10038>
3. Sabirova T.P., Lobanova A.A., Tikhonov A.V., Trushchenko A.A. Improved technology for the production of feed with high energy and protein nutrition in the grain crop rotation while maintaining and increasing soil fertility. Yaroslavl: *Kantsler*. 2024; 177 (in Russian). ISBN 978-5-907966-12-3 EDN IZXCFCG
4. Pokrovskaya E.V., Efimova V.S. Dynamics of soil fertility in the Novgorod region. *Plodorodie*. 2003; (2): 13–14 (in Russian).
5. Vinogradov D.V., Zubkova T.V. Influence of tillage methods and biological fertilizers on the yield of spring rapeseed and winter wheat in forest-steppe conditions. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023; (11): 21–28 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i11pp21-28>
6. Andreeva O.T., Pilipenko N.G., Sidorova L.P., Kharchenko N.Yu. Creation of agrocenoses of fodder crops for spring and early summer use in the foreststeppe zone of the Trans-Baikal Territory. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2018; 48(4): 43–50 (in Russian). <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2018-4-6>
7. Zharikov M.G., Salpagarov R.Yu., Grunskaya V.P. The effectiveness of the new organo-mineral fertilizer “Arksoil” on winter wheat crops. *Topical biotechnology*. 2019; (3): 258–263 (in Russian). EDN YQUDEG
8. Tiranova L.V. The influence of microbiological and mineral fertilizers on quantitative indicators of feed quality in the crop rotation link and soil fertility in the Novgorod region. *Plodorodie*. 2022; (2): 26–29 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.125.07>

9. Тиранова Л.В. Действие микробиологических удобрений «Арксоил Азот» и «Арксоил Фосфор» на продуктивность и питательную ценность зеленой массы редьки масличной в северо-западной зоне России. *Кормопроизводство*. 2025; (7): 22–26. EDN AQRJEQ
10. Рябченко Л.Н., Красникова К.Е., Федоров И.А. Эффективность препарата «Арксоил» ККР при выращивании мини-клубней картофеля. *Картофель и овощи*. 2024; (1): 31–32. EDN PWHLJH
11. Тиранова Л.В. Влияние биологических факторов на продуктивность и плодородие дерново-подзолистой почвы в усовершенствованном севообороте. *Плодородие*. 2024; (3): 83–86. <https://doi.org/10.24412/1994-8603-2024-3138-83-86>
12. Мельцаев И.Г. Полевое кормопроизводство — залог успешного развития животноводства и повышения плодородия почвы. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2017; (2): 5–9. EDN ZBEQUD
13. Коновалов А.В., Сабирова Т.П., Ильина А.В., Лобанова А.А., Тихонов А.В. Совершенствование технологии возделывания кормовых культур как основы устойчивого развития кормопроизводства в Ярославской области. *Кормопроизводство*. 2022; (7): 10–14. EDN BZPAMB
14. Бобренко И.А., Кормин В.П., Попова В.И., Чернявская М.А. Эффективность биоудобрений и стимуляторов роста при возделывании яровой пшеницы на агрочерноземе квазиглеевом. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2023; (11): 26–31. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-229-11-26-31>
15. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Серкова Г.А. Новые биоудобрения в технологии возделывания яровых зерновых культур. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2023; (2): 125–132. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-125-132>
16. Тиранова Л.В., Тиранов А.Б. Эффективность комплексного использования минеральных и микробиологических удобрений на урожайность озимой ржи в условиях Новгородской области. *Аграрная наука*. 2021; (2): 81–83. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-345-2-81-83>
9. Tiranova L.V. Effect of microbiological fertilizers “Arksoil Nitrogen” and “Arksoil Phosphorus” on the productivity and nutritional value of the green mass of *Raphanus sativus* L. in the north-western zone of Russia. *Kormoproizvodstvo*. 2025; (7): 22–26 (in Russian). EDN AQRJEQ
10. Ryabchenko L.N., Krasnikova K.E., Fedorov I.A. The effectiveness of the drug “Arksoil” KKR in the cultivation of potato mini tubers. *Potato and vegetables*. 2024; (1): 31–32 (in Russian). EDN PWHLJH
11. Tiranova L.V. The influence of biological factors on the productivity and fertility of sod-podzolic soil in an improved crop rotation. *Plodorodie*. 2024; (3): 83–86 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1994-8603-2024-3138-83-86>
12. Meltsaev I.G. Field fodder production — place successful livestock development and increase of soil fertility. *Agrarian journal of Upper Volga region*. 2017; (2): 5–9 (in Russian). EDN ZBEQUD
13. Konovalov A.V., Sabirova T.P., Iliina A.V., Lobanova A.A., Tikhonov A.V. Optimization of forage crop production as a basis for sustainable feed production in the Yaroslavl region. *Kormoproizvodstvo*. 2022; (7): 10–14 (in Russian). EDN BZPAMB
14. Bobrenko I.A., Kormin V.P., Popova V.I., Chernyavskaya M.A. Effectiveness of biofertilizers and growth promoters in spring wheat growing on quasi-gley agrochernozem. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2023; (11): 26–31 (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-229-11-26-31>
15. Sheshegova T.K., Shchekleina L.M., Serkova G.A. New biofertilizers in the technology of culturing spring grain crops. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023; (2): 125–132 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-125-132>
16. Tiranova L.V., Tiranov A.B. Efficiency of integrated use of mineral and microbiological fertilizers on winter rye yield in the Novgorod region. *Agrarian science*. 2021; (2): 81–83 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-345-2-81-83>

#### ОБ АВТОРАХ

##### Людмила Васильевна Тиранова

кандидат сельскохозяйственных наук,  
старший научный сотрудник  
tiranova.zevs1954@yandex.ru  
<https://orcid.org/000-0003-0277-3771>

##### Александр Владимирович Григорьев

старший научный сотрудник  
sashagr0003@mail.ru  
<https://orcid.org/000-0002-6093-0045>

Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра Российской академии наук,  
ул. Парковая, 2, дер. Борки, Новгородский р-н,  
Новгородская обл., 173516, Россия

#### ABOUT THE AUTHORS

##### Lyudmila Vasilyevna Tiranova

Candidate of Agricultural Sciences,  
Senior Researcher  
tiranova.zevs1954@yandex.ru  
<https://orcid.org/000-0003-0277-3771>

##### Alexander Vladimirovich Grigoriev

Senior Researcher  
sashagr0003@mail.ru  
<https://orcid.org/000-0002-6093-0045>

Novgorod Research Institute of Agriculture is a branch of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,

2 Parkovaya st., Borki Village, Novgorodsky District, Novgorod Region, 173516, Russia

## Динамика накопления олигосахаридов в процессе созревания семян сои

### РЕЗЮМЕ

Актуальным является исследование сортов зернового направления для оценки их потенциала использования в качестве овощной продукции.

**Цель исследования** — изучить накопление олигосахаридов (сахарозы, рафинозы и стахиозы) в зерне сои сортов селекции Всероссийского НИИ сои в процессе созревания между репродуктивными стадиями R6–R7. Установлено увеличение содержания сахарозы, рафинозы и стахиозы в процессе налива семян во всех исследуемых сортах. Сорта зернового направления Даурия и Евгения продемонстрировали более интенсивное накопление сахарозы по сравнению с Mikawashima. Предпочтительным периодом сбора зеленых бобов можно считать с 1-го по 14-й день фазы R6, при котором зеленые семена сои характеризовались оптимальным балансом между содержанием сахарозы и антипитательных олигосахаридов. В этот период содержание сахарозы в зерне сортов Даурия и Евгения составляло 2,74–3,65 г / 100 г и 2,59–4,44 г / 100 г, соответственно, суммарное содержание рафинозы и стахиозы ( $\Sigma$  ОСП) — 0,78–1,0 г / 100 г (Даурия) и 0,42–2,32 г / 100 г (Евгения), обеспечивая соотношение «сахароза —  $\Sigma$  ОСП» в диапазонах 3,51–3,65 (Даурия) и 6,17–1,91 (Евгения). Сорт Евгения, отобранный с 1-го по 7-й день после стадии R6, характеризуется наиболее благоприятным балансом «сахароза —  $\Sigma$  ОСП» (6,17–3,48) и представляется перспективным для дальнейших исследований с целью оценки его пригодности для овощного использования.

**Ключевые слова:** овощная соя, зерновая соя, углеводы, сахароза, рафиноза, стахиоза, соевые олигосахариды

**Для цитирования:** Загуменная Г.В., Кодирова Г.А. Динамика накопления олигосахаридов в процессе созревания семян сои. *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 82–88. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-82-88>

## Oligosaccharide accumulation dynamics during the ripening of soybean seeds

### ABSTRACT

The relevant to study grain-type varieties to assess their potential for use as vegetable products.

**The aim of the study** is to examine the oligosaccharide (sucrose, raffinose, and stachyose) accumulation in soybean grains of soybean varieties of the All-Russian Scientific Research Institute of Soybean during ripening between reproductive stages R6–R7. Increase in sucrose, raffinose and stachyose content during seed filling was found for all varieties. Grain-type varieties Dauriya and Evgeniya demonstrated more intensive sucrose accumulation compared to Mikawashima. The preferred harvesting period for green beans can be considered from the 1st to the 14th day of the R6 phase, during which green soybean seeds exhibited an optimal balance between sucrose content and antinutritional oligosaccharides. During this period, the sucrose content in grains of Dauria and Eugenia varieties was 2.74–3.65 g / 100 g and 2.59–4.44 g / 100 g, respectively, the total content of raffinose and stachyose ( $\Sigma$  OCP) was 0.78–1.0 g / 100 g (Dauria) and 0.42–2.32 g / 100 g (Eugenia), providing a sucrose —  $\Sigma$  ORS ratio in the ranges of 3.51–3.65 (Dauria) and 6.17–1.91 (Eugenia). The Evgeniya variety, selected from the 1st to the 7th day after the R6 stage, exhibits the most favorable “sucrose— $\Sigma$  ORS” balance (6.17–3.48) and appears promising for further research to assess its suitability for use as a vegetable product.

**Key words:** vegetable soybean, grain soybean, carbohydrates, sucrose, raffinose, stachyose, soy oligosaccharides

**For citation:** Zagumennaya G.V., Kodirova G.A. Oligosaccharide accumulation dynamics during the ripening of soybean seeds. *Agrarian science*. 2026; 404 (03): 82–88 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-82-88>

## Введение/Introduction

Бобовые культуры играют ключевую роль в обеспечении населения полноценным растительным белком и сложными углеводами, которые являются важными компонентами здорового питания. Среди разнообразия бобовых культур соя (*Glycine max* L.) занимает лидирующие позиции благодаря своему биохимическому составу и широкому спектру применения.

Соевое зерно характеризуется высоким содержанием белка, включающего все незаменимые аминокислоты, что делает его особенно ценным для людей, придерживающихся вегетарианского и веганского образа жизни. Помимо белка, соя богата сложными углеводами, пищевыми волокнами, витаминами группы *B*, *E*, *K*, а также минеральными веществами, такими как железо, кальций, магний, фосфор и калий [1, 2].

Благодаря богатому составу соя широко используется в пищевой промышленности для производства разнообразных продуктов, включая масло, молоко, тофу, йогурт, сыр и другие продукты, являющиеся важной альтернативой молочным и мясным продуктам. Кроме того, соя является ценным компонентом кормов для сельскохозяйственных животных [3–5].

По направлению использования сорта сои можно условно разделить на зерновые и овощные. Овощная соя (эдамамэ) является традиционной культурой в странах Восточной Азии, где она высоко ценится за свои крупные сочные бобы с нежной текстурой и сладковатым вкусом. Эта сладость обусловлена высоким содержанием сахарозы и низким уровнем антипитательных веществ, что делает эдамамэ более привлекательным для потребителей по сравнению с зерновыми сортами сои.

В настоящее время выращивание овощной сои стало популярным на континентах Америки, Европы и Африки. Овощная соя употребляется в свежем, замороженном, вареном и жареном виде в качестве овоща или закуски, а также используется как ингредиент в различных блюдах, таких как салаты, супы и гарниры [6, 7].

Основным фактором, определяющим различие между овощной и зерновой соей, является стадия зрелости при уборке урожая. Своевременная уборка овощной сои (эдамамэ) имеет определяющее значение для сохранения оптимального биохимического состава семян, обеспечивающего желаемые текстурные и вкусовые характеристики, поскольку пожелтение бобов указывает на нежелательные изменения, снижающие качество овощного продукта.

В отличие от зерновой сои, убираемой в фазу полной спелости (R8), овощные сорта сои убирают в фазу технической спелости между репродуктивными стадиями R6 и R7 (налив семян и начало их спелости). В этот период семена мягкие и зеленые, но уже налитые, а бобы еще свежие, но уже поддающиеся лущению (зрелость около 80%).

Такой подход позволяет избежать затвердевания семян, снижения сладости и накопления грубых волокон, что выгодно отличает вкус, текстуру и пищевую ценность овощной сои [8–10].

Исследования показывают, что содержание питательных веществ в зерне овощной сои может варьировать в зависимости от сорта, условий выращивания и степени зрелости на момент сбора урожая [11]. На стадии технической спелости в 100 г сырых зерен отмечается высокое содержание белка (около 13 г), железа (3,55 мг), витаминов *A* (9 мкг), *B<sub>1</sub>* (0,435 мг), *B<sub>2</sub>* (0,175 мг), *C* (29 мг), а также углеводов (до 8,32 г в 100 г сухой массы) [12–14].

Качество зерна сои, используемого в овощном направлении, во многом зависит от биохимических процессов, протекающих в период созревания. Эти процессы включают в себя синтез и накопление различных углеводов, которые влияют на вкус, текстуру и усвояемость. Накопление углеводов в семенах сои является сложным процессом, который регулируется различными факторами, включая стадию развития растения, условия выращивания и сортовые особенности [15].

В отличие от других бобовых культур, соевое зерно характеризуется относительно низким содержанием усвояемых углеводов, преобладающая фракция которых представлена нерастворимыми полисахаридами, в частности клетчаткой (3–7%), лигнином (около 2%) и гемицеллюлозой (1,3–6,5%). Фракция растворимых углеводов представлена моносахаридами (глюкоза и фруктоза — 0,7–1,5%), дисахаридом (сахароза — 3–9%), олигосахаридами семейства рафинозы (ОСР) (рафиноза — 0,3–1%, стахиоза — 3–6%). В сое данная группа олигосахаридов присутствует во всех частях растения, но в большинстве своем накапливается в семядолях. По мере созревания сои концентрация рафинозы (от фазы технической к биологической спелости) увеличивается более чем в 2 раза, а стахиозы — в 45–50 раз [8, 16, 17].

Соотношение сахарозы и ОСР является одним из основных факторов, определяющих пригодность сои для использования в овощном направлении. Высокое содержание сахарозы на стадии технической спелости в зерне овощной сои (4–11%) обеспечивает желаемый сладкий вкус [11, 18, 19]. Однако значительная концентрация ОСР, таких как стахиоза и рафиноза, являющихся неперевариваемыми углеводами, может снижать биодоступность питательных веществ. Таким образом, для зерна сои, используемого в продуктах питания (и особенно в овощной продукции), важен баланс между содержанием сахарозы и антипитательных олигосахаридов. Относительно низкие показатели антипитательных олигосахаридов при высоком содержании сахарозы играют определяющую роль в оценке пригодности соевого зерна как сырья для производства овощной продукции [20, 21].

Согласно данным, представленным в научной литературе, содержание рафинозы и стахиозы на стадии R6, как у зерновых, так и у овощных сортов сои, как правило, невелико, что может быть связано с низкой активностью раффинозосинтазы и стахиозосинтазы. В дальнейшем (по мере снижения содержания влаги и приближения к стадии биологической спелости) активность этих ферментов возрастает, что приводит к резкому увеличению содержания ОСП [13].

В связи с ограниченным числом специально выведенных сортов овощной сои, а также с их не всегда высокой адаптивностью к различным почвенно-климатическим условиям возрастает интерес к исследованию сортов сои зернового типа для их возможного использования в овощном направлении. Научные исследования подтверждают перспективность такого подхода [22]. Однако информация о практическом опыте выращивания и переработки зерновой сои в РФ как овощной культуры крайне ограничена. Имеются лишь единичные сведения об исследованиях, проводимых российскими учеными, на предмет изучения возможности и целесообразности ее возделывания на территории страны. Установлено, что некоторые сорта сои зернового направления обладают потенциалом для использования в овощном направлении благодаря своим вкусовым качествам и пищевой ценности, но существенно уступают овощным сортам по крупности бобов и семян [19, 23].

Несмотря на наличие отдельных исследований, проблема адаптации и использования сортов сои зернового направления в качестве овощной продукции остается недостаточно изученной, что создает определенные сложности для внедрения данной культуры в производство. Принимая во внимание отсутствие информации о существовании сортов сои российской селекции, предназначенных для овощного использования, целесообразно провести исследование содержания олигосахаридов в семенах сортов зернового типа в период созревания, поскольку сортовые особенности и оптимальные сроки сбора урожая являются ключевыми факторами, влияющими на качество овощных соевых бобов.

*Цели данного исследования* — определить оптимальные сроки уборки и оценить потенциал использования сортов сои зернового направления селекции ВНИИ сои в качестве овощной продукции (эдамамэ) за счет изучения динамики накопления ключевых олигосахаридов (сахарозы, рафинозы и стахиозы) в семенах в период их технической спелости (стадии R6–R7) и установления зависимости между биохимическим составом и вкусовыми качествами конечного продукта.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции и биохимического анализа ФНЦ ВНИИ сои. Объектами исследования были выбраны три сорта сои: два зернового направления (Даурия и Евгения), созданные во Всероссийском НИИ сои и внесенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ<sup>1</sup>, и сорт овощного направления Mikawashima (стандарт) японской селекции. Выбор сортов зернового направления был обусловлен следующими критериями: крупносемянность (масса 1000 семян > 160 г), количество семян в бобе (два и более), ярко-зеленые бобы со светло-серым опушением, светлая окраска семян и рубчика. Сорт Mikawashima был выбран в качестве стандарта, поскольку он является одним из наиболее распространенных сортов овощной сои и обладает хорошо изученными характеристиками [22].

Выращивание исследуемых сортов сои проводили в полевых условиях на селекционном участке Всероссийского НИИ сои в Амурской области. Почва опытного участка лугово-черноземовидная. Предшественник — зерновые культуры. Посев проводили широкорядным способом с междурядьями 45 см. Образцы высевали вручную в III декаде мая в 2023–2024 гг.

Агротехнические мероприятия по возделыванию сои включали следующие этапы: осенняя вспашка и боронование; весеннее дискование и внесение минеральных удобрений с культивацией; предпосевное внесение гербицида при бороновании; прикатывание и маркировка. В течение вегетации проводили междурядные культивации и ручные прополки. Отбор проб семян сои проводили в период созревания между репродуктивными стадиями развития R6–R7 в соответствии со шкалой Fehr and Caviness<sup>2</sup>. Образцы семян отбирали с интервалом в 7 дней — начиная с 1-го дня после визуального определения стадии R6 и до 28-го дня включительно (1, 7, 14, 21 и 28 дней) для каждого исследуемого сорта.

Определение содержания общих углеводов выполняли многомерным методом БИК-анализа с использованием анализатора FOSS NIRSystems 5000 (G.R.A.S. Sound & Vibration A/S, Дания), основанного на регистрации спектров отражения анализируемых проб в ближней инфракрасной области и сопоставлении связи между спектральными и референтными значениями. Для обеспечения точности результатов БИК-анализа предварительно была проведена калибровка прибора с использованием стандартных образцов с известными значениями. Интерпретацию

<sup>1</sup> Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1 Сорта растений (официальное издание). М.: Росинформагротех. 2020; 680.

<sup>2</sup> Fehr W.R., Caviness C.E., Burmood D.T., Pennington J.S. Stages of development descriptions for soybeans *Glycine max.* (L) Merr. *Crop Sci.* 1971; 11: 929–930.

[https://digitalcommons.usu.edu/bee\\_lab\\_er/302](https://digitalcommons.usu.edu/bee_lab_er/302)

спектров проводили по базовым градуировочным моделям с помощью программного обеспечения Vision 3.1 (FOSS Analytical F/S, Дания).

Определение содержания сахарозы, рафинозы и стахиозы выполняли методом капиллярного электрофореза на системе «Капель-205» (ООО «Люмэкс», РФ), оснащенной фотометрическим детектором. Анализ проводили в следующих условиях: кварцевый капилляр (длина 75 см, внутренний диаметр 50 мкм), длина волны детектирования 254 нм. Градуировочная характеристика устанавливалась с использованием градуировочных растворов в диапазоне: для сахарозы и стахиозы — 50–2000 мг/дм<sup>3</sup>, для рафинозы — 50–1000 мг/дм<sup>3</sup>. Идентификацию компонентов проводили по времени их выхода на электрофореграмме, которые являлись стабильными характеристиками и использовались для идентификации компонентов смеси олигосахаридов.

Методика подготовки проб включала последовательность следующих операций. В виолы с пробами добавляли 10 см<sup>3</sup> 70%-го метанола, затем пробы выдерживали на водяной бане в течение 15 минут. После охлаждения пробы подвергали центрифугированию при скорости 5000 об/мин в течение 5 минут. Далее — выпаривание надосадочной жидкости. Сухие остатки растворяли в дистиллированной воде и проводили повторное центрифугирование. Полученный центрифугат разбавляли двукратным объемом раствора тетрадецилтриметиламмония бромидом и проводили анализ полученной пробы.

В процессе исследования регистрировали по три электрофореграммы для каждой подготовленной пробы. Обработку полученных данных проводили с использованием программного обеспечения «Эльфран» (ООО «Люмэкс», РФ). Количественное определение массовой доли сахарозы, рафинозы и стахиозы осуществляли по площади пиков, которая была пропорциональна концентрации соответствующих веществ.

Статистическую обработку данных проводили с применением программного обеспечения Microsoft Excel 2010 (США) и Statistica 10. Для оценки статистической значимости использовали уровень  $p < 0,05$ . Результаты, полученные в трех повторностях, представлены как среднее значение и стандартное отклонение ( $M \pm SD$ , где  $M$  — среднее арифметическое значение,  $SD$  — стандартное отклонение).

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

В контексте использования сои в качестве овощной продукции содержание общих углеводов играет важную роль, определяя питательную ценность продукта.

Анализ данных показывает, что содержание общих углеводов в семенах сои увеличивается в период созревания (от R6 до R7) для всех исследуемых сортов (рис. 1). Это отражает естественный процесс накопления запасных веществ в семенах.

На начальном этапе (1-й день) содержание общих углеводов примерно одинаковое для всех сортов, но в процессе созревания зерна наблюдаются незначительные различия. К концу периода (28-й день) сорт Евгения демонстрирует наибольшее содержание в сухом веществе общих углеводов ( $30,92 \pm 0,89$  г / 100 г), за ним следуют Mikawashima ( $30,60 \pm 0,52$  г / 100 г) и Даурия ( $29,01 \pm 0,12$  г / 100 г). Несмотря на различия в абсолютных значениях, статистически значимой разницы в содержании общих углеводов между сортами не выявлено ( $p < 0,05$ ).

При относительной стабильности общего содержания углеводов фракционный анализ олигосахаридов позволил выявить существенные межсортовые различия (таблица 1). Накопление сахарозы, являющейся ключевым компонентом, определяющим вкусовые качества сои, наблюдалось для всех исследуемых сортов в процессе налива зерна. При этом наиболее интенсивный синтез сахарозы происходил в зерне сортов зернового направления: у Евгении (с  $2,59 \pm 0,05$  г/100 г в 1-й день до  $6,97 \pm 0,12$  г/100 г в 28-й день), у Даурии (с  $2,74 \pm 0,03$  г / 100 г в 1-й день до  $6,98 \pm 0,08$  г/100 г в 28-й день). У сорта овощного типа Mikawashima накопление сахарозы было менее выраженным (с  $2,44 \pm 0,02$  г / 100 г в 1-й день до  $5,44 \pm 0,07$  г / 100 г в 28-й день), что может быть связано с особенностями его генотипа.

Накопление рафинозы и стахиозы в семенах сои происходило одновременно с увеличением содержания сахарозы, демонстрируя сортовую специфичность в течение всего периода R6–R7. Для стандартного овощного сорта Mikawashima

**Рис. 1.** Содержание общих углеводов в зерне сои в период созревания (стадии R6–R7)

**Fig. 1.** The content of total carbohydrates in soybeans during the ripening period (stages R6–R7)

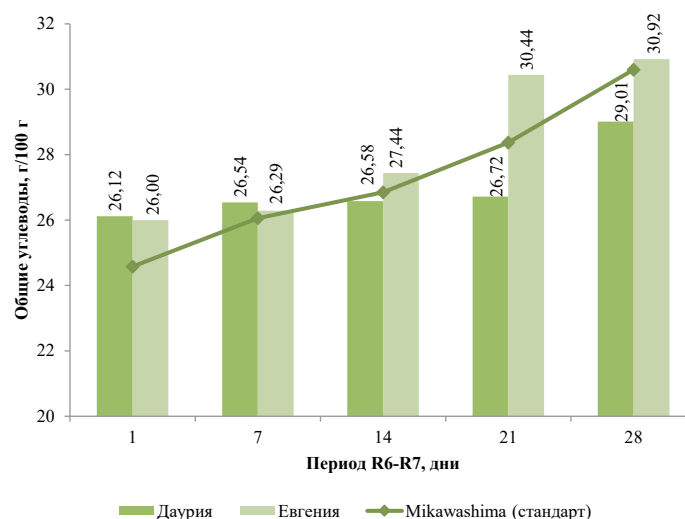


Таблица 1. Накопление олигосахаридов в зерне сои в период созревания (стадии R6–R7), г / 100 г

Table 1. Accumulation of oligosaccharides in soybean grain during the ripening period (stages R6–R7), g / 100 g

Сорт	Период R6–R7, дн.	Сахароза	Рафиноза	Стахиоза	Σ ОСП, г / 100 г	Соотношение сахароза/Σ ОСП
Mikawashima (стандарт)	1	2,44±0,02	0,09±0,00	0,00	0,09±0,01	21,11
	7	2,77±0,03	0,13±0,00	0,14±0,00	0,27±0,02	10,26
	14	3,30±0,05	0,17±0,00	0,19±0,00	0,36±0,01	9,17
	21	4,50±0,06	0,51±0,01	1,14±0,01	1,65±0,01	2,73
	28	5,44±0,07	0,77±0,01	2,48±0,02	3,25±0,02	1,67
Даурия	1	2,74±0,03	0,35±0,00	0,43±0,01	0,78±0,01	3,51
	7	3,28±0,03	0,36±0,01	0,48±0,01	0,84±0,01	3,90
	14	3,65±0,06	0,43±0,01	0,57±0,01	1,00±0,01	3,65
	21	4,03±0,08	0,63±0,01	2,00±0,01	2,63±0,01	1,53
	28	6,98±0,08	0,63±0,01	3,55±0,02	4,18±0,02	1,67
Евгения	1	2,59±0,05	0,20±0,00	0,22±0,00	0,42±0,01	6,17
	7	3,13±0,02	0,34±0,01	0,56±0,01	0,90±0,01	3,48
	14	4,44±0,03	0,57±0,01	1,75±0,01	2,32±0,01	1,91
	21	6,51±0,12	0,80±0,01	3,20±0,02	4,00±0,02	1,63
	28	6,97±0,12	0,86±0,01	3,30±0,06	4,16±0,04	1,68
НСР <sub>0,05</sub>		0,92	0,16	0,66	0,72	5,53

Примечание: Σ ОСП — общее содержание олигосахаридов семейства рафинозы.

характерно относительно медленное накопление рафинозы на начальных этапах налива зерна (0,09 ± 0,00 г / 100 г в 1-й день до 0,17 ± 0,00 г / 100 г в 14-й день) с последующим резким увеличением показателя к 21-му дню (до 0,51 ± 0,01 г / 100 г) и превышением исходных значений в 5,7 раза.

Для сортов Даурия и Евгения характерно более равномерное накопление рафинозы в течение периода налива зерна. Аналогичные различия наблюдали и в динамике накопления стахиозы. Содержание данного показателя в зерне сорта Mikawashima оставалось минимальным до 14-го дня (1-й день ниже предела обнаружения), после чего наблюдался интенсивный рост, достигая максимальных значений к концу периода налива (28-й день). Вместе с тем Даурия и Евгения характеризовались более высоким содержанием стахиозы на начальных этапах налива зерна, однако темпы накопления были относительно невысокими.

Межсортовые различия проявляются в скорости накопления и максимальных значениях Σ ОСП. Количественный анализ содержания рафинозы и стахиозы в зерне исследуемых сортов показал, что их суммарное содержание (Σ ОСП) в зерне сортов Даурия и Евгения, особенно с 1-го по 21-й день, превышало значения, зафиксированные для сорта Mikawashima. Так, максимальное превышение содержания Σ ОСП над сортом Mikawashima составляло 8,7 раза (1-й день) для сорта Даурия

и 6,4 раза (14-й день) для сорта Евгения. Статистический анализ (НСР<sub>0,05</sub> = 0,72) подтверждает достоверность выявленных различий между сортами и периодами исследования.

Учитывая, что для овощной сои важен баланс между содержанием сахарозы и антипитательных олигосахаридов, для оценки потенциала использования зерновых сортов в качестве овощной продукции был рассчитан показатель соотношения концентрации сахарозы к сумме ОСП (стахиоза + рафиноза). Анализ динамики изменения этого показателя в процессе налива зерна позволил выявить сортовые особенности, важные с практической точки зрения. Более высокие значения соотношения «сахароза — Σ ОСП» указывают на оптимизацию вкусовых и нутритивных характеристик овощной сои, проявляющихся в усилении сладкого вкуса и минимизации содержания антипитательных веществ, что в совокупности повышает потре-

бительскую ценность продукта.

Исследования показали, что сорт Mikawashima характеризуется оптимальным соотношением «сахароза — Σ ОСП» на ранних этапах налива зерна с 1-го по 14-й день после стадии R6 (21,11–9,17), однако в дальнейшем происходит значительное снижение этого показателя, связанное с интенсивным накоплением рафинозы и стахиозы. У Даурии данный показатель относительно стабильный с 1-го по 14-й день после стадии R6 (3,51–3,65), но значения в целом ниже, чем у овощного сорта Mikawashima. Сорт Евгения демонстрирует промежуточные значения между сортами Mikawashima и Даурия с оптимальным соотношением «сахароза — Σ ОСП» с 1-го по 7-й день (6,17–3,48), что может свидетельствовать о наиболее благоприятном сочетании вкусовых и диетических качеств.

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать вывод о необходимости оптимизации сроков уборки сои зернового направления, предназначенной для использования в качестве овощной продукции, с учетом сортовых особенностей.

### Выводы/Conclusions

Исследование показало, что содержание олигосахаридов (сахарозы, рафинозы и стахиозы) в зерне сои сортов зернового направления зависит от стадии созревания и сортовых особенностей.

Эти факторы оказывают влияние на качество овощной сои.

Наиболее интенсивный синтез сахарозы отмечен у сортов зернового направления. Выявлено, что соотношение сахарозы к сумме рафинозы и стахиозы («сахароза —  $\Sigma$  ОСР») изменяется в процессе созревания и зависит от генотипа.

Для достижения оптимального баланса между содержанием сахарозы и антипитательных олигосахаридов целесообразно рассматривать уборку

исследуемых сортов с 1-го по 14-й день стадии налива семян. Сорт Евгения (с учетом высокого потенциала для накопления сахарозы и относительно невысокого содержания антипитательных олигосахаридов) представляется наиболее перспективным для дальнейших исследований.

Таким образом, исследование подтвердило значимость сортовых особенностей и оптимальной стадии созревания для повышения качества овощной продукции из зерновой сои.

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

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

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Денисова Д.А., Жаркова С.В. Влияние сорта и условий возделывания на урожайность сои в Бийско-Чумышской зоне Алтайского края. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2025; (1): 5–10. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-243-1-5-10>
- Поморова Ю.Ю., Пятковский В.В., Серова Ю.М. Биохимический состав семян сортов сои, возделываемых в различных регионах России, и аспекты его биологической ценности (обзор). *Масличные культуры*. 2023; (4): 84–96. <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2023-4-196-84-96>
- Березина Н.А., Хмелева Е.В., Евдокимова О.В., Самофалова Л.А. Применение сои и продуктов ее переработки в перерабатывающей и пищевой промышленности. *Биология в сельском хозяйстве*. 2023; (3): 25–37. <https://elibrary.ru/eceyji>
- Скрипко О.В. Разработка технологии консервов из сои. *Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы. Сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции*. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2023; 632–635. <https://elibrary.ru/sxdcyq>
- Стаценко Е.С., Пензин А.А., Усанов В.С. Анализ использования соевого зерна при создании обогащающих добавок и продуктов пищевого и кормового назначения. *Вестник КрасГАУ*. 2024; (8): 203–218. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-8-203-218>
- Casas-Leal N.E., Pereira F.A.C., Vello N.A. Improvement of vegetable soybean: genetic diversity and correlations of traits between immature and mature plants. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2022; 22(1): e40052218. <https://doi.org/10.1590/1984-70332022v22n1a08>
- Krasnova I., Segliņa D., Juhņeviča-Radenkova K., Lepse L., Zeipiņa S. The effect of ozonated water on changes in the quality of blanched edamame during cold storage. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2022; 25: e2021140. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.14021>
- Шафигуллин Д.Р., Гинс М.С., Романова Е.В. Изучение накопления углеводов и фотосинтетических пигментов в листьях и семенах сои овощной (*Glycine max* L.). *Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. Сборник трудов VII научной конференции с международным участием*. М.: ВИЛАР. 2019; 12: 125–132. <https://elibrary.ru/dorpug>
- Kumar V., Rani A., Goyal L., Pratap D., Billore S.D., Chauhan G.S. Evaluation of Vegetable-Type Soybean for Sucrose, Taste-Related Amino Acids, and Isoflavones Contents. *International Journal of Food Properties*. 2011; 14(5): 1142–1151. <https://doi.org/10.1080/10942911003592761>
- Yu D. et al. Physical and chemical properties of edamame during bean development and application of spectroscopy-based machine learning methods to predict optimal harvest time. *Food Chemistry*. 2022; 368: 130799. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130799>
- Zeipina S., Alsiņa I., Lepse L. Insight in edamame yield and quality parameters: A review. *Research for Rural Development*. 2017; 2: 40–45. <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.047>

### REFERENCES

- Denisova D.A., Zharkova S.V. Influence of variety and growing conditions on soybean yields in the Biya-Chumysh zone of the Altai Region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2025; (1): 5–10 (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2025-243-1-5-10>
- Pomorova Yu.Yu., Pyatovsky V.V., Serova Yu.M. Biochemical composition of soybean seeds produced in various regions of Russia and aspects of its biological value (review). *Oil Crops*. 2023; (4): 84–96 (in Russian). <https://doi.org/10.25230/2412-608X-2023-4-196-84-96>
- Berezina N.A., Khmeleva E.V., Evdokimova O.V., Samofalova L.A. Application of soy and its processed products in the processing and food industry. *Biology in Agriculture*. 2023; (3): 25–37 (in Russian). <https://elibrary.ru/eceyji>
- Skrpko O.V. Development of technology for canned soybeans. *Agro-industrial sector: status, problems, prospects. Proceedings of the XVIII International scientific and practical conference*. Penza: Penza State Agrarian University. 2023; 632–635 (in Russian). <https://elibrary.ru/sxdcyq>
- Statsenko E.S., Penzin A.A., Usanov V.S. Soy bean grain use analysis in making enriching additives and alimentary and feed products. *Bulletin of KSAU*. 2024; (8): 203–218 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-8-203-218>
- Casas-Leal N.E., Pereira F.A.C., Vello N.A. Improvement of vegetable soybean: genetic diversity and correlations of traits between immature and mature plants. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 2022; 22(1): e40052218. <https://doi.org/10.1590/1984-70332022v22n1a08>
- Krasnova I., Segliņa D., Juhņeviča-Radenkova K., Lepse L., Zeipiņa S. The effect of ozonated water on changes in the quality of blanched edamame during cold storage. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2022; 25: e2021140. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.14021>
- Shafigullin D.R., Gins M.S., Romanova E.V. The study of the of carbohydrates and photosynthetic pigments accumulation in leaves and seeds of vegetable soybean (*Glycine max* L.). *Modern Trends in the development of health-preserving technologies. Proceedings of the VII scientific conference with international participation*. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants. 2019; 12: 125–132 (in Russian). <https://elibrary.ru/dorpug>
- Kumar V., Rani A., Goyal L., Pratap D., Billore S.D., Chauhan G.S. Evaluation of Vegetable-Type Soybean for Sucrose, Taste-Related Amino Acids, and Isoflavones Contents. *International Journal of Food Properties*. 2011; 14(5): 1142–1151. <https://doi.org/10.1080/10942911003592761>
- Yu D. et al. Physical and chemical properties of edamame during bean development and application of spectroscopy-based machine learning methods to predict optimal harvest time. *Food Chemistry*. 2022; 368: 130799. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130799>
- Zeipina S., Alsiņa I., Lepse L. Insight in edamame yield and quality parameters: A review. *Research for Rural Development*. 2017; 2: 40–45. <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.047>

12. Мульо Панолуиса Ф.Э., Дьюф Д.Ш., Семенова Н.А., Романова Е.В. Основные характеристики сои овощной (*Glycine max* L. Merr.). *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2023; (1): 33–38. <https://doi.org/10.32935/2221-7312-2023-55-1-33-38>
13. Nair R.M. *et al.* Global Status of Vegetable Soybean. *Plants*. 2023; 12(3): 609. <https://doi.org/10.3390/plants12030609>
14. Pavlović N., Dolijanović Ž., Simić M., Kaitović Ž., Dragičević V., Brankov M. Edamame — Vegetable Crop of The Future: Production Challenges And Chemical Profile. *Agriculture and Forestry*. 2024; 70(3): 141–162. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.70.3.10>
15. Qi J. *et al.* Profiling seed soluble sugar compositions in 1164 Chinese soybean accessions from major growing ecoregions. *The Crop Journal*. 2022; 10(6): 1825–1831. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.04.015>
16. Кодирова Г.А., Загуменная Г.В., Низкий С.Е. Межсортовые различия содержания олигосахаридов в зерне сои. *Аграрный вестник Урала*. 2024; 24(10): 1312–1321. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1312-1321>
17. Kumar V. *et al.* Sucrose and Raffinose Family Oligosaccharides (RFOs) in Soybean Seeds As Influenced by Genotype and Growing Location. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010; 58(8): 5081–5085. <https://doi.org/10.1021/jf903141s>
18. Jamison D.R., Chen P., Hettiarachchy N.S., Miller D.M., Shakiba E. Identification of Quantitative Trait Loci (QTL) for Sucrose and Protein Content in Soybean Seed. *Plants*. 2024; 13(5): 650. <https://doi.org/10.3390/plants13050650>
19. Вишнякова М.А. и др. Исходный материал для селекции овощных бобовых культур в коллекции ВИР. *Овощи России*. 2013; (1): 16–25. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-16-25>
20. Banti M. Raffinose Family Oligosaccharides, Occurrence in Food Materials, Nutritional Implication and Methods of Analysis, a Review. *World Journal of Food Science and Technology*. 2021; 5(3): 37–44. <https://doi.org/10.11648/j.wjfst.20210503.11>
21. Elango D. *et al.* Raffinose Family Oligosaccharides: Friend or Foe for Human and Plant Health?. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 829118. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.829118>
22. Ribera L.M., Filho A.B.C., Fernandes G.d.C., Aires E.S., da Silva M.L., Bonfim F.P.G. From a nutraceutical and anti-nutritional perspective, can a grain soybean cultivar be used as vegetable soybean?. *Ciência Rural*. 2024; 54(12): e20230518. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20230518>
23. Литвиненко О.В., Корнева Н.Ю., Литвиненко А.А. Сравнительная оценка некоторых физических показателей сои зернового и овощного типов. *Аграрная наука*. 2025; (8): 98–103. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-98-103>

## ОБ АВТОРАХ

**Галина Викторовна Загуменная**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
kgv@vniiso.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6074-902X>

**Галина Александровна Кодирова**

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник  
kga@vniiso.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2414-5699>

Всероссийский научно-исследовательский институт сои,  
Игнатьевское шоссе, 19, Благовещенск, 675027, Россия

12. Mullo Panoluisa F.E., Diouf D.C., Semonova N.A., Romanova E.V. Main Characteristics of Vegetable Soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Theoretical & Applied Problems of Agro-Industry*. 2023; (1): 33–38 (in Russian). <https://doi.org/10.32935/2221-7312-2023-55-1-33-38>

13. Nair R.M. *et al.* Global Status of Vegetable Soybean. *Plants*. 2023; 12(3): 609. <https://doi.org/10.3390/plants12030609>

14. Pavlović N., Dolijanović Ž., Simić M., Kaitović Ž., Dragičević V., Brankov M. Edamame — Vegetable Crop of The Future: Production Challenges And Chemical Profile. *Agriculture and Forestry*. 2024; 70(3): 141–162. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.70.3.10>

15. Qi J. *et al.* Profiling seed soluble sugar compositions in 1164 Chinese soybean accessions from major growing ecoregions. *The Crop Journal*. 2022; 10(6): 1825–1831. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.04.015>

16. Kodirova G.A., Zagumennaya G.V., Nizky S.E. Inter-varietal differences in soybean grain oligosaccharide content. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24(10): 1312–1321 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-10-1312-1321>

17. Kumar V. *et al.* Sucrose and Raffinose Family Oligosaccharides (RFOs) in Soybean Seeds As Influenced by Genotype and Growing Location. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010; 58(8): 5081–5085. <https://doi.org/10.1021/jf903141s>

18. Jamison D.R., Chen P., Hettiarachchy N.S., Miller D.M., Shakiba E. Identification of Quantitative Trait Loci (QTL) for Sucrose and Protein Content in Soybean Seed. *Plants*. 2024; 13(5): 650. <https://doi.org/10.3390/plants13050650>

19. Vishnyakova M.A. *et al.* The initial material for grain legumes breeding in the collection of VIR. *Vegetable crops of Russia*. 2013; (1): 16–25 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2013-1-16-25>

20. Banti M. Raffinose Family Oligosaccharides, Occurrence in Food Materials, Nutritional Implication and Methods of Analysis, a Review. *World Journal of Food Science and Technology*. 2021; 5(3): 37–44. <https://doi.org/10.11648/j.wjfst.20210503.11>

21. Elango D. *et al.* Raffinose Family Oligosaccharides: Friend or Foe for Human and Plant Health?. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 829118. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.829118>

22. Ribera L.M., Filho A.B.C., Fernandes G.d.C., Aires E.S., da Silva M.L., Bonfim F.P.G. From a nutraceutical and anti-nutritional perspective, can a grain soybean cultivar be used as vegetable soybean?. *Ciência Rural*. 2024; 54(12): e20230518. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20230518>

23. Litvinenko O.V., Korneva N.Yu., Litvinenko A.A. Comparative assessment of some physical indicators of grain and vegetable soybeans. *Agrarian science*. 2025; (8): 98–103 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-98-103>

## ABOUT THE AUTHORS

**Galina Viktorovna Zagumennaya**

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher  
kgv@vniiso.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6074-902X>

**Galina Alexandrovna Kodirova**

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher  
kga@vniiso.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2414-5699>

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean,  
19 Ignatievskoe shosse, Blagoveshchensk, 675027, Russia

УДК 631.445.4:633.34

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-89-94

Е.В. Дубовик

Д.В. Дубовик ✉

Ю.М. Мясоедов

П.П. Дураков

Курский федеральный аграрный  
научный центр, Курск, Россия

✉ dubovikdm@yandex.ru

Поступила в редакцию: 20.01.2026

Одобрена после рецензирования: 10.02.2026

Принята к публикации: 26.02.2026

© Дубовик Е.В., Дубовик Д.В.,  
Мясоедов Ю.М., Дураков П.П.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-89-94

Elena V. Dubovik

Dmitriy V. Dubovik ✉

Yurij M. Myasoedov

Petr P. Durakov

Federal Agricultural Kursk Research  
Center, Kursk, Russia

✉ dubovikdm@yandex.ru

Received by the editorial office: 20.01.2026

Accepted in revised: 10.02.2026

Accepted for publication: 26.02.2026

© Dubovik E.V., Dubovik D.V.,  
Myasoedov Y.M., Durakov P.P.

## Биологические свойства чернозема типичного при различных технологиях возделывания сои

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Статья посвящена изучению влияния различных технологий возделывания сои на биологическую активность чернозема типичного (*Haplic Chernozems*).

**Методы.** Исследования по изучению биологических свойств почвы проведены в полевом стационарном опыте по влиянию агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур, основанных на различных способах обработки почвы в ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в 2021–2025 гг. Изучаемые технологии возделывания сои – традиционная, дифференцированная, минимальная и прямой посев.

Для оценки эколого-биологического состояния почвы был использован интегральный показатель биологического состояния.

**Результаты.** В результате проведенных исследований было установлено, что с повышением степени минимизации обработки почвы в слое 0–20 см увеличивается содержание углерода микробной биомассы, целлюлозоразлагающая активность, общее число микроорганизмов с максимальным значением этих показателей при технологии прямого посева. Биологическая активность по показателю целлюлозоразлагающая активность согласно классификации Д.Г. Звягинцева оценивалась как средняя при прямом посеве, а при остальных технологиях как слабая. Оценка биологического состояния чернозема типичного по интегральному показателю (ИПБС) показала его максимальное значение при прямом посеве, и в соответствии с технологией возделывания сои его значение снижалось в ряду: минимальная технология → традиционная технология → дифференцированная технология. Снижение интегрального показателя биологического состояния почвы при традиционной и дифференцированной технологиях свидетельствует о нарушении ряда экологических функций выполняемых почвой.

**Ключевые слова:** чернозем типичный, слои почвы, микробная биомасса, биологическая активность, общее микробное число, технология возделывания сои

**Для цитирования:** Дубовик Е.В., Дубовик Д.В., Мясоедов Ю.М., Дураков П.П. Биологическая активность чернозема типичного при различных технологиях возделывания сои. *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 89–94.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-89-94>

## Biological activity of typical chernozem under Different Cultivation Technologies

### ABSTRACT

**Relevance.** The article is devoted to the influence of different technologies of soybean cultivation on the biological properties of typical Chernozems (*Haplic Chernozems*).

**Methods.** Research on the study of biological activity of soil was conducted in a field stationary experiment on the influence of agricultural technologies for cultivating crops based on various methods of soil treatment at the Kursk Federal Research Center in 2021–2025. The technologies studied for cultivating soybeans include traditional, differentiated, minimum, and direct sowing.

**Results.** As a result of the conducted research, it was found that with an increase in the degree of soil processing minimization in the 0–20 cm layer, the content of microbial biomass carbon, cellulose-degrading activity, and the total number of microorganisms increase, with the maximum values of these indicators observed in the case of direct sowing technology. According to the classification of D.G. Zvyagintsev, the biological activity in terms of cellulose-degrading activity was assessed as average in the case of direct sowing, and as weak in the other technologies. The assessment of the biological state of typical chernozem using the integral indicator (IPBS) showed its maximum value in direct sowing, and according to the soybean cultivation technology, its value decreased in the following order: minimum technology → traditional technology → differentiated technology. The decrease in the integral indicator of the biological state of the soil under traditional and differentiated technologies indicates a violation of several ecological functions performed by the soil.

**Key words:** typical chernozem, soil layers, microbial biomass, biological activity, total microbial number, soybean cultivation technology

**For citation:** Dubovik E.V., Dubovik D.V., Myasoedov Y.M., Durakov P.P. Biological activity of typical chernozem under Different Cultivation Technologies. *Agrarian science*. 2026; 404 (03): 89–94 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-89-94>

## Введение/Introduction

Самыми плодородными почвами в мире являются черноземы. В России, по данным FAO, по состоянию на 2022 г. черноземные почвы занимают 327 млн. га, что составляет 45% от общей площади этих почв<sup>1</sup>. На черноземных почвах производится около 75% валовой продукции зерновых культур и 50% продукции животноводства [1].

К числу важнейших и широко востребованных масличных культур в мире относится соя. Зерно сои содержит от 37 до 45% белка, более 28% жира и около 30% углеводов, благодаря такому составу из сои производят продукты питания с высоким содержанием белка, а отходы производства используются в комбикормах для животных [2, 3]. Производство сои является одним из приоритетных направлений развития АПК в 46 субъектах РФ [4]. Курская область по посевам сои в России заняла 2-е место, за 2024–2025 гг. они составляли 428,8–418,2 тыс. га.<sup>2</sup>

В настоящее время изучаются технологии возделывания сои, включающие в себя ряд мероприятий по повышению ее урожайности и качества. Одним из важнейших элементов технологии является обработка почвы [2, 5]. Обработка черноземов приводит к изменению физико-химических свойств, а также воздушного, водного и питательного режима [6], следовательно, к изменению показателей почвенного плодородия.

Уровень плодородия черноземов определяется в первую очередь содержанием в них органического вещества [7]. При этом процессы гумусообразования тесно связаны с биологической активностью почвы, обуславливающей процессы разложения растительных остатков и их последующей гумификации [8].

Интенсивное сельскохозяйственное использование земель приводит к изменению активности и направленности микробиологических процессов, смене состава микробного сообщества, что на ранних этапах интенсифицирует минерализационные процессы [9]. Возрастающая антропогенная нагрузка на черноземы приводит к процессам их деградации [10], которые в первую очередь проявляются в изменении содержания органического вещества [11], активности и направленности микробиологических процессов, снижении уровня биологической активности [12].

Для сохранения плодородия черноземных почв необходимо применение почвозащитных технологий возделывания сельскохозяйственных

культур [13–15], ориентированных на поддержание и воспроизводство органического вещества, активизацию биологических процессов в почвах [16].

*Целью исследований* являлось изучение биологической активности чернозема типичного при различных технологиях возделывания сои.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

В полевом стационарном опыте по изучению агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур, основанных на различных способах обработки почвы, в ФГБНУ «Курский ФАНЦ федеральный аграрный научный центр» (Россия, Курская область, Курский район, п. Черемушки) было проведено исследование биологических свойств чернозема типичного.

Опыт по агротехнологиям был заложен в 2015 году в 4-х полевом зерновом севообороте, развернутом в пространстве 4 полями, со следующим чередованием культур: горох — озимая пшеница — соя — яровой ячмень.

Размещение вариантов в опыте было систематическим в один ярус. Площадь посевной делянки 6000 м<sup>2</sup> (60×100), 3-х кратная повторность. Исследования проведены в посевах сои сорта Осмонь, районированного для региона. Посев проводился сеялками СЗ-5,4 (ООО «Завод СельМашДеталь», Россия) и ДОН-114 (ООО «Новые Агро-инженерные решения», Россия).

В течение периода вегетации уход за посевами осуществлялся в соответствии изучаемой технологии возделывания сои (табл. 1).

Определение влажности почвы — по ГОСТ 28268-89<sup>3</sup>, общего гумуса — ГОСТ 26213-91<sup>4</sup>, рН солевой вытяжки — ГОСТ 26483-85<sup>5</sup>.

Определение биологической активности чернозема типичного изучали аппликационным методом по разложению льняного полотна, которое было заложено в прегенеративный период развития растений в третий-четвертый этап органогенеза, срок экспозиции составлял 30–35 дней<sup>6</sup>.

Степень интенсивности разрушения клетчатки (целлюлозолитическая активность) оценивалась по шкале Д.Г. Звягинцева<sup>7</sup>, исходя из следующей градации: < 10% — очень слабая, 10–30% — слабая, 30–50% — средняя, 50–80% — сильная, > 80% — очень сильная. Определение микробной биомассы проводилось регидратационным методом<sup>8</sup>.

<sup>1</sup> FAO. 2022 Global status of black soils. Rome.

<https://doi.org/10.4060/cc3124en>

<sup>2</sup> ООО «Ассет», газета «АгроНовости» от 28.09.2025 года

<sup>3</sup> ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений.

<sup>4</sup> ГОСТ 26213-2021 Почвы. Методы определения органического вещества

<sup>5</sup> ГОСТ 26483-85 Почвы. Определение рН солевой вытяжки, обменной кислотности, обменных катионов, содержания нитратов, обменного аммония и подвижной серы методами ЦИНАО.

<sup>6</sup> Доспехов Б.А. и др. Практикум по земледелию. М.: Агропромиздат. 1987; 383.

<sup>7</sup> Звягинцева Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии: учеб. пособие. М: МГУ. 1991; 304

<sup>8</sup> Благодатский С.А., Благодатская Е.В., Горбенко А.Ю., Паников Н.С. Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве / Почвоведение. 1987; №7: 64–71

Таблица 1. Содержание элементов агротехнологий возделывания сои

Table 1. Content of winter wheat cultivation technologies

Элемент технологий	Технология			
	Традиционная	Дифференцированная	Минимальная	Прямой посев
Основная обработка почвы	Отвальная обработка (вспашка на 23–25 см)	Безотвальная обработка (чизелевание на 20–22 см)	Поверхностная обработка (дискование на 6–8 см)	Без обработки
Прием и доза внесения минеральных удобрений в д.в., кг/га	Основное внесение N <sub>17</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub> и подкормка N <sub>34</sub> в фазе 3-го тройчатого листа			Основное внесение N <sub>17</sub> P <sub>19</sub> K <sub>19</sub> и припосевное N <sub>10</sub> P <sub>26</sub> K <sub>26</sub> и подкормка N <sub>34</sub> в фазе 3-го тройчатого листа
Способ, срок и норма посева	Рядовой посев (междурядья 15 см) при прогреве почвы до +10–12 °С с нормой высева 600 тыс. шт./га			Рядовой посев (междурядья 21 см) при прогреве почвы до +10–12 °С с нормой высева 500 тыс. шт./га
Защита растений	Интегрированная, сочетающая систему обработки почвы с применением схемы защиты сои			Химическая (обработка сорняков гербицидами сплошного действия осенью и весной с применением схемы защиты сои)

Общее микробное число микроорганизмов определялось чашечным методом на МПА<sup>9</sup>. Отбор почвенных образцов для определения в них влажности, общего гумуса, рН, микробной биомассы, общего микробного числа микроорганизмов проводился в прегенеративный период развития растений в третий-четвертый этап органогенеза по диагонали делянки из 5 точек буром по слоям 0–10 см и 10–20 см.

Для оценки эколого-биологического состояния почвы был использован интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) [17]:

$$B_1 = (B_x / B_{\max}) \times 100\%, \quad (1)$$

где  $B_1$  — относительный балл показателя,  $B_x$  — фактическое значение показателя,  $B_{\max}$  — максимальное значение показателя.

$$\text{ИПБС} = (B_{\text{ср}} / B_{\text{ср.макс}}) \times 100\%, \quad (2)$$

где  $B_{\text{ср}}$  — средний оценочный балл всех показателей,  $B_{\text{ср.макс}}$  — максимальный оценочный балл всех показателей.

При расчете ИПБС были включены следующие показатели: влажность почвы, содержание гумуса, рН, микробная биомасса, целлюлозолитическая активность, общее число микроорганизмов.

В работе представлены средние данные за вторую ротацию севооборота. Статистическая обработка данных проведена и по Б.А. Доспехову<sup>6</sup> с использованием программ Microsoft Excel (США).

Оценка корреляционной зависимости была проведена по шкале Чеддока<sup>10</sup> включающей в себя следующую

градацию: 0,1–0,3 — слабая; 0,3–0,5 — умеренная; 0,5–0,7 — заметная; 0,7–0,9 — высокая; 0,9–0,99 — весьма высокая.

### Результаты и обсуждение / Results and discussion

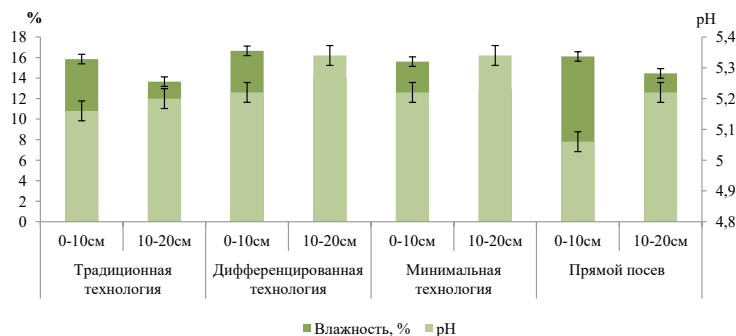
Интенсивность и направленность биологических и биохимических процессов определяется такими важными показателями, как влажность и рН почвенной среды (рисунок 1).

Влажность почвы при дифференцированной технологии в слое 0–10 см была преобладающей (16,65%) и с учетом изучаемых технологий снижалась в ряду: прямой посев (16,10%) → традиционная технология (15,85%) → минимальная технология (15,60%). При минимальной технологии в слое 10–20 см влажность почвы была ниже на 3–10% по сравнению другими технологиями. Влажность чернозема типичного в слое 0–10 см была на 10–17% выше, чем в слое 10–20 см независимо от технологии возделывания сои ( $\text{НСР}_{05} = 0,73$ ).

За период исследований рН почвенного раствора составляла от 5,06 до 5,34 (рис. 1). В то же время отмечается существенный рост рН в

Рис. 1. Гистограмма влажности и рН чернозема типичного при возделывании сои (планки погрешности стандартного отклонения)

Fig. 1. Histogram of moisture content and pH of typical black soil used for soybean cultivation (standard deviation is shown as a scatter)



<sup>9</sup> Терещенко Н.Н., Акимова Е.Е., Минаева О.М. Практикум по микробиологии для оценки плодородия почвы и качества грунтов: Учебно-методическое пособие для студ. биол. специальностей. Томск: ТГУ. 2011; 96.

<sup>10</sup> Кремлев А.Г. Математика. Раздел «Статистика». Екатеринбург: УрГЮА. 2001; 140.

слое 10–20 см по отношению к слою почвы 0–10 см при минимизации обработки почвы на 0,12–0,16 ед. ( $HC_{P_{05}} = 0,08$ ). При традиционной технологии возделывания сои различия в pH почвенного раствора по слоям чернозема типичного существенно не изменялись, и данная разность составляла 0,04 ед.

Биологические свойства почвы находятся в тесной взаимосвязи с гумусом. При возделывании сои при различных технологиях установлено существенное изменение гумуса ( $HC_{P_{05}} = 0,12$ ) (рисунок 2).

Анализ содержания гумуса по слоям почвы показал его превалирование в слое 0–10 см по отношению к слою 10–20 см на 4–6 % при технологиях, ориентированных на минимизацию обработки почвы ( $HC_{P_{05}} = 0,09$ ). Это свидетельствует о роли пожнивно-корневых остатков в верхнем слое почвы ( $r = 0,94$ ). При традиционной технологии содержание гумуса по слоям практически не изменялось и составляло 5,04–5,08%.

Одним из важных биологических показателей почвенного плодородия является микробная биомасса, которая выступает в качестве раннего индикатора происходящих изменений в почве.

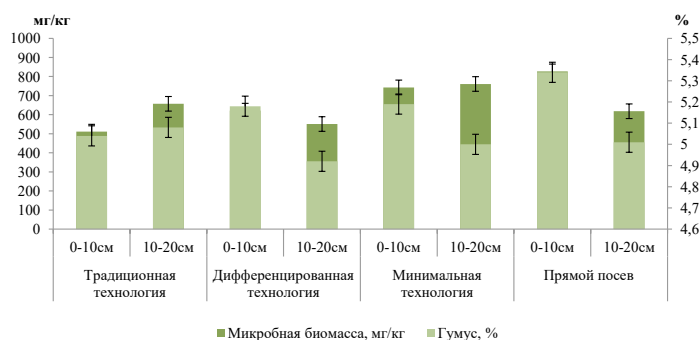
На рисунке 2 представлено содержание микробной биомассы при различных технологиях возделывания сои. Установлено, что в слое 0–20 см количество микробной биомассы при минимальной технологии и прямом посеве было выше на 19–22%, по отношению к традиционной и дифференцированной технологиям. Вместе с этим микробная биомасса в слое 0–10 см при прямом посеве по отношению к слою 10–20 см увеличивалась в 1,3 раза, это может свидетельствовать о роли микроорганизмов в процессе разложения пожнивно-корневых остатков ( $r = 0,91$ ).

Поскольку при технологии прямого посева пожнивно-корневые остатки не заделываются в почву, а остаются на поверхности и представляют собой комплексный питательный и энергетический субстрат для большинства микроорганизмов [18], что и приводит к росту микробной биомассы. Такие же закономерности увеличения микробной биомассы на 30–65% при поступлении растительных остатков в почву наблюдали в своих исследованиях Семенов В.М. и Ходжаева А.К (2006) [19].

Процессы минерализации и деструкции в почве определяет целлюлозоразлагающая активность почв, и ее определение особенно актуально при изучении различных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, основанных на способах обработки почвы с применением минимальных обработок и без обработки, т. е. прямого посева, когда в почву поступает большое количество растительных остатков. В слое 0–20 см целлюлозоразлагающая активность была превалирующей при прямом посеве (31,94) и в соответствии с технологией возделывания,

**Рис. 2.** Гистограмма гумуса и микробной биомассы чернозема типичного при различных технологиях возделывании сои (планки погрешности стандартного отклонения)

**Fig. 2.** Histogram of humus and microbial biomass of typical chernozem under different soybean cultivation technologies (standard deviation is shown as a scatter)



ее содержание снижалось в ряду: минимальная (20,40%) → традиционная (20,29%) → дифференцированная (14,26%). При этом биологическая активность по данному показателю, согласно классификации Д.Г. Звягинцева, оценивалась как средняя при прямом посеве, а при остальных технологиях как слабая.

Оценка уровня микробиологической активности чернозема типичного, определяемая значением общего микробного числа микроорганизмов, показала, что оно в среднем в слое 0–20 см растет, по мере повышения уровня минимизации обработки почвы, с максимумом при прямом посеве –  $20,14 \times 10^6$  КОЕ/г (табл. 2).

При традиционной и дифференцированной технологиях общее микробное число было выше в слое 0–10 см на  $12,85$  и  $13,10 \times 10^6$  КОЕ/г, чем в слое 10–20 см. При минимальной технологии и прямом посеве, наоборот, в слое 0–10 см наблюдается снижение общего микробного числа относительно слоя 10–20 см на  $15,04$  и  $9,54 \times 10^6$  КОЕ/г соответственно.

Для сравнения биологических свойств и оценки биогенности чернозема типичного был рассчитан интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС). Максимальное значение интегрального показателя биологического состояния

**Таблица 2.** Влияние технологии возделывания сои на общее микробное число микроорганизмов в черноземе типичном

**Table 2.** The effect of soybean cultivation technology on the total microbial number of microorganisms

Технология	Слой почвы, см	(КОЕ × 10 <sup>6</sup> )/г
Традиционная	0–10	$19,77 \times 10^6$
	10–20	$6,92 \times 10^6$
Дифференцированная	0–10	$21,10 \times 10^6$
	10–20	$8,0 \times 10^6$
Минимальная	0–10	$9,35 \times 10^6$
	10–20	$24,39 \times 10^6$
Прямой посев	0–10	$15,37 \times 10^6$
	10–20	$24,91 \times 10^6$
$HC_{P_{05}}$	технология	13,8
	слой	8,4

почвы выявлено при технологии прямого посева — 83%. При минимальной технологии ИПБС снизился на 4%, почва при данной технологии выполняет свои экологические функции нормально, согласно общепринятой градации [20].

Возделывание сои при традиционной технологии привело к уменьшению ИПБС на 8% по сравнению с технологией прямого посева, что свидетельствует о нарушении информационных экофункций. Интегральный показатель биологического состояния чернозема типичного при дифференцированной технологии был меньше на 16% по сравнению с прямым посевом, что говорит о биохимических, физико-химических, химических и целостных нарушениях в почве.

Корреляционный анализ показал заметную прямую связь гумуса с влажностью и микробной биомассой ( $r = 0,65-0,68$ ). Реакция почвенной среды находилась в заметной и высокой корреляционной связи с влажностью ( $r = -0,66$ ) и гумусом ( $r = -0,79$ ). Между остальными изучаемыми показателями отмечается как прямая, так и обратная слабая связь ( $r = 0,17-0,27$ ).

### Выводы/Conclusions

В результате проведенных исследований была установлена дифференциация рН почвенного раствора и содержания гумуса по слоям почвы

при технологиях ориентированных на минимизацию обработки почвы. При минимальной технологии возделывания сои и ее прямом посеве в слое 0–20 см целлюлозоразлагающая активность, а также количество микробной биомассы было выше, по отношению к традиционной и дифференцированной технологиям. Общее микробное число в слое 0–20 см растет по мере повышения уровня минимизации обработки почвы с максимумом при прямом посеве, рост был в 1,1–1,5 раза по сравнению с традиционной технологией. Такой рост общего микробного числа при повышении степени минимизации обработки почвы обусловлен повышенным количеством пожнивно-корневых остатков, так как при их разложении микроорганизмы в основном локализуются на растительных остатках ( $r = 0,98$ ).

Интегральный показатель биологического состояния почвы был максимальным при прямом посеве, его значение с учетом изучаемых технологий снижалось в ряду: минимальная технология → традиционная технология → дифференцированная технология.

Снижение интегрального показателя биологического состояния чернозема типичного при традиционной и дифференцированной технологиях свидетельствует о нарушении ряда экологических функций, выполняемых почвой.

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 проведено при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания № FGZU-2024-001.

### FUNDING

The research was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State Assignment (Project No. FGZU-2024-001).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню. *Почвоведение*. 2014; (6): 724–733. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14060021>
2. 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>
3. Лукьянчук Л.М., Бутовец Е.С. Реакция сортов сои на погодные условия Приморского края. *Аграрная наука*. 2023; (9): 96–100. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-96-100>
4. Свищева М.И. Состояние и оценки развития соевого рынка в России. *Управление рисками в АПК*. 2021; (4): 64–70. <https://doi.org/10.53988/24136573-2020-04-06>
5. Левина А.Н. Продуктивность растений сои сорта Китросса в зависимости от формирования репродуктивных органов. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2024; (3): 34–37. <https://doi.org/10.31857/S2500208224030076>
6. Завалин А.А., Дридигер В.К., Белобров В.П., Юдин С.А. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор). *Почвоведение*. 2018; (12): 1506–1516. <https://doi.org/10.11857/S0032180X18120146>
7. Когут Б.М. Органическое вещество чернозема. *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2017; 90: 39–55. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-39-55>

### REFERENCES

1. Dadenko E.V., Myasnikova M.A., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F., Biological activity of ordinary chernozem during prolonged ploughing. *Eurasian Soil Science*. 2014; (6): 724–733 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0032180X14060021>
2. 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>
3. Lukyanchuk L.M., Butovets E.S. Response of soybean varieties to weather conditions in Primorsky Krai. *Agrarian science*. 2023; (9): 96–100 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-96-100>
4. Svishcheva M.I. State and assessment of the development of the soybean market in Russia. *Upravleniye riskami v APK*. 2021; (4): 64–70 (in Russian). <https://doi.org/10.53988/24136573-2020-04-06>
5. Levina A.N. Productivity of the Kitrossa soybean variety depends on reproductive organs formation. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2024; (3): 34–37 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500208224030076>
6. Zavalin A.A., Belobrov V.P., Yudin S.A., Dridiger V.K. Nitrogen in Chernozems under Traditional and Direct Seeding Cropping Systems: A Review. *Eurasian Soil Science*. 2018; 51(12): 1497–1506. <https://doi.org/10.1134/S1064229318120141>
7. Kogut B.M. The Organic Matter of Chernozem. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2017; 90: 39–55 (in Russian). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-39-55>

8. Семенов В.М. и др. Биологически активное органическое вещество в почвах европейской части России. *Почвоведение*. 2018; (4): 457–472. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1804007X>
9. Semenov M.V., Zhelezova A.D., Ksenofontova N.A., Ivanova E.A., Nikitin D.A., Semenov V.M. Microbiological Indicators for Assessing the Effects of Agricultural Practices on Soil Health: A Review. *Agronomy*. 2025; 15(2): 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020335>
10. Хлыстун В.Н., Алакоз В.В. О государственном регулировании сельскохозяйственного землепользования. *Плодородие*. 2022; (3): 61–68. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.17>
11. Когут Б.М., Семенов В.М., Артемьева З.С., Данченко Н.Н. Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода. *Агрохимия*. 2021; (5): 3–13. <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070>
12. Сорокин А.Е., Седых В.А., Савич В.И., Филиппова А.В., Гукалов В.В., Конач М.Д. Информационная оценка взаимосвязей в системе почва-растение. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021; (1): 17–21. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-1-17-21>
13. Савич В.И., Торшин С.П., Сорокин А.Е., Гукалов В.В., Рашкович В.Н. Агроэкологическая оценка скорости физико-химических процессов, протекающих в почвах. *Агрохимический вестник*. 2021; (2): 58–62. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-2-012>
14. Иванов А.Л., Кулинец В.В., Дридигер В.К., Белобров В.П. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России. *Достижения науки и техники АПК*. 2021; 35(4): 8–16. EDN ZJYCZR
15. Гаджиумаров Р.Г., Джандаров А.Н., Дридигер В.К. Водопроницаемость и накопление влаги в почве при ее возделывании по технологии No-till. *Аграрная наука*. 2022; (5): 93–97. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-93-97>
16. Иванов А.Л., Дридигер В.К., Белобров В.П., Годунова Е.И., Волошенкова Т.В., Юдин С.А. Эффективность и почвозащитная роль системы прямого посева на черноземах России. *Почвоведение*. 2025; (9): 1225–1238. EDN JBXRNA
17. Kozun Yu.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands. *Geoderma*. 2022; 425: 116031. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116031>
18. van Hees P.A.W., Jones D.L., Finlay R., Godbold D.L., Lundström U.S. The carbon we do not see—the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2005; 37(1): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.06.010>
19. Семенов В.М., Ходжаева А.К. Агроэкологическая функция растительных остатков в почве. *Агрохимия*. 2006; (7): 63–81. EDN HUGDFN
20. Терехова В.А. Биотестирование экотоксичности почв при химическом загрязнении: современные подходы к интеграции для оценки экологического состояния (обзор). *Почвоведение*. 2022; (5): 586–599. EDN RAQEFС
8. Semenov V.M. et al. Biologically Active Organic Matter in Soils of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2018; 51(4): 434–447. <https://doi.org/10.1134/S1064229318040117>
9. Semenov M.V., Zhelezova A.D., Ksenofontova N.A., Ivanova E.A., Nikitin D.A., Semenov V.M. Microbiological Indicators for Assessing the Effects of Agricultural Practices on Soil Health: A Review. *Agronomy*. 2025; 15(2): 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy15020335>
10. Khlystun V.N., Alakoz V.V. About state regulation agricultural land use. *Plodородие*. 2022; (3): 61–68 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.126.17>
11. Kogut B.M., Semenov V.M., Artemyeva Z.S., Danchenko N.N. Humus depletion and soil carbon sequestration. *Agricultural Chemistry*. 2021; (5): 3–13 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070>
12. Sorokin A.E., Sedykh V.A., Savich V.I., Filippova A.V., Gukalov V.V., Konakh M.D. Information assessment of inter-relations in the soil-plant system. *International agricultural journal*. 2021; (1): 17–21 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-1-17-21>
13. Savich V.I., Torshin S.P., Sorokin A.E., Gukalov V.V., Rashkovich V.N. Agroecological evaluation of soil physical-chemical processes speed. *Agrochemical Herald*. 2021; (2): 58–62 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-2-012>
14. Ivanov A.L., Kulintsev V.V., Dridiger V.K., Belobrov V.P. Feasibility of a direct sowing system on the Russian chernozems. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2021; 35(4): 8–16 (in Russian). EDN ZJYCZR
15. Gadzhiumarov R.G., Dzhandarov A.N., Dridiger V.K. Water permeability and accumulation of moisture in the soil during its cultivation using the No-till technology. *Agrarian science*. 2022; (5): 93–97 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-93-97>
16. Ivanov A.L., Dridiger V.K., Belobrov V.P., Godunova E.I., Voloshenkova T.V., Yudin S.A. Efficiency and Soil-Protective Role of a Direct Seeding System on Russian chernozems. *Eurasian Soil Science*. 2025; 58(9): 118. <https://doi.org/10.1134/S1064229325600770>
17. Kozun Yu.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands. *Geoderma*. 2022; 425: 116031. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116031>
18. van Hees P.A.W., Jones D.L., Finlay R., Godbold D.L., Lundström U.S. The carbon we do not see—the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2005; 37(1): 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.06.010>
19. Semenov V.M., Khodzhaeva A.K. Agroecological functions of plant residues in soil. *Agricultural Chemistry*. 2006; (7): 63–81 (in Russian). EDN HUGDFN
20. Terekhova V.A. Biotesting of Soil Ecotoxicity in Case of Chemical Contamination: Modern Approaches to Integration for Environmental Assessment (a Review). *Eurasian Soil Science*. 2022; 55(5): 601–612. <https://doi.org/10.1134/S106422932205009X>

## ОБ АВТОРАХ

**Елена Валентиновна Дубовик**

доктор биологических наук  
dubovikev@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5999-9718>

**Дмитрий Вячеславович Дубовик**

доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор РАН  
dubovikdm@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1585-6990>

**Юрий Михайлович Мясоедов**

доктор биологических наук  
Myasoedovyurij@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6553-0163>

**Петр Петрович Дураков**

аспирант  
petr.durakov.99@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0009-3309-0683>  
Курский федеральный аграрный научный центр,  
ул. Карла Маркса, д. 70б, г. Курск, 305021, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

**Elena Valentinovna Dubovik**

Doctor of Biological Sciences  
dubovikev@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5999-9718>

**Dmitry Vyacheslavovich Dubovik**

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian  
Academy of Sciences  
dubovikdm@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1585-6990>

**Yurij Mikhailovich Myasoedov**

Doctor of Biological Sciences  
Myasoedovyurij@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6553-0163>

**Petr Petrovich Durakov**

Postgraduate Student  
petr.durakov.99@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0009-3309-0683>  
Federal Agricultural Kursk Research Center,  
70b Karl Marx st., Kursk, 305021, Russia

УДК 615.9:632.4:633.16

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-95-100

И.В. Аксенов ✉

И.Б. Седова

З.А. Чалый

А.Л. Спиридонова

Д.М. Компанцева

У.В. Иванова

Л.П. Захарова

В.А. Тутельян

Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

✉ [ilyaaksenoff@yandex.ru](mailto:ilyaaksenoff@yandex.ru)

Поступила в редакцию: 17.10.2025

Одобрена после рецензирования: 28.12.2025

Принята к публикации: 25.01.2026

© Аксенов И.В., Седова И.Б., Чалый З.А., Спиридонова А.Л., Компанцева Д.М., Иванова У.В., Захарова Л.П., Тутельян В.А.

# Контаминация микотоксинами отечественного зерна ячменя (результаты скрининговых исследований урожая 2024 г.)

## РЕЗЮМЕ

Ячмень широко используется в животноводстве и пищевой промышленности. При этом особое внимание уделяется его безопасности для здоровья человека и сельскохозяйственных животных. К числу приоритетных контаминантов сельскохозяйственных злаковых культур относятся микотоксины — обладающие выраженным токсическим действием метаболиты плесневых грибов. В целях снижения релевантных рисков для здоровья населения в Российской Федерации установлены максимально допустимые уровни содержания отдельных микотоксинов в продовольственном зерне ячменя: афлатоксина В<sub>1</sub>, дезоксиниваленола, Т-2 токсина, зеараленона и охратоксина А.

**Цель исследования** — изучение частоты и уровня контаминации микотоксинами продовольственного зерна ячменя урожая 2024 года из разных федеральных округов Российской Федерации.

В отобранных территориальными органами Роспотребнадзора образцах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с тандемным масс-спектрометрическим детектированием было изучено содержание 29 микотоксинов.

В результате проведенных исследований было установлено, что распространенность выявленных в ячмене микотоксинов снижалась в следующей последовательности: энниатин В > альтернариол > тентоксин > дезоксиниваленол, метиловый эфир альтернариола > Т-2 и НТ-2 токсины, охратоксины А и В, цитринин, стеригматоцистин. В образцах из Центрального, Дальневосточного, Северо-Западного и Уральского федеральных округов были обнаружены только фузариотоксины, в ячмене из Южного, Сибирского, Приволжского федеральных округов — фузариотоксины вместе с альтернариатоксинами, в зерне из Северо-Кавказского федерального округа — только альтернариатоксины. Содержание выявленных в ячмене регламентируемых микотоксинов не превышало максимально допустимых уровней. На основании полученных данных можно сделать вывод о приоритетном загрязнении продовольственного зерна ячменя токсичными метаболитами полевых грибов рода *Fusarium* (энниатин В и дезоксиниваленол) и *Alternaria* (альтернариол, метиловый эфир альтернариола, тентоксин).

**Ключевые слова:** ячмень, микотоксины, высокоэффективная жидкостная хроматография с тандемной масс-спектрометрией, энниатин В, дезоксиниваленол, альтернариол, метиловый эфир альтернариола, тентоксин

**Для цитирования:** Аксенов И.В. и др. Контаминация микотоксинами отечественного зерна ячменя (результаты скрининговых исследований урожая 2024 г.). *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 95–100.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-95-100>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-95-100

Ilya V. Aksenov ✉

Irina B. Sedova

Zakhar A. Chalyy

Anastasia L. Spiridonova

Daria M. Kompaintseva

Ulyana V. Ivanova

Ludmila P. Zakharova

Viktor A. Tutelyan

Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

✉ [ilyaaksenoff@yandex.ru](mailto:ilyaaksenoff@yandex.ru)

Received by the editorial office: 17.10.2025

Accepted in revised: 28.12.2025

Accepted for publication: 25.01.2026

© Aksenov I.V., Sedova I.B., Chalyy Z.A., Spiridonova A.L., Kompaintseva D.M., Ivanova U.V., Zakharova L.P., Tutelyan V.A.

# Mycotoxin contamination of domestic barley grain (results of screening studies of the 2024 harvest)

## ABSTRACT

Barley is widely used in animal husbandry and the food industry. At the same time, special attention is paid to its safety for human and farm animal health. Mycotoxins, which are metabolites of mold fungi with a pronounced toxic effect, are among the priority contaminants of agricultural cereals. To reduce relevant public health risks, the Russian Federation has established maximum permissible levels of certain mycotoxins in food barley grain: aflatoxin B<sub>1</sub>, deoxynivalenol, T-2 toxin, zearalenone, and ochratoxin A.

**The aim of the study** was to assess the frequency and level of mycotoxin contamination in food barley grain from the 2024 harvest from different federal districts of the Russian Federation.

Samples collected by the territorial offices of Rospotrebnadzor were analyzed for 29 mycotoxins using high-performance liquid chromatography with tandem mass spectrometric detection. The studies revealed that the prevalence of mycotoxins detected in barley decreased in the following order: enniatin B > alternariol > tentoxin > deoxynivalenol, alternariol methyl ester > T-2 and HT-2 toxins, ochratoxins A and B, citrinin, and sterigmatocystin. Only *Fusarium* toxins were detected in samples from the Central, Far Eastern, Northwestern, and Ural Federal Districts; *Fusarium* toxins and *Alternaria* toxins were detected in barley from the Southern, Siberian, and Volga Federal Districts, and *Alternaria* toxins alone were detected in grain from the North Caucasus Federal District. The content of regulated mycotoxins detected in barley did not exceed the maximum permissible levels. Based on the data obtained, it can be concluded that food barley grain is primarily contaminated with toxic metabolites of field fungi of the genus *Fusarium* (enniatin B and deoxynivalenol) and *Alternaria* (alternariol, alternariol methyl ester, tentoxin).

**Key words:** barley, mycotoxins, high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, enniatin B, deoxynivalenol, alternariol, alternariol methyl ester, tentoxin

**For citation:** Aksenov I.V. *et al.* Mycotoxin contamination of domestic barley grain (results of screening studies of the 2024 harvest). *Agrarian science*. 2026; 404 (03): 95–100 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-95-100>

## Введение/Introduction

Ячмень наравне с пшеницей является основополагающей культурой, которая положила начало аграрной революции около 10 тыс. лет назад [1]. В настоящее время ячмень входит в число основных зерновых культур, культивируемых на территории Российской Федерации. Так, в 2024 г. по величине валового сбора (свыше 16 млн т) ячмень занял второе место среди зерновых культур после пшеницы<sup>1</sup>, при этом с начала XXI века отмечается устойчивый восходящий тренд его экспорта в другие страны [2].

Ячмень широко используется в животноводстве (на корм скоту и птице) и в пищевой промышленности (для производства пива и круп). При этом особое внимание уделяется безопасности зерна для здоровья человека и сельскохозяйственных животных [3].

К числу приоритетных контаминантов ячменя относятся микотоксины (МТ) — метаболиты плесневых грибов, обладающие широким спектром токсического действия, в том числе канцерогенными свойствами, и способные вызвать характерные заболевания — микотоксикозы [4, 5]. Наиболее распространенными являются их хронические формы, вызванные длительным поступлением токсических метаболитов плесневых грибов [6]. Загрязнение зерна может происходить во время предуборочного периода, послеуборочной обработки, упаковки, транспортировки и хранения [7].

В целях снижения релевантных рисков для здоровья населения в Российской Федерации установлены максимально допустимые уровни содержания отдельных МТ в продовольственном зерне ячменя<sup>2</sup>: афлатоксина В1 — 0,005 мг/кг; дезоксиниваленола (DON) — 1,0 мг/кг; Т-2 токсина — 0,1 мг/кг; зеараленона — 1,0 мг/кг; охратоксина А (ОТА) — 0,005 мг/кг. Наряду с этим совершенствование методов анализа позволило выявить в зерновых продуктах целый ряд других МТ, в отношении которых в настоящее время происходит активное накопление данных об их токсичности и распространенности: метаболитов грибов рода *Fusarium* (в том числе энниатины (ENN)); *Aspergillus* (в том числе стеригматоцистин (STC)); *Penicillium* (в том числе цитринин (CIT)); *Alternaria* (в том числе альтернариол (АОН), метиловый эфир альтернариола (АМЕ), тентоксин (TEN) и альтенуен) [8].

В связи с этим актуальной научной задачей является анализ содержания в зерне широкого спектра как регламентируемых, так и нерегламентируемых в настоящее время МТ, результаты которого будут востребованы при оценке соответствующего риска для здоровья населения, разработке мер по предупреждению загрязнения зерна

токсичными метаболитами плесневых грибов, а также при установлении влияния климатических условий культивирования злаковых культур на видовой и количественный состав выявленных МТ.

*Цель настоящего исследования* — изучение частоты и уровня контаминации МТ продовольственного зерна ячменя урожая 2024 года из разных федеральных округов Российской Федерации.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Образцы продовольственного зерна ячменя урожая 2024 г. (n = 36) были отобраны согласно ГОСТ Р ИСО 24333-2017<sup>3</sup> случайным образом от однородных партий, хранящихся на перерабатывающих предприятиях, территориальными органами Роспотребнадзора во всех федеральных округах Российской Федерации:

- ✓ Центральном (ЦФО) (n = 14): Воронежская (n = 5), Курская (n = 3), Тамбовская (n = 3), Орловская (n = 2) и Белгородская (n = 1) области;
- ✓ Южном (ЮФО) (n = 8): Республика Крым (n = 3), Ставропольский край (n = 2), Волгоградская (n = 2) и Ростовская (n = 1) области;
- ✓ Сибирском (СФО) (n = 5): Республика Алтай (n = 3), Новосибирская область (n = 2);
- ✓ Приволжском (ПрФО) (n=4): Республики Марий Эл и Татарстан, Самарская и Саратовская области;
- ✓ Северо-Кавказском (СКФО) (n = 2): Республика Дагестан, Кабардино-Балкарская Республика;
- ✓ Дальневосточном (ДФО) (n = 1): Приморский край;
- ✓ Северо-Западном (СЗФО) (n = 1): Калининградская область;
- ✓ Уральском (УФО) (n = 1): Курганская область.

В образцах определяли содержание 29 МТ: DON, зеараленона, Т-2 токсина, Т-2 триола, НТ-2 токсина, диацетоксискирпенола, ОТА, охратоксина В (ОТВ), STC, CIT, 3-ацетил- и 15-ацетилдезоксиниваленола, ниваленола, афлатоксинов В1, В2, G1, G2, фумонизинов В1, В2, циклопиазоновой кислоты, цитреовиридина, АОН, АМЕ, альтенуена, TEN, микофеноловой кислоты, фузаренона X, неосоланиола, энниатина В (ENN В) [9].

Пробы готовили в соответствии с МВИ 410/4-2020 «Метод мультидетекции микотоксинов в зерне и первичных продуктах его переработки». Отбранную пробу (100 г) измельчали в лабораторной мельнице («ОЛИС», Россия) до однородного состояния. Навеску (5,0 г) измельченного образца помещали в центрифужную пробирку объемом 50 мл и добавляли 25 мл смеси ацетонитрила с водой (80:20 об.%), подкисленной муравьиной кислотой (0,5 об.%).

<sup>1</sup> Федеральная служба государственной статистики [электронный ресурс].

URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Val1\\_2024.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Val1_2024.xlsx) (дата обращения: 10.11.2025).

<sup>2</sup> Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) [электронный ресурс].

URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 10.11.2025).

<sup>3</sup> ГОСТ Р ИСО 24333-2017. Зерно и продукты его переработки. Отбор проб.

Экстракцию начинали встряхиванием в течение 10 мин. на ротаторе-миксере Multi RS-60 (Biosan, Латвия), продолжали на ультразвуковой бане Elma S15H (Elmasonic, Германия) (10 мин.) и заканчивали встряхиванием (10 мин.) на шейкере. Экстракт фильтровали через бумажный складчатый фильтр «синяя лента», отбирали 200 мкл в пробирку типа эппендорф, смешивали встряхиванием с 600 мкл подвижной фазы А (вода с ацетонитрилом (95:5 об. %), центрифугировали (ROTINA 38, Hettich zentrifugen, Германия) при скорости 4000 об/мин. Супернатант (200 мкл) переносили в хроматографическую вialsу и хранили при температуре -20 °С. В хроматографической вialsе МТ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием с использованием хроматографической системы Agilent 1100 и масс-спектрометрического детектора с тройным квадруполом Agilent 6410 (Agilent Technologies, США) в условиях положительной электрораспылительной ионизации при атмосферном давлении в режиме мониторинга множественных реакций. Напряжение на капилляре источника ионов детектора составляло 4000 В, температура источника — 100 °С, температура газа осушителя (азот) — 350 °С, давление небулайзера — 60 psi (4,14 Бар).

Хроматографическое разделение осуществляли на колонке Zorbax SB-C18 (150 x 4,6 мм, диаметр частиц сорбента 3,5 мкм, Agilent Technologies, США), термостатированной при 25 °С, в режиме градиентного элюирования. Подвижная фаза А — вода с ацетонитрилом (95:5 об.%), Б — ацетонитрил. Обе фазы подкислены муравьиной кислотой (0,1 об.%). Схема градиента: старт — 0% Б, далее линейный рост до 95% Б в течение 30 мин., 95% Б до 36 мин., линейное снижение до 0% Б за 1 мин. и уравнивание колонки в течение 6 мин.

Общее время хроматографирования — 43 мин., объем вносимой пробы — 20 мкл.

Количественный расчет проводили методом внешней калибровки с использованием стандартных образцов МТ (Sigma-Aldrich, США; Fermentek, Израиль; Fluka, Швейцария). Аналиты идентифицировали по совпадению времени удерживания, регистрации характерных ионов-продуктов и соотношению интенсивности их сигналов.

Нижняя граница определяемого содержания микотоксинов в образцах зерна составила, соответственно, для афлатоксинов STC, ОТА, ОТВ — 0,001 мг/кг; неосоланиола, микофеноловой кислоты — 0,002 мг/кг; TEN, диацетоксикирпенола — 0,004 мг/кг; ENN В — 0,005 мг/кг; Т-2, АОН — 0,01 мг/кг; альтениуена, СИТ — 0,02 мг/кг; АМЕ — 0,05 мг/кг; НТ-2, DON, зеараленона, фумонизина В2, фузаренона Х, 3-ацетилдезоксиниваленола, 15-ацетилдезоксиниваленола, цитреовиридина, циклопиазоновой кислоты, Т-2 триола — 0,1 мг/кг; фумонизина В1 — 0,3 мг/кг; ниваленола — 0,5 мг/кг.

Статистически обработанные (Excel, Microsoft, США) результаты исследования представляли в виде частоты обнаружения МТ в изученных образцах зерна ячменя и диапазона их содержания в загрязненных пробах.

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

В исследованных образцах ячменя из разных федеральных округов Российской Федерации из 29 изученных МТ были выявлены 11: DON, Т-2 и НТ-2 токсины, ОТА, ОТВ, STC, СИТ, АОН, АМЕ, TEN, ENN В (табл. 1).

Зерно ячменя из ЦФО было загрязнено DON и ENN В. DON был обнаружен в зерне, полученном из Воронежской (в количестве 0,31 мг/кг) и Курской (0,10 мг/кг) областей; ENN В — в ячмене из

Таблица 1. Контаминация МТ зерна ячменя урожая 2024 года

Table 1. Mycotoxin contamination of barley grain from the 2024 harvest

Округ (кол-во образцов)	Частота обнаружения МТ в изученных образцах и диапазон их содержания (мг/кг) в загрязненных пробах										
	DON	Т-2	НТ-2	ENN В	ОТА	ОТВ	СИТ	STC	АОН	АМЕ	TEN
ЦФО (n = 14)	14%; 0,10 и 0,31	Н/о	Н/о	57%; 0,006–0,083	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
ЮФО (n = 8)	Н/о	Н/о	Н/о	25%; 0,005 и 0,025	13%; 0,002	13%; 0,001	13%; 0,042	13%; 0,001	25%; 0,026 и 0,289	13%; 0,187	Н/о
СФО (n = 5)	Н/о	20%; 0,062	20%; 0,118	100%; 0,034–0,943	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	80%; 0,069–0,196	60%; 0,072–0,094	40%; 0,004 и 0,011
ПрФО (n = 4)	Н/о	Н/о	Н/о	25%; 0,021	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	25%; 0,004
СКФО (n = 2)	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	50%; 0,007
ДФО (n = 1)	100%; 0,41	Н/о	Н/о	100%; 0,156	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
СЗФО (n=1)	100%; 0,10	Н/о	Н/о	100%; 0,252	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
УФО (n = 1)	Н/о	Н/о	Н/о	100%; 0,285	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о	Н/о
Все образцы (n = 36)	11%; 0,10–0,41	3%; 0,062	3%; 0,118	53%; 0,005–0,943	3%; 0,002	3%; 0,001	3%; 0,042	3%; 0,001	19%; 0,026–0,289	11%; 0,072–0,187	14%; 0,004–0,011

Примечание: Н/о < нижней границы определяемого содержания МТ.

Орловской (0,083 мг/кг), Курской (0,010; 0,015 и 0,054 мг/кг), Воронежской (0,067 мг/кг), Белгородской (0,023 мг/кг) и Тамбовской (0,006 и 0,017 мг/кг) областей.

В ячмене из ЮФО МТ были выявлены исключительно в образцах из Волгоградской области: ОТА (0,002 мг/кг), ОТВ (0,001 мг/кг), STC (0,001 мг/кг), СІТ (0,042 мг/кг), АОН (0,026 и 0,289 мг/кг), АМЕ (0,187 мг/кг) и ENN В (0,005 и 0,025 мг/кг).

Полученное из СФО зерно содержало Т-2 и НТ-2 токсины, АОН, АМЕ, ТЕН, ENN В. В одном из образцов, полученных из Республики Алтай, были выявлены Т-2 (0,062 мг/кг) и НТ-2 (0,118 мг/кг) токсины; АОН был найден в ячмене из Новосибирской области (0,069 мг/кг) и Республики Алтай (0,089; 0,135; 0,196 мг/кг); АМЕ (0,072; 0,082; 0,094 мг/кг) и ТЕН (0,004; 0,011 мг/кг) — только в зерне из Республики Алтай; ENN В — во всех изученных образцах: 0,034; 0,209 и 0,353 мг/кг — в алтайском, 0,128 и 0,943 мг/кг — в новосибирском зерне.

Присутствие только двух МТ было установлено в образцах из ПрФО: выращенное в Республике Марий Эл зерно содержало ТЕН (0,004 мг/кг) и ENN В (0,021 мг/кг).

В образцах из СКФО было выявлено загрязнение только ТЕН (0,007 мг/кг).

Полученное из ДФО и СЗФО зерно было контаминировано DON (0,41 мг/кг и 0,10 мг/кг, соответственно) и ENN В (0,156 мг/кг и 0,252 мг/кг); из УФО — только ENN В (0,285 мг/кг).

В целом распространенность выявленных в ячмене МТ снижалась в следующей последовательности: ENN В > АОН > ТЕН > DON, АМЕ > Т-2, НТ-2, ОТА, ОТВ, СІТ, STC. При этом содержание в зерне регламентируемых МТ (DON, Т-2, ОТА) не превышало установленные максимально допустимые уровни.

Полученные данные свидетельствуют о широкой распространенности нерегламентируемых МТ в ячмене из всех федеральных округов Российской Федерации, в частности фузариотоксина ENN В и альтернариатоксинов ТЕН, АОН и АМЕ.

ENN В является вторичным метаболитом грибов рода *Fusarium*. Липофильная природа ENN позволяет им встраиваться в липидные бислои клеточных мембран и создавать катион-селективные поры, которые вызывают увеличение проницаемости для катионов, что приводит к нарушению их физиологического уровня в клетке. Помимо ионофорных свойств, токсичность ENN В связана с развитием окислительного стресса, митохондриальной дисфункции и нарушением клеточного цикла, что в конечном итоге приводит к апоптотической гибели клеток [10].

Сходные данные по содержанию фузариотоксинов в ячмене были получены в Италии: ENN В и DON являлись наиболее распространенными метаболитами грибов *Fusarium*. При этом содержание DON в зерне находилось

в диапазоне 0,045–0,627 мг/кг, ENN В — 0,024–1,12 мг/кг [11].

Альтернариатоксины АОН, АМЕ и ТЕН представляют собой токсичные метаболиты широко распространенных в природе плесневых грибов рода *Alternaria*. Наиболее выраженная острая токсичность показана для тенуазоновой кислоты (TeA) ( $LD_{50}$  у самцов крыс при пероральном введении — 180 мг / кг м. т.). Основным механизмом действия TeA является, как полагают, ингибирование синтеза белка на рибосомах. При хроническом поступлении особую опасность представляют АОН и АМЕ, обладающие генотоксическим действием за счет ингибирования топоизомеразы ДНК и нарушения целостности ДНК. Контаминацию альтернариатоксинами пищевых продуктов рассматривают как возможную причину заболеваемости раком пищевода в Китае и острой тропической тромбоцитопенической пурпурой в странах Африки к югу от пустыни Сахары [12].

В настоящем исследовании альтернариатоксины наиболее часто были выявлены в зерне из СФО. Значительная частота контаминации сибирского ячменя токсинами грибов *Alternaria* была показана и в исследовании Ориной и соавт. [13], при этом год урожая оказывал существенное влияние на выраженность загрязнения зерна альтернариатоксинами.

В результате изучения образцов ячменя урожая 2018 г. из Алтайского края, Кемеровской, Новосибирской и Омской областей частота обнаружения ТЕН составила 87% (диапазон — 0,005–0,038 мг/кг; среднее содержание среди загрязненных образцов — 0,014 мг/кг), АОН обнаружен не был.

В образцах зерна 2019 г. ТЕН был выявлен в 78% проб (0,003–0,006 мг/кг, 0,004 мг/кг); АОН — в 22% проб (0,004 мг/кг и 0,005 мг/кг). В Аргентине частота контаминация ячменя АОН существенно варьировалась в зависимости от года урожая. Так, в зерне 2014 г. частота выявления АОН составила 81% (0,39–1,69 мг/кг; 0,62 мг/кг), АМЕ не обнаружен; в ячмене урожая 2015 г. АОН был выявлен в 47% образцов (0,37–1,25 мг/кг; 0,80 мг/кг), АМЕ — 15% проб (0,38–6,81 мг/кг; 2,20 мг/кг) [14].

В результате проведенного в Германии анализа загрязненности МТ ячменя урожая 2016–2020 гг. наличие ТЕН было установлено в 58% образцов (0,0001–0,0031 мг/кг), АОН — в 26% (0,0005–0,0206 мг/кг), АМЕ — в 18% (0,0012–0,0066 мг/кг) [15].

### Выводы/Conclusions

Таким образом, в ходе работы впервые в России были изучены частота и уровни контаминации широким спектром МТ (29 видов) продовольственного зерна ячменя урожая 2024 г. (36 образцов) из разных федеральных округов Российской Федерации.

Несмотря на относительно небольшое количество изученных образцов и неравномерность

выборки по регионам, можно сделать следующие предварительные выводы.

Основными загрязнителями ячменя являются нерегулируемые токсические метаболиты полевых грибов родов *Fusarium* (энниатин В) и *Alternaria* (альтернариол, его метиловый эфир, тентоксин), что указывает на приоритетность оценки рисков, связанных с этими соединениями. Содержание регулируемых МТ (дезоксиниваленола, Т-2 токсина, охратоксина А) во всех проанализированных образцах не превышало установленных в РФ максимально допустимых уровней.

Обнаружена региональная специфика в спектре загрязнения: в образцах из Центрального, Дальневосточного, Северо-Западного и Ураль-

ского федеральных округов были обнаружены только фузариотоксины; в ячмене из Южного, Сибирского и Приволжского федеральных округов — фузариотоксины с альтернариатоксинами; в единичных образцах из Северо-Кавказского федерального округа — только альтернариатоксин тентоксин.

В целом результаты работы определяют новые приоритеты (энниатин В и альтернариатоксины) мониторинга в зерне ячменя токсических метаболитов плесневых грибов и задают направление для дальнейших, более масштабных исследований, необходимых для достоверной оценки географических закономерностей контаминации продовольственного зерна МТ и разработки соответствующих профилактических мер.

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

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-00207.  
<https://rscf.ru/project/25-16-00207/>

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Haas M., Schreiber M., Mascher M. Domestication and crop evolution of wheat and barley: Genes, genomics, and future directions. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2019; 61(3): 204–225. <https://doi.org/10.1111/jipb.12737>
- Ульбина Л.В., Алексеева Н.В., Медведева Т.А. Статистический анализ отдельных показателей внешней торговли Российской Федерации сельскохозяйственной продукцией. *Аграрная наука*. 2022; (11): 154–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-154-159>
- Лебедин Ю.С., Орина А.С., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Майгурова В.Н., Петухов П.А. Применение аналитических методов для выявления критических пределов инфицирования зерна грибами рода *Fusarium*. *Аграрная наука*. 2021; (1): 92–97. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-92-97>
- Валиуллин Л.Р. и др. Снижение опасности токсинов фитопатогенов с помощью композиции органоминерального происхождения. *Аграрная наука*. 2024; (10): 62–66. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-62-66>
- Калинина И.В., Потороко И.Ю., Рускина А.А. Микотоксины в пищевых системах: механизмы деградации для обеспечения эффективности нетепловых воздействий обеззараживания. *Аграрная наука*. 2025; (1): 121–129. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-121-129>
- Шеламов С.Н., Садовникова Н.Ю. Микотоксикозы в свиноводстве: проблема, которую нельзя недооценивать. *Аграрная наука*. 2018; (9): 22–25. EDN XZZZJJ
- Pitt J.I., Miller J.D. A Concise History of Mycotoxin Research. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017; 65(33): 7021–7033. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04494>
- Gruber-Dorninger C., Novak B., Nagl V., Berthiller F. Emerging Mycotoxins: Beyond Traditionally Determined Food Contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017; 65(33): 7052–7070. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03413>
- Киселева М.Г., Седова И.Б., Чалый З.А., Захарова Л.П., Аристархова Т.В., Тутельян В.А. Анализ продовольственного зерна в Российской Федерации на загрязненность широким спектром микотоксинов (на примере урожая 2018 года). *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(3): 559–577. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.559rus>
- Prosperini A. et al. A Review of the Mycotoxin Enniatin B. *Frontiers in Public Health*. 2017; 5: 304. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00304>
- Gozzi M., Blandino M., Bruni R., Capo L., Righetti L., Dall'Asta C. Mycotoxin occurrence in kernels and straws of wheat, barley, and tritordeum. *Mycotoxin Research*. 2024; 40(1): 203–210. <https://doi.org/10.1007/s12550-024-00521-w>

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 study was supported by grant No. 25-16-00207 from the Russian Science Foundation.  
<https://rscf.ru/project/25-16-00207/>

#### REFERENCES

- Haas M., Schreiber M., Mascher M. Domestication and crop evolution of wheat and barley: Genes, genomics, and future directions. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2019; 61(3): 204–225. <https://doi.org/10.1111/jipb.12737>
- Ulybina L.V., Alekseeva N.V., Medvedeva T.A. Statistical analysis of individual indicators of foreign trade of the Russian Federation in agricultural products. *Agrarian science*. 2022; (11): 154–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-154-159>
- Lebedin Yu.S., Orina A.S., Gavrilo O.P., Gagkaeva T.Yu., Maigurova V.N., Petukhov P.A. Application of analytical methods to identify critical limits of grain infection by *Fusarium* fungi. *Agrarian science*. 2021; (1): 92–97 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-92-97>
- Valiullin L.R. et al. Reducing the danger of phytopathogen toxins by using an organomineral composition. *Agrarian science*. 2024; (10): 62–66 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-62-66>
- Kalinina I.V., Potoroko I.Yu., Ruskina A.A. Mycotoxins in food systems: degradation mechanisms for effective non-thermal disinfection. *Agrarian science*. 2025; (1): 121–129 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-121-129>
- Shelamov S.N., Sadovnikova N.Yu. Mycotoxicosis in pig industry: the problem, which cannot be underestimated. *Agrarian science*. 2018; (9): 22–25 (in Russian). EDN XZZZJJ
- Pitt J.I., Miller J.D. A Concise History of Mycotoxin Research. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017; 65(33): 7021–7033. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04494>
- Gruber-Dorninger C., Novak B., Nagl V., Berthiller F. Emerging Mycotoxins: Beyond Traditionally Determined Food Contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017; 65(33): 7052–7070. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03413>
- Kiseleva M.G., Sedova I.B., Chalyy Z.A., Zakharova L.P., Aristarkhova T.V., Tutelyan V.A. Multi-mycotoxin screening of food grain produced in Russia in 2018. *Agricology Biology*. 2021; 56(3): 559–577. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.559eng>
- Prosperini A. et al. A Review of the Mycotoxin Enniatin B. *Frontiers in Public Health*. 2017; 5: 304. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00304>
- Gozzi M., Blandino M., Bruni R., Capo L., Righetti L., Dall'Asta C. Mycotoxin occurrence in kernels and straws of wheat, barley, and tritordeum. *Mycotoxin Research*. 2024; 40(1): 203–210. <https://doi.org/10.1007/s12550-024-00521-w>

12. Аксенов И.В., Седова И.Б., Чалый З.А., Тутельян В.А. Альтернариатоксины как фактор риска для здоровья населения. *Анализ риска здоровью*. 2023; (4): 146–157. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.14>

13. Орина А.С., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Гогина Н.Н. Контаминация зерна в Западной Сибири грибами *Alternaria* и их микотоксинами. *Вестник защиты растений*. 2021; 104(3): 153–162. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-3-15019>

14. Castañares E., Pavicich M.A., Dinolfo M.I., Moreyra F., Stenglein S.A., Patriarca A. Natural occurrence of *Alternaria* mycotoxins in malting barley grains in the main producing region of Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020; 100(3): 1004–1011. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10101>

15. Scheilbenzuber S., Dick F., Bretträger M., Gastl M., Asam S., Rychlik M. Development of analytical methods to study the effect of malting on levels of free and modified forms of *Alternaria* mycotoxins in barley. *Mycotoxin Research*. 2022; 38(2): 137–146. <https://doi.org/10.1007/s12550-022-00455-1>

12. Aksenov I.V., Sedova I.B., Chalyy Z.A., Tutelyan V.A. *Alternaria* toxins as a risk factor for population health. *Health Risk Analysis*. 2023; (4): 146–157. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.14>

13. Orina A.S., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Gogina N.N. Contamination of grain in West Siberia by *Alternaria* fungi and their mycotoxins. *Plant Protection News*. 2021; 104(3): 153–162 (in Russian). <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-3-15019>

14. Castañares E., Pavicich M.A., Dinolfo M.I., Moreyra F., Stenglein S.A., Patriarca A. Natural occurrence of *Alternaria* mycotoxins in malting barley grains in the main producing region of Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020; 100(3): 1004–1011. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10101>

15. Scheilbenzuber S., Dick F., Bretträger M., Gastl M., Asam S., Rychlik M. Development of analytical methods to study the effect of malting on levels of free and modified forms of *Alternaria* mycotoxins in barley. *Mycotoxin Research*. 2022; 38(2): 137–146. <https://doi.org/10.1007/s12550-022-00455-1>

## ОБ АВТОРАХ

### Илья Владимирович Аксенов

кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник  
ilyaaksenoff@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4567-9347>

### Ирина Борисовна Седова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник  
isedova1977@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6011-4515>

### Захар Андреевич Чалый

младший научный сотрудник  
tokka66@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9371-8163>

### Анастасия Леонидовна Спиридонова

лаборант-исследователь  
a\_l\_spiridonova@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0008-6075-9963>

### Дарья Михайловна Компанцева

лаборант-исследователь  
pestrolistay@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0006-5232-8659>

### Ульяна Валерьевна Иванова

лаборант-исследователь  
ds557@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8962-9133>

### Людмила Павловна Захарова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник  
zaharova@ion.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7355-5259>

### Виктор Александрович Тутельян

доктор медицинских наук, профессор, академик РАН,  
заведующий лабораторией энзимологии питания,  
научный руководитель  
tutelyan@ion.ru  
<http://orcid.org/0000-0002-4164-8992>

Федеральный исследовательский центр питания,  
биотехнологии и безопасности пищи,  
Устьинский проезд, 2/14, Москва, 109240, Россия

## ABOUT THE AUTHORS

### Ilya Vladimirovich Aksenov

Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher  
ilyaaksenoff@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4567-9347>

### Irina Borisovna Sedova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher  
isedova1977@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6011-4515>

### Zakhar Andreevich Chalyy

Junior Researcher  
tokka66@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9371-8163>

### Anastasia Leonidovna Spiridonova

Laboratory Researcher  
a\_l\_spiridonova@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0008-6075-9963>

### Darya Mikhailovna Kompaintseva

Laboratory Researcher  
pestrolistay@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0006-5232-8659>

### Ulyana Valerievna Ivanova

Laboratory Researcher  
ds557@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8962-9133>

### Ludmila Pavlovna Zakharova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher  
zaharova@ion.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7355-5259>

### Viktor Alexandrovich Tutelyan

Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the  
Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory  
of Nutrition Enzymology, Scientific Supervisor  
tutelyan@ion.ru  
<http://orcid.org/0000-0002-4164-8992>

Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology  
and Food Safety,  
2/14 Ustinsky passage, Moscow, 109240, Russia

УДК 664.9.03

Научный обзор



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-101-114

**Н.А. Горбунова**

**М.Б. Ребезов** ✉

**М.И. Бабурина**

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

✉ [m.rebezov@fnpcs.ru](mailto:m.rebezov@fnpcs.ru)

Поступила в редакцию: 01.11.2025

Одобрена после рецензирования: 11.02.2026

Принята к публикации: 25.02.2026

© Горбунова Н.А., Ребезов М.Б.,  
Бабурина М.И.

## Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (Обзор, часть 2-я)

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Представлена информация о формировании некоторых из органолептических характеристик мяса — вкуса и аромате. Понимание вкуса мяса крайне важно для улучшения его качества при производстве мяса и мясопродуктов, и его анализ должен проводиться на основе комплексных химических исследований для выявления различных факторов, влияющих на состав, формирование и развитие мяса.

**Методы.** Поиск потенциально релевантных статей производили по ключевым словам в электронных базах на русском и иностранных языках.

**Результаты.** Приготовленное мясо содержит сложную смесь летучих соединений, полученных как из жирорастворимых, так и из водорастворимых компонентов. Они придают термически обработанному мясу вкусовые качества, а также характерные мясные ароматы, присущие любому приготовленному мясу.

Инновационные технологии нетермической обработки (омический нагрев, ультразвук, высокое гидростатическое давление) мясных продуктов имеют хорошие перспективы для улучшения вкуса-ароматических качеств, сокращения времени обработки и сохранения продуктов с низким содержанием соли.

Вкус мяса зависит от вида животного, пола, возраста, корма и способа обработки, и в этом отношении вкус является одним из репрезентативных показателей качества мяса.

**Ключевые слова:** реакция Майяра, деградация липидов, мясной аромат и вкус, химия вкуса, вкусовой фактор, анализ вкусовых качеств, летучие ароматические компоненты, мясные продукты

**Для цитирования:** Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Бабурина М.И. Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (Обзор, часть 2-я). *Аграрная наука*. 2026; 404(03): 101–114.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-101-114>

Review



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-101-114

**Nataliya A. Gorbunova**

**Maksim B. Rebezov** ✉

**Marina I. Baburina**

Gorbatov Research Center for Food  
Systems, Moscow, Russia

✉ [m.rebezov@fnpcs.ru](mailto:m.rebezov@fnpcs.ru)

Received by the editorial office: 01.11.2025

Accepted in revised: 11.02.2026

Accepted for publication: 25.06.2026

© Gorbunova N.A., Rebezov M.B.,  
Baburina M.I.

## The Role of Factors Affecting the Formation of Taste and Aroma of Meat Products (Review, Part 2)

### ABSTRACT

**Relevance.** This review presents information on the formation of some of the organoleptic characteristics of meat — flavor and aroma. Understanding meat flavor is crucial for improving its quality during meat and meat product production, and its analysis should be based on comprehensive chemical studies to identify the various factors influencing meat composition, formation, and development.

**Methods.** A search for potentially relevant articles was conducted using keywords in Russian and foreign language electronic databases.

**Results.** Cooked meat contains a complex mixture of volatile compounds derived from both fat-soluble and water-soluble components. These compounds impart flavor to thermally processed meat, as well as the characteristic meat aromas inherent in any cooked meat. Innovative non-thermal processing technologies (ohmic heating, ultrasound, high hydrostatic pressure) of meat products offer promising potential for improving flavor, reducing processing time, and preserving products with low salt content. Meat flavor depends on the animal species, sex, age, feed, and processing method, and in this regard, flavor is one of the representative indicators of meat quality.

**Key words:** Maillard reaction, lipid degradation, meat aroma and flavor, taste chemistry, taste factor, taste analysis, volatile aroma components, meat products

**For citation:** Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Baburina M.I. The Role of Factors Affecting the Formation of Taste and Aroma of Meat Products (Review, Part 2). *Agrarian science*. 2026; 404(03): 101–114 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-101-114>

**Введение/Introduction**

Важной потребительской характеристикой пищевых продуктов, в том числе на основе мясных, является вкус и аромат. В связи с растущей потребностью в полноценных продуктах питания, сохраняя при этом вкусовые качества, пищевая промышленность ищет новые способы влияния на вкус продуктов питания.

Исследования, направленные на понимание химического состава мясного аромата, а также на определение факторов, влияющих на вкусовые качества при производстве и переработке мяса, активно развиваются с учетом совершенствования технологий, использования различных вкусоароматических добавок, пожеланий потребителей и пр. [1].

В этом номере представлена вторая часть научного обзора «Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий»<sup>1</sup>.

**Материалы и методы исследования /  
Materials and methods**

Данный обзор направлен на выявление, сопоставление и синтез результатов эмпирических исследований, посвященных анализу механизмов и химических соединений, формирующих и придающих аромат и вкус мясным продуктам, прошедшим термическую и альтернативную нетермическую обработку с оценкой сенсорики восприятия запаха и вкуса человеком.

Методология подготовки научного обзора представлена в журнале «Аграрная наука»<sup>1</sup>.

Научный обзор был разделен на части и разделы, представленные в табл. 1.

**Результаты и обсуждение /  
Results and discussion**

**Часть 2.**

*5. Соединения, придающие аромат и вкус мясным продуктам, подвергнутым термической обработке*

Вкус мяса формируется термическим путем, а реакция Майяра, термическое разложение липидов и взаимодействие между этими двумя

реакциями в основном отвечают за образование соединений вкуса и аромата [2]. Ароматические ноты и большинство характерных вкусов, ответственных за развитие мясного вкуса, в первую очередь вносятся летучими соединениями, возникающими в результате сложных реакций, вызванных нагреванием между нелетучими компонентами постных и жировых тканей во время приготовления [3].

Понимание химии и механизма формирования аромата и вкуса мясной продукции крайне важно для производства максимально привлекательного и стабильного мясного продукта.

Привкус жареного мяса в пищевых продуктах обычно связан с присутствием гетероциклических соединений, таких как пиразины, тиазолы и оксазолы. В летучих веществах мяса обнаружено множество различных алкилпирaziнов, а также два класса интересных бициклических соединений: 6,7-дигидро-S(H)-циклопентапирaziны и пирролопирaziны [4].

В приготовленном мясе, помимо типичных мясных нот, таких как 2-метил-3-фурантиол или бис-(2-метил-3-фуран)дисульфид, присутствуют также соединения, характеризующиеся зеленым, грибным, сладким и землистым запахами, однако в совокупности они отражают типичный характер пищевого продукта<sup>2</sup> [5].

Алкилзамещенные тиазолы, как правило, имеют более низкий порог запаха, чем пиразины [3], хотя в мясе они содержатся в более низких концентрациях. Содержание обоих классов соединений заметно возрастает с увеличением интенсивности тепловой обработки, и в хорошо прожаренном мясе, приготовленном на гриле, пиразины, как сообщалось, являются основным классом летучих веществ [3].

Вероятным путем образования алкилпирaziнов является конденсация двух молекул α-аминокетона, образующихся при расщеплении аминокислот дикарбонильными соединениями по Штрекеру). Механизм образования тиазолов, основанный на механизме, предложенном Вернином [3], включает в себя хромдикарбонилы, или гидроксикетоны,

**Табл. 1. Структура научного обзора «Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий»**  
**Table 1. Structure of the scientific review “The Role of Factors Influencing the Formation of Taste and Aroma of Meat Products”**

Номер части	Наименование раздела научного обзора	Примечание
1-я	1. Восприятие запаха и вкуса человеком	Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (обзор, часть 1-я) <sup>1</sup>
	2. Летучие вещества, образующиеся в результате реакции Майяра	
	3. Взаимодействие липидов и реакция Майяра при приготовлении мяса	
	4. Фосфолипиды и мясной аромат. Влияние фосфолипидов на летучие вещества в модельных реакционных системах Майяра	
2-я	5. Соединения, придающие аромат и вкус мясным продуктам, подвергнутым термической обработке	-
	6. Вкусо-ароматические вещества и восприятие солёности	
	7. Влияние нетермических методов обработки на вкус и аромат мясных продуктов	
	8. Фактор животноводства при формировании вкуса мяса	

<sup>1</sup> Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Бабурина М.И. Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (обзор, часть 1-я). Аграрная наука. 2026; 403 (02): 135–148.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148>

<sup>2</sup> Handbook of meat, poultry and seafood quality (2nd ed.). Chichester: Wiley-Blackwell, 2007; Chapter 8. <http://dx.doi.org/10.1002/9781118352434.ch8>.

и их реакцию с сероводородом и аммиаком, образующимися в результате гидролиза или штрекеровской деградации цистеина, и альдегидом. Одной из примечательных особенностей летучих веществ, содержащихся в приготовленном мясе, является преобладание серосодержащих соединений. Большинство из них содержится в низких концентрациях, но очень низкий порог запаха делает их сильными ароматическими соединениями и важными компонентами, придающими аромат приготовленному мясу. Сравнение вареной говядины и ростбифа показывает, что в вареном мясе содержится гораздо больше алифатических тиолов, сульфидов и дисульфидов. Гетероциклические соединения с 1, 2 или 3 атомами серы в 5- и 6-членных кольцах (например, тиофены, тритиоланы, тритиановые кислоты) гораздо чаще содержатся в вареном мясе, чем в жареном. Многие из этих соединений серы имеют низкий порог запаха и отдают серой, луком и, иногда, мясом, и они, вероятно, вносят свой вклад в общий вкус, придавая сернистые нотки, которые являются частью аромата вареного мяса [3].

Группой исследователей обобщены [6] 57 соединений для деградации липидов, описанных в литературе с помощью метода GC-O (газовая хроматография-ольфактометрия) в различных видах вареного мяса (например, говядины) при термической обработке (например, варке). После подсчета определено, что эти соединения содержали 63 алифатических альдегида, 29 кетонов, 21 спирт, 14 кислот, 12 лактонов, 9 сложных эфиров и 9 фуранов. Среди них 90 соединений в вареной говядине, в том числе 37 альдегидов, 16 кетонов, 10 спиртов, 8 кислот, 6 эфиров, 2 фуранов и 11 лактонов. Шестьдесят восемь соединений содержатся в приготовленной птице (курице, утке, гусе и индейке), в том числе 34 альдегида, 11 кетонов, 11 спиртов, 2 сложных эфира, 5 лактонов, 3 кислоты и 2 фурана. Восемьдесят соединений содержится в вареной свинине, в том числе 38 альдегидов, 12 кетонов, 8 спиртов, 8 кислот, 2 сложных эфира, 8 лактонов и 4 фурана. Пятьдесят восемь соединений содержались в вареной овце, в том числе 30 альдегидов, 7 кетонов, 6 спиртов, 9 кислот, 2 фуранов и 4 сложных эфира. Пятьдесят пять соединений содержались в других видах мяса (т. е. аллигаторах, улитках и крабах), в том числе 26 альдегидов, 14 кетонов, 6 фуранов, 4 спирта и 5 кислот. Примечательно, что наибольшее количество запахов, разрушающих липиды, было обнаружено в приготовленной говядине, за ней следуют приготовленная птица, свинина, овца и другие (аллигатор, улитка, краб).

Любое приготовленное мясо обладает желаемым «мясным» ароматом, и выявление соединений, обладающих такими характеристиками, было предметом большого количества

исследований, значительная часть которых была обусловлена необходимостью создания ароматизаторов, имитирующих мясные, для использования в обработанных пикантных пищевых продуктах. В течение некоторого времени было известно, что фураны и тиофены с тиоловой группой в 3-м положении и родственные им дисульфиды обладают сильными мясными ароматами и исключительно низкими пороговыми значениями запаха, в приготовленной говядине был идентифицирован 2-метил-3-(метилтио)фуран, который обладает низким пороговым значением запаха (0,05 пг/кг) и мясным ароматом при содержании менее 1 пг/кг [3].

Исследователи<sup>3</sup> определили, что 2-метил-3-фурантиол и соответствующий дисульфид, бис-(2-метил-3-фуранил) дисульфид, являются основными компонентами мясного аромата приготовленной говядины. Пороговое значение запаха этого дисульфида, как сообщается, составляет 0,02 нг/кг, что является одним из самых низких известных пороговых. Другие тиолы и дисульфиды, содержащие 2-фуранилметильные фрагменты, были обнаружены в летучих компонентах при нагреве мяса. Оценка ароматов этих соединений с помощью газовой хроматографической колонки показала, что соединения, содержащие 2-метил-3-фуранильные группы, имеют мясные характеристики, в то время как соединения с 2-метилфуранильными группами 1, имеют обжаренный, ореховый, подгоревший вкус. Эти мясные и ореховые ароматы обнаруживаются при низких концентрациях (< 1 мкг/кг), но при более высоких концентрациях они воспринимаются как сернистые и неприятные. Пути, участвующие в образовании различных сульфидов и дисульфидов фурана, вероятно, представляют собой взаимодействие сероводорода с дикарбонилами, фуранонами и фурфуралами с образованием тиолов и меркаптокетонов [3].

Исследователями [7, 8] определены и проанализированы ключевые ароматические соединения с учетом активности запаха и распределение воды в говядине при различной продолжительности обжаривания от 0 до 18 мин с шагом 3 мин в электрической печи с помощью газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) в сочетании с хемометрическим анализом. На всех стадиях альдегиды и спирты имели самые высокие концентрации как в сырой, так и в жареной говядине. Всего во всех образцах было идентифицировано 47 одорантов, в том числе 14 спиртов, 18 альдегидов, 6 кетонов, 1 сложный эфир, 3 кислоты, 4 гетероциклических соединения и 1 другое соединение. Среди них были выбраны 11 ключевых ароматических соединений, а основной вклад в ключевые ароматические соединения внесли альдегиды и спирты. Основными альдегидами были

<sup>3</sup> Gasser U., Grosch, W. Identification of volatile flavour compounds with high aroma values from cooked beef. European Food Research and Technology. 1988; 186: 489–494.

гексанальный, гептанальный, октанальный и нонанальный, причем наибольшее значение имел гексаналь. 1-пентанол, 1-гексанол, 1-гептанол, 1-октанол и 1-октен-3-ол были основными спиртами в жареной говядине. По сравнению с сырым мясом, концентрация спиртов в жареном мясе снижалась с увеличением времени обжаривания. В общей сложности было обнаружено, что ключевыми ароматизаторами в жареной говядине являются 11 ароматических соединений, включая 1-гептанол, 1-октен-3-ол, гексаналь, октаналь, (E)-2-октеналь, (E, E)-2,4-нонадиеналь, нонаналь, (E, E)-2,4-декадиеналь, метиловый эфир гексановой кислоты, 2-пентилфуран и толуол. Различные методы обжарки могут изменять концентрацию альдегидов и спиртов, но эти запахи являются наиболее важными ароматическими соединениями в жареной говядине [7–9].

Что касается куриного мяса, то были идентифицированы многие из ключевых компонентов, отвечающих за вкус, и запах, а также механизмы их образования [10]. В курином бульоне было идентифицировано 16 основных компонентов запаха, из которых 14 структурно идентифицированы. Установлено, что 2-метил-3-фурантиол, образующийся в результате реакции Майяра и окисления липидов, является наиболее важным химическим соединением, отвечающим за мясной вкус куриного бульона. Кроме того, другие летучие соединения, полученные в результате двух вышеупомянутых реакций, включают 2-фурфурилтиол, метионол, 2,4,5-триметилтиазол, нонанол, 2-транс-ноненаль, 2-формил-5-метилтиофен, *p*-крезол, 2-транс-4-транс-нонадиеналь, 2-транс-4-транс-декадиеналь, 2-ундеценаль,  $\beta$ -ионон,  $\gamma$ -декалактон и  $\gamma$ -додекалактон. Эти соединения, очевидно, являются основными источниками куриного вкуса [11].

В курином бульоне по сравнению с говяжьим преобладали 2-транс-4-транс-декадиеналь и  $\gamma$ -додекалактон [2]. Развитие вкуса и аромата мяса птицы, как и других видов мяса частично объясняется его липидами. Несколько сотен летучих соединений образуются в приготовленном мясе в результате деградации липидов, в первую очередь, окисления жирнокислотных компонентов. Такие соединения включают алифатические углеводороды, альдегиды, спирты, кетоны, сложные эфиры, карбоновые кислоты, некоторые ароматические углеводороды и кислородсодержащие гетероциклические соединения, такие как лактоны и алкилфураны [3].

Сорок одно из 193 соединений, содержащихся во вкусе жареной курицы, являются липидными альдегидами. Гексаналь и 2,4-декадиеналь являются наиболее распространенными альдегидами, обнаруженными в курином ароматизаторе, которые, как известно, являются первичными продуктами окисления линолевой кислоты. Однако 2,4-декадиеналь считается более важным одорантом для куриного ароматизатора по

сравнению с гексаналем из-за его значительно более низкого порога обоняния [2].

Основными летучими соединениями, ответственными за вкус и аромат жареной курицы, являются 3,5-диметил-1,2,4-трителиоланы, 2,4,6-триметилпергидро-1,3,5-дифтазины, 3,5-диизобутил-1,2,4-трителиолан, 3-метил-5-бутил-1,2,4-трителиолан, 3-метил-5-пентил-1,2,4-трителиолан, 2,4-декадиеналь и транс-4,5-эпокси-транс-2-деценаль. Алкилпиразины были обнаружены во вкусах и ароматах жареной курицы, но не в курином бульоне. Предполагается, что основной причиной ухудшения вкуса и образования нежелательного «привкуса подогретого» мяса в продуктах из куриного мяса является отсутствие в нем  $\alpha$ -токоферола. Вкус жареной курицы дополнительно усиливается 2-пентилпиридином (сильный жирный и запах подобный салу), 2-изобутил-3,5-диизопропилпиридином (аромат жареного какао), 2-пентил-4-метил-5-этилтиазолом (сильный вкус перца паприки), 2-гептил-4,5-диметилтиазол (сильный пряный вкус) и 2-октил-4,5-диметилтиазол (сладкий жирный аромат) [2].

При окислении жира птицы из линолевых кислот, характерных для куриного мяса, образуются (E,E)-2,4-декадиеналь и  $\gamma$ -додекалактон [12].

В вареном мясе ягненка методом SPME-GC-MS было идентифицировано в общей сложности 26 летучих веществ, которые состояли из 1 спирта, 3 кетонов, 7 альдегидов, 3 фуранов, 1 углеводорода, 10 азот- и сернистых соединений и 1 терпена, были обнаружены [13].

Соединения гексаналь, гептаналь, октаналь, нонаналь, (E,E)-2,4-декадиеналь и 1-октен-3-ол были установлены как ключевые ароматизаторы в жареной утке по-пекински [14], (E)-2-октеналь, (E,Z)-2,6-нонадиеналь, октаналь, (E)-2-ноненаль и нонаналь являются ключевыми ароматизаторами в шашлыке из баранины, приготовленном на гриле [15]. Сообщалось, что нонаналь, (E)-2-октеналь, (E)-2-ноненаль, (E)-2-деценаль, (E,E)-2,4-декадиеналь, 1-октен-3-ол, гексаналь, октаналь и (E)-2-ундеценаль являются основными ароматическими веществами в тушеном козьем мясе с тимьяном [16]. Это может быть связано с их обычными более низкими пороговыми значениями запаха и более высокими концентрациями, чем у других соединений, разрушающих липиды в вареном мясе.

Температура и время приготовления (термические условия) являются важными параметрами при изменении структуры вкуса мясных продуктов. Более низкая температура приготовления требует меньшего расхода энергии, но для безопасности мяса необходима конечная внутренняя температура 65–80 °C [17]. Запекание требует высокой температуры в течение длительного времени, и образование продуктов окисления липидов также выше по сравнению с другими методами. С другой стороны, микроволновая обработка требует

меньше времени, но также вызывает окисление липидов [18].

Гетероциклические ароматические амины образуются в мясе при приготовлении при более высокой температуре, после приготовления эти соединения остаются в конечном продукте [19].

При длительном тушении говядины образуется 12-метилтридеканал, который является важным соединением с точки зрения ретроназального обоняния, поскольку отвечает за характерное ощущение сытости и вкуса. Это соединение характерно для говядины и не образуется при термической обработке свинины и мяса птицы [5].

*6. Вкусо-ароматические вещества и восприятие солёности*

Считается, что мясо обладает природным солёноватым привкусом. Восприятие человеком солёного вкуса в первую очередь обусловлено эпителиальными натриевыми каналами (ENaC), расположенными на специфических клетках вкусовых рецепторов в полости рта. Эти каналы определяют наличие 10 ионы натрия запускают сигнальный каскад, который, когда он превышает порог восприятия, приводит к нейронной реакции, интерпретируемой мозгом как солёный вкус. При более низких концентрациях натрия активация ENaC обычно вызывает приятные ощущения или чувство аппетита. Однако при повышении уровня натрия происходит изменение сенсорного профиля, вероятно, из-за задействования дополнительных ионных каналов или альтернативных вкусовых рецепторов, что приводит к неприятию вкуса. Этот переход служит защитным механизмом, препятствующим чрезмерному потреблению натрия [20].

Передача солёного вкуса является более сложной, чем считалось ранее. При этом могут быть задействованы как чувствительные к амилориду, так и нечувствительные к нему пути, причем последний становится особенно актуальным у людей, которые проявляют более слабую реакцию на амилорид по сравнению с грызунами. Это говорит о более широком наборе молекулярных мишеней, помимо ENaC, для восприятия вкуса соли человеком. Кроме того, в исследовании подчеркивается, что пищевые привычки, генетическая изменчивость и гормональная регуляция (например, альдостерон) могут модулировать экспрессию и функционирование ENaC, влияя на индивидуальную чувствительность к вкусу соли и предпочтения во вкусе [21].

Вкус играет ключевую роль при выборе продуктов питания. Как люди, так и животные обычно находят солёный вкус привлекательным [20]. Снижение содержания натрия в рецептурах пищевых продуктов может иметь сложные и часто нежелательные последствия для сенсорного восприятия. Ионы натрия не только обеспечивают солёность, но и подавляют восприятие горечи; таким образом снижение содержания натрия может привести к усилению горечи и снижению сладости, что

негативно сказывается на общем вкусовом балансе [22]. Эти изменения могут повлиять и на восприятие других сенсорных качеств, таких как аромат, посредством кросс-модальных взаимодействий между вкусовыми и обонятельными сигналами [20, 22]. Помимо изменения вкуса, снижение содержания натрия может повлиять на многие физико-химические и структурные показатели пищевых продуктов. В мясных продуктах натрий способствует удержанию воды, растворимости белков, обеспечивает микробиологическую стабильность и пр. [23]. Таким образом, снижение уровня соли может привести к снижению содержания влаги, ухудшению текстурных свойств и негативному влиянию на качество дрожжей и заквасок. С точки зрения безопасности пищевых продуктов, натрий также выполняет важную консервирующую функцию, снижая активность воды, что ограничивает способность микроорганизмов к порче и размножению патогенных микроорганизмов [20].

Инновационные технологии обработки пищевых продуктов имеют решающее значение для улучшения вкусовых качеств и сохранения продуктов с низким содержанием соли. Нетермические методы обработки под высоким давлением и ультразвуком являются многообещающими в этой области. Технология высокого давления, обеспечивающая обработку давлением от 100 до 1000 МПа, подавляет рост микробов и улучшает цвет, структуру и влагоудержание в продуктах с низким содержанием соли. Это также улучшает восприятие солёного вкуса, уменьшая взаимодействие ионов натрия с белками и способствуя высвобождению ионов натрия [24]. Ультразвук ускоряет диффузию соли и подавляет рост микроорганизмов, изменяя проницаемость клеточных мембран. Он значительно улучшает вкус, солёность, текстуру и переносимость ветчины с низким содержанием натрия. Несмотря на свой потенциал, эти технологии сталкиваются с такими проблемами, как высокая стоимость и необходимость дальнейшего развития сферы применения [24]. Существует возможность 3D-печати пищевых продуктов, которая может изменять текстуру пищевых продуктов, чтобы усилить их солёный вкус. Неравномерное распределение соли или сахара по пищевым продуктам может улучшить их вкусовые качества, способствуя получению более здоровой пищи с пониженным содержанием этих компонентов [25].

В ряде исследований сообщалось о способности пищевых запахов усиливать восприятие вкуса [26, 27], также возможным подходом к снижению содержания натрия в обработанных пищевых продуктах может быть использование безвкусных ароматических соединений. Этот подход основан на механизмах мультисенсорной интеграции. Интеграция между сенсорными модальностями отражается в наличии мультимодальных нейронов, которые получают сходящуюся сенсорную информацию. Например, запах клубники может

усиливать восприятие сладости, а запах соевого соуса может усиливать восприятие солёности как воспринимаемыми, так и воображаемыми запахами [27]. Вкусовая составляющая может быть вызвана ощущением запаха знакомой пищи [28]. Более того, межмодальные взаимодействия вкуса и запаха зависят не только от соответствия запаха и вкуса, но и от концентрации вкусовых соединений, что улучшает восприятие солёности [29].

Повышение солёности за счёт ароматических соединений, связанных с солью, становится все более изучаемой стратегией в пищевой науке, учитывая требования здравоохранения на снижение потребления поваренной соли. Феномен кросс-модальных взаимодействий, когда одна сенсорная модальность влияет на другую, занимает центральное место в этом подходе [30]. Запах может усиливать вкус, при этом мозг объединяет оба чувства в единое вкусовое восприятие [31]. В частности, определенные ароматы могут усиливать восприятие солёности через когнитивные ассоциации, сформированные предыдущим опытом [32]. Например, пикантные ароматы, сочетающиеся с солёным вкусом, такие как запах бекона, соевого соуса или какой-либо другой солёной пищи, обладают способностью усиливать солёность смесей NaCl и воды, особенно при низких концентрациях [30]. Несмотря на обширные исследования роли запахов, связанных с солью, в улучшении восприятия вкуса, специфическое воздействие отдельных ароматических соединений изучено недостаточно. Для определения специфических ароматических соединений в литературе использовались две основные аналитические стратегии: косвенный метод, известный как газовая хроматография/ольфактометрия вкуса, ассоциированного с запахом (GC/O-AT), и прямой метод, включающий скрининг на наличие связанных с солёностью запахов, выделяющихся ретроназально во время пероральной обработки пикантных пищевых продуктов [33].

Например, используя подход известный как газовая хроматография/ольфактометрия вкуса, ассоциированный с запахом (GC/O-AT), исследователи идентифицировали 30 различных ароматических соединений в соевом соусе, но только пять из них, как было установлено, способствуют восприятию солёности [34]. Напротив, прямой метод, применённый к Хунань Лару (копченому бекону), выявил 33 ароматических соединения, 12 из которых были способны усиливать восприятие солёного вкуса [35]. Ароматы с жирными, грибными, цветочными и фруктовыми нотами, а также серо-содержащие, азотсодержащие и фенольные отдушки, характеризующиеся пикантными, обжарочными, сульфидными, мясными или дымчатыми свойствами, как правило, были более эффективны для усиления восприятия солёности [33, 35].

В исследовании образцов жареного арахиса, куриного и овощного бульона, направленном на изучение использования специфических

ароматических соединений для улучшения восприятия солёности пищевых продуктов для снижения содержания натрия без ущерба для вкуса использовались различные ароматические соединения, в первую очередь 2-метил-3-фурантиола (аромат 1), (E, E)-2,4-декадиенала (аромат 2), а также 2,5-диметилпиразина арахиса. По результатам экспериментов было установлено следующее: 1 — добавление ароматического соединения (2,5-диметилпиразина) к образцам арахиса с пониженным содержанием поваренной соли (75% NaCl) значительно улучшило солёность, вкус умами и сладость, одновременно уменьшив ощущение горечи. Ароматические эффекты были более выраженными без использования зажима для носа, что подтверждает обонятельный эффект. 2 — в курином бульоне 2-метил-3-фурантиол успешно повышает солёность и сохраняет общий вкус, особенно при пониженном содержании поваренной соли. Напротив, (E, E)-2,4-декадиенал усиливает неприятный привкус, снижая приемлемость продукта. 3 — в овощном бульоне умеренное снижение содержания натрия хорошо переносится. 2-метил-3-фурантиол также усиливает солёность и вкус умами, в то время как (E, E)-2,4-декадиенал неизменно снижает вкусовые качества и усиливает негативные вкусовые качества. В целом, 2-метил-3-фурантиол может быть эффективен для улучшения восприятия солёности и компенсации снижения содержания натрия. (E, E)-2,4-декадиенал показал ограниченный или отрицательный эффект, что подчеркивает важность выбора соединения. Результаты подтверждают, что повышение солёности, вызываемое запахом, может быть практичным и многообещающим подходом к разработке пищевых продуктов с низким содержанием натрия без ущерба для их вкусовых качеств при разработке рецептуры продукта [21].

В исследовании Kwon G.Y. *et al.* показано, что, регулируя интенсивность солёного вкуса путем добавления глутамат натрия на слабом надпороговом уровне и/или увеличения содержания NaCl на 0,05–0,1%, глутатион значительно повысил потребительскую приемлемость говяжьего бульона [36].

#### 7. Влияние нетермических методов обработки на вкус и аромат мясных продуктов

Способ приготовления пищи играет важную роль в формировании вкуса и влияет на приемлемость и летучие компоненты вкуса мяса птицы [37]. Использование альтернативных нетермических способов воздействия на мясное сырьё открывает новые возможности к оптимизации тепловой обработки мясных продуктов.

Вяленые окорока влажного посола по сравнению с непосоленными продуктами характеризуются значительно более низким содержанием карбонильных соединений. Также было обнаружено, что в них содержится множество летучих соединений, образующихся как в результате реакций,

происходящих в мясе, так и в результате добавления специй или процесса копчения, а именно: алканы, алкены, альдегиды, кетоны, спирты, ароматические углеводороды, карбоновые кислоты, сложные эфиры, терпены, соединения серы, фураны, пиразины, амины и хлориды. Тем не менее, лишь незначительная часть этих соединений способствует формированию характерных свойств продукта. Были идентифицированы следующие ключевые летучие вещества: терпены (1,8-цинеол, линалоол, L-карвон, коричный альдегид, ментол), содержащиеся в приправах, а также соединения серы и 3-метилбутановая кислота, образующиеся в результате реакции разложения по Штрекеру [38].

В случае сыровяленых окороков альдегиды, спирты и кетоны оказывали значительное влияние на характерный вкус готовых продуктов. Анализ показал наличие: бензальдегида, 2-гептанона, гексанала, гексанола, лимонена, 3-метилбутанала, 2-нонанона, октанола, пентанола, пропанона и бутанола [39, 40].

Летучие соединения, образующиеся в процессе созревания сыровяленых и сырокопченых колбас относятся ко многим классам. Например, в колбасе салями венгерского типа было идентифицировано 51 ключевое летучее вещество. Среди них жирные кислоты и продукты ферментации (уксусная кислота, ацетальдегид, масляная кислота и 3-метилмасляная кислота), а также продукты распада аминокислот (метиональ, фенилацетальдегид и 3-метилбутаналь) [41].

Выдержка усиливает вкус мяса за счет увеличения количества вкусовых соединений, образующихся под действием ферментов, или за счет увеличения количества летучих соединений, образующихся при расщеплении жирных кислот [42, 43].

Новейшие технологии нетермической обработки, такие как ультразвук, высокое гидростатическое давление, импульсное электрическое поле, ионизирующее излучение и атмосферная холодная плазма, в качестве альтернативы традиционной тепловой обработке сделали возможным формирование вкуса и аромата мясных изделий при щадящих режимах [44, 45], учитывая, что нетермические методы обработки пищевых продуктов не требуют высоких температур при непродолжительном периоде обработки. Благодаря этому пищевая ценность и органолептические качества пищи сохраняются более эффективно, чем при обычной термической обработке [46, 47]. Указанные передовые технологии обладают потенциалом для улучшения качества пищевых продуктов за счет катализа реакций Майяра, минимизации времени обработки, передачи тепла и массопереноса [45].

Омический нагрев является бережным, непрерывным процессом нагревания пищевых продуктов. По сравнению с обычным процессом варки продукт нагревается не через греющую

поверхность, а равномерно по всему поперечному сечению, обеспечивая значительное сокращение времени, снижение затрат энергии. В последние годы омическая обработка представляет интерес для мясной промышленности как метод обеспечения качества и безопасности мясных продуктов [48, 49].

При омической обработке тепло распределяется по всему продукту гораздо быстрее и равномернее, что, в свою очередь, приводит к лучшему сохранению аромата и целостности частиц по сравнению с традиционными процессами). Сенсорный анализ не выявил заметной разницы между образцами мясной эмульсии, нагретыми до одинаковых конечных температур при варке паром и омической обработке (3, 5 и 7 В/см). Образцы мяса индейки, приготовленные методом конвекции и омической обработкой до целевой конечной температуры 95 °С, обладают более выраженным запахом по сравнению с образцами, обработанными методом омической обработки до целевой конечной температуры 72 °С. Образцы индейки, обработанные омическим нагревом, показали более низкое окисление липидов и образование сернисто-вкусовых соединений, чем образцы, обработанные в пароварке. Это может быть объяснено длительным воздействием более высоких температур на поверхностные участки мяса и последствиями термического повреждения мембранных фосфолипидов и тепловой денатурации миофибриллярного белка при обычном нагревании. [49].

Сочетание омической и инфракрасной обработки может обеспечить улучшение качественных характеристик, включая сенсорные, образцов фрикаделек при одновременном достижении энергоэффективности и сокращении общего времени приготовления по сравнению с традиционными методами приготовления [50].

Такие методы приготовления, как обработка под высоким гидростатическим давлением, приводят к образованию большого количества пиразин, пиридин, пирролов и тиазолов по сравнению с варкой куриного мяса [2]. Оценка влияния обработки высоким давлением на вкусоароматические показатели мяса, включая куриное, было различным на протяжении многих лет. Так, *Hauman et al.* [51] показали, что обработка высоким давлением не повлияла на сенсорные качества различных мясных продуктов. Однако воздействие на куриное мясо давления 300 МПа привело к улучшению вкуса и аромата по сравнению с обработкой при 450 МПа [52]. По данным *Cheah et al.* [53], при обработке свиного фарша давлением 300 МПа не наблюдалось существенного увеличения скорости окисления липидов, но при превышении этого давления скорость интенсивно возрастала.

*Schindler et al.* исследовали развитие аромата у говяжьей вырезки (*m. longissimus dorsi*) и куриного мяса, обработанного под высоким давлением

400 и 600 МПа в течение 15 мин при 5 °С, в сравнении с сырым и термически обработанным мясом (нагретым до 100 °С в течение 15 мин) [54]. Анализ образцов мяса, обработанных давлением позволил выявить в общей сложности 46 вкусовых летучих веществ, в основном спирты (11), альдегиды (15) и кетоны (11), но в незначительном количестве после 14 дней хранения. В целом, говяжье мясо содержало меньше летучих веществ, также показатели окисления липидов, такие как *n*-гексаналь, пентаналь и соединения C<sub>8</sub>, были ниже примерно в 5 раз по сравнению с образцами куриного мяса. Очевидно, что более высокая доля ПНЖК в курином мясе (28,3% по сравнению с 3,6% в говядине), а не общее содержание жира, обуславливает доминирование летучих соединений в курином мясе. Наиболее важные активные летучие вещества запаха (GC-O) были значительно ниже пороговых значений обнаружения, которые вызывают ощутимый посторонний привкус. Исследователи считают, что применение технологии высокого давления для производства высококачественных органолептически стабильных мясных продуктов является перспективным методом обработки.

Облучение влияет на вкус и аромат куриного мяса в первую очередь за счет образования свободных радикалов. Альдегиды (гексаналь, пентаналь, гептаналь, октаналь и нонаналь) и летучие соединения серы, в основном диметилтрисульфид, образующиеся во время облучения, приводят к появлению сопутствующего неприятного запаха [55]. Однако облучение электронным пучком оказало очень незначительное отрицательное воздействие на вкус предварительно нагретого мяса куриной грудки [56].

Таким образом, в процессе переработки мяса может увеличиваться количество летучих соединений, придающих продукту уникальный вкус, а механизм получения вкусовых компонентов также может меняться в зависимости от метода переработки.

#### *8. Фактор животноводства при формировании вкуса мяса*

Вкусовые качества мяса существенно различаются в зависимости от породы его происхождения. Например, мясо быков характеризуется более выраженным печеночным и кровавым запахом по сравнению с мясом телок. Это связано с содержанием таких летучих соединений, как углеводороды, альдегиды, спирты и кетоны [57, 58]. Различия во внутрикожном и подкожном жире между породами животных могут влиять на соединения, связанные со вкусом [59].

Возраст животных влияет на растворимость внутримышечного коллагена и состав жирных кислот, влияя на вкус [60].

Рацион животных оказывает большое влияние на вкусовые качества производимого мяса и, следовательно, на образующиеся летучие соединения [61, 62].

Кормление скота зерновыми увеличивает вес туши и содержание внутримышечного жира по сравнению с кормлением зелеными кормами. Говядина, полученная от животных, получавших зеленые корма, характеризуется более высоким содержанием линоленовой кислоты и более низким содержанием олеиновой и линолевой кислот, чем говядина, полученная от животных, получавших кормовые концентраты, что в конечном итоге влияет и на образующиеся летучие вещества [63, 64].

Как правило, мясо, полученное из системы органического производства, имеет вкус и аромат, которые более предпочтительны для потребителей [65]. Однако, встречаются исключения.

Мясо жвачных свободного выпаса содержит больше линоленовой кислоты и дополнительных *n*-3 полиненасыщенных жирных кислот, что приводит к негативной органолептической оценке вкуса мяса («рыбный», «травянистый» привкус, «запах дичи»), в то время как мясо жвачных, питающихся зерном, содержит больше олеиновой, линолевой и других *n*-6 полиненасыщенных жирных кислот [47, 63].

Мясо овец, пасущихся на пастбищах, богато терпенами и дитерпеноидами, тогда как мясо овец, получающих кормовые смеси, характеризуется высокой концентрацией  $\gamma$ -лактонов.

Sivadier G. и соавторы [66] предполагают, что 2,3-октандион может быть биомаркером, подтверждающим происхождение баранины от животных, питающихся пастбищами.

Особое влияние на формирование вкуса мяса птицы приписывается линоленовой кислоте, однако диета, богатая льняным и рапсовым маслами может оказывать отрицательное воздействие, придавая посторонний запах и вкус [67]. Напротив, положительные изменения в ароматических соединениях наблюдаются при добавлении в рацион животных токоферолов [68, 69] и травы [70]. Рацион, богатый токоферолами и селеном, предотвращает образование сернистых соединений, нежелательных в сыром мясе [71].

Говядина, полученная от крупного рогатого скота знаменитой породы Вагю, имеет более насыщенный вкус, чем мясо, полученное от молочных пород в связи с тем, что она содержит больше летучих веществ и более высокую концентрацию летучих кислот, лактонов и альдегидов по сравнению с мясом молочных пород, характеризующимся высоким содержанием альдегидов и спиртов. Это связано и со способом выращивания данной породы [72].

Характеристики мышечных волокон (миоглобина) влияют на мраморность и вкус мяса. Скорость окисления миоглобина и его содержание уникальны для каждого типа мышц; производители поддерживают высокую долю красных мышечных волокон, что приводит к увеличению его содержания и покраснению мяса [73].

Различные мышцы, полученные от одного и того же животного, различаются по вкусовым качествам. Как правило, мышцы с более высокой кинетической активностью обладают более выраженным вкусом по сравнению с менее активными мышцами [74].

Стрессовые факторы окружающей среды, эмоциональный стресс или истощение запасов гликогена в мышцах приводят к необычно высокому pH и темному пурпурно-красному цвету мяса («темная вырезка»). Стейки из верхней части вырезки и поясничной части из говядины темной вырезки имеют менее желаемый вкус, чем стейки из обычных туш. Более того, стейки из темной вырезки содержат больше посторонних привкусов, таких как «кислый», «горький» и «арахисовый», по сравнению со стейками из обычных туш [75, 76].

**Выводы/Conclusions**

Вкус и аромат мяса — это комплексный сенсорный атрибут, который существенно влияет на предпочтения потребителей и общее восприятие качества мяса. Они формируются в результате сложного взаимодействия между различными летучими и нелетучими соединениями, образующимися во время переработки, приготовления и хранения мяса.

Ключевыми факторами, влияющими на вкус мяса, являются продукты реакции Майяра, продукты окисления липидов и ряд аминокислот, пептидов и нуклеотидов. Эти соединения взаимодействуют, создавая различные ароматы, вкусы и общие вкусовые характеристики, которые отличают различные виды мяса и определяют их приемлемость для потребителей.

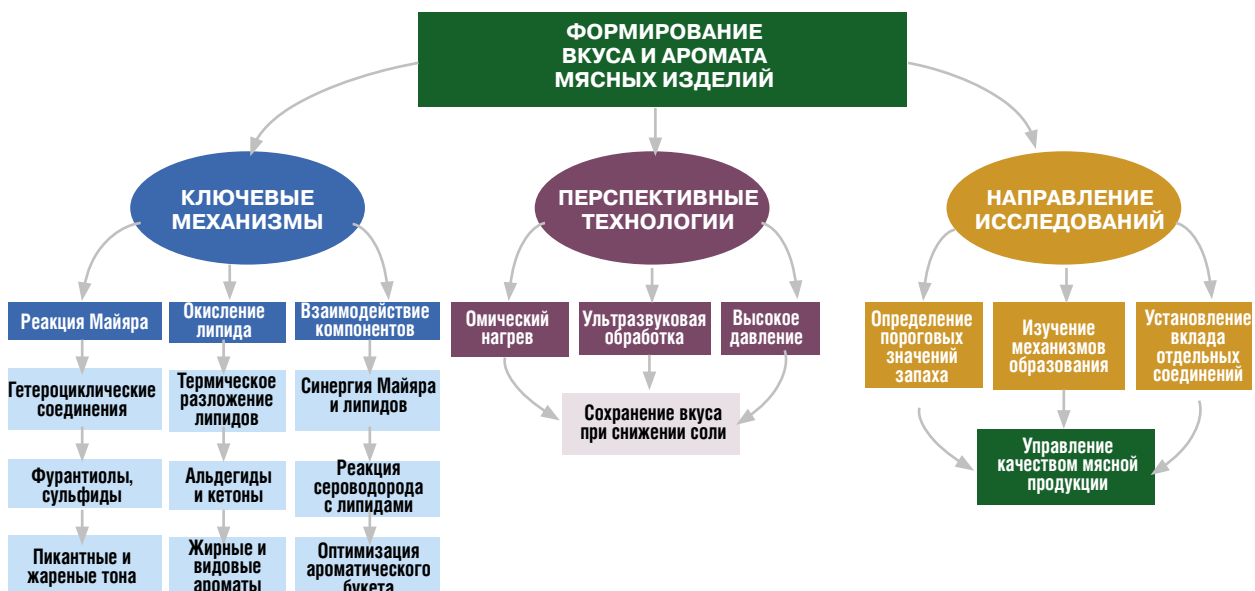
Приготовленное мясо содержит сложную смесь летучих соединений, полученных как из жирорастворимых, так и из водорастворимых

компонентов. Они придают термически обработанному мясу вкусовые качества, а также характерные мясные ароматы, присущие любому приготовленному мясу. Термическое разложение липидов приводит к образованию соединений, которые придают приготовленному мясу жирный аромат, а также соединений, определяющих вкус различных видов мяса. Реакция Майяра в основном ответственна за большое количество гетероциклических соединений, которые содержатся в летучих веществах вареного мяса и придают ему пикантный вкус, а также вкус жареного и вареного отварного мяса. Фурантиолы, а также сульфиды и дисульфиды фурана являются очень важными вкусовыми соединениями с исключительно низкими пороговыми значениями запаха, которые отвечают за характерный мясной аромат. Пытаясь понять роль реакции Майяра во вкусе мяса (и других термобработанных пищевых продуктах), исходную реакцию сахара и аминокислоты можно рассматривать как источник продуктов дегидратации сахара, главным образом фурфуралов, фуранонов и дикарбонильных соединений.

В результате сопутствующих реакций (например, деградация по Штрекеру) образуются другие простые соединения, такие как альдегиды, аммиак и сероводород. Вкус является результатом различных взаимодействий этих промежуточных продуктов. Другие компоненты мяса также могут вступать в реакцию с продуктами реакции Майяра. Альдегиды, образующиеся при окислении липидов, участвуют в реакциях этих промежуточных продуктов Майяра (особенно сероводорода и аммиака) с образованием других летучих соединений. Фосфолипиды являются важными источниками этих продуктов окисления липидов. Участвуя в таких взаимодействиях, липиды, по-видимому, контролируют образование соединений серы во

**Рис. 2.** Заключительная схема научного обзора

**Fig. 2.** Final outline of the scientific review



время приготовления мяса, и предполагается, что это обеспечивает механизм, с помощью которого концентрация важных соединений серы в приготовленном продукте поддерживается на оптимальном уровне.

Инновационные технологии нетермической обработки (омический нагрев, ультразвук, высокое гидростатическое давление) мясных продуктов имеют хорошие перспективы для улучшения вкусо-ароматических качеств, сокращения времени обработки и сохранения продуктов с низким содержанием соли.

Анализ литературных данных показывает, что в дальнейшем усилия исследователей должны быть сосредоточены на определении пороговых

значений запаха большего количества соединений с одновременным выяснением механизма их образования. Это позволит понять роль ароматизаторов в формировании аромата приготовленного мяса и улучшения качества вкуса мяса.

Выводы по проведенном обзоре (часть 1 [77] и часть 2) возможно представить в виде схемы, представленной на рисунке 2.

Представленная схема позволяет достаточно быстро понять комплексный характер формирования вкуса и аромата мясных изделий, а также перспективы дальнейших научных исследований в этой области и технологических разработок в мясной индустрии.

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

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

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kerth C.R., Miller R.K. Beef flavor: a review from chemistry to consumer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(14): 2783–2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7204>
2. Jayasena D.D., Ahn D.U., Nam K.C., Jo C. Flavour Chemistry of Chicken Meat: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2013; 26(5): 732–742. <http://doi.org/10.5713/ajas.2012.12619>
3. Mottram D.S. Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*. 1998; 62(4): 415–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4)
4. Flament I., Kohler M., Aschiero R. Sur l'arôme de viande de boeuf grillée II. Dihydro-6,7-5H-cyclopenta[b]pyrazines, identification et mode de formation. *Helvetica Chimica Acta*. 1976; 59(7): 2308–2313. <https://doi.org/10.1002/hlca.19760590703>
5. Kosowska M., Majcher M.A., Fortuna T. Volatile compounds in meat and meat products. *Food Science and Technology*. 2017; 37(1): 1–7. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.08416>
6. Sohail A. et al. Aroma compounds identified in cooked meat: A review. *Food Research International*. 2022; 157: 111385. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111385>
7. Specht K., Baltés W. Identification of Volatile Flavor Compounds with High Aroma Values from Shallow-Fried Beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1994, 42(10): 2246–2253. <https://doi.org/10.1021/jf00046a031>
8. Wang Y.-R., Luo R.-M., Wang S.-L. Water distribution and key aroma compounds in the process of beef roasting. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 978622. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.978622>
9. Liu H., Ma J., Pan T., Suleman R., Wang Z., Zhang D. Effects of roasting by charcoal, electric, microwave and superheated steam methods on (non)volatile compounds in oyster cuts of roasted lamb. *Meat Science*. 2021; 172: 108324. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108324>
10. Aliani M., Farmer L.J. Precursors of Chicken Flavor. II. Identification of Key Flavor Precursors Using Sensory Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 53(16): 6455–6462. <https://doi.org/10.1021/jf050087d>
11. Kerler J., Grosch W. Character impact odorants of boiled chicken: changes during refrigerated storage and reheating. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*. 1997; 205(3): 232–238. <https://doi.org/10.1007/s002170050157>
12. Chen J., Ho C.-T. The flavour of pork. Shahidi F. (ed.). *Flavor of Meat, Meat Products and Seafoods*. London: *Blackie Academic & Professional*. 1998; 61–83.

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

#### REFERENCES

1. Kerth C.R., Miller R.K. Beef flavor: a review from chemistry to consumer. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(14): 2783–2798. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7204>
2. Jayasena D.D., Ahn D.U., Nam K.C., Jo C. Flavour Chemistry of Chicken Meat: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2013; 26(5): 732–742. <http://doi.org/10.5713/ajas.2012.12619>
3. Mottram D.S. Flavour formation in meat and meat products: a review. *Food Chemistry*. 1998; 62(4): 415–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00076-4)
4. Flament I., Kohler M., Aschiero R. Identification of alkyl-5H-6,7-dihydrocyclopenta[b]pyrazines in roasted meat flavor. Model reaction used as basis for natural product formation and new synthesis. *Helvetica Chimica Acta*. 1976; 59(7): 2308–2313 (in French). <https://doi.org/10.1002/hlca.19760590703>
5. Kosowska M., Majcher M.A., Fortuna T. Volatile compounds in meat and meat products. *Food Science and Technology*. 2017; 37(1): 1–7. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.08416>
6. Sohail A. et al. Aroma compounds identified in cooked meat: A review. *Food Research International*. 2022; 157: 111385. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111385>
7. Specht K., Baltés W. Identification of Volatile Flavor Compounds with High Aroma Values from Shallow-Fried Beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1994, 42(10): 2246–2253. <https://doi.org/10.1021/jf00046a031>
8. Wang Y.-R., Luo R.-M., Wang S.-L. Water distribution and key aroma compounds in the process of beef roasting. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 978622. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.978622>
9. Liu H., Ma J., Pan T., Suleman R., Wang Z., Zhang D. Effects of roasting by charcoal, electric, microwave and superheated steam methods on (non)volatile compounds in oyster cuts of roasted lamb. *Meat Science*. 2021; 172: 108324. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108324>
10. Aliani M., Farmer L.J. Precursors of Chicken Flavor. II. Identification of Key Flavor Precursors Using Sensory Methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 53(16): 6455–6462. <https://doi.org/10.1021/jf050087d>
11. Kerler J., Grosch W. Character impact odorants of boiled chicken: changes during refrigerated storage and reheating. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*. 1997; 205(3): 232–238. <https://doi.org/10.1007/s002170050157>
12. Chen J., Ho C.-T. The flavour of pork. Shahidi F. (ed.). *Flavor of Meat, Meat Products and Seafoods*. London: *Blackie Academic & Professional*. 1998; 61–83.

13. Ma Q. *et al.* Effect of chilled and freezing pre-treatments prior to pulsed electric field processing on volatile profile and sensory attributes of cooked lamb meats. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016; 37(C): 359–374. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.009>
14. Liu H. *et al.* Characterization of Key Aroma Compounds in Beijing Roasted Duck by Gas Chromatography–Olfactometry–Mass Spectrometry, Odor-Activity Values, and Aroma-Recombination Experiments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019; 67(20): 5847–5856. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01564>
15. Du W., Zhen D., Wang Y., Cheng J., Xie J. Characterization of the key odorants in grilled mutton shashlik with or without suet brushing during grilling. *Flavour and Fragrance Journal*. 2020; 36(1): 111–120. <https://doi.org/10.1002/ffj.3621>
16. Qi S., Wang P., Zhan P., Tian H. Characterization of key aroma compounds in stewed mutton (goat meat) added with thyme (*Thymus vulgaris* L.) based on the combination of instrumental analysis and sensory verification. *Food Chemistry*. 2022; 371: 131111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131111>
17. Choi H.-S. *et al.* Effect of Chicory Fiber and Smoking on Quality Characteristics of Restructured Sausages. *Food Science of Animal Resources*. 2016; 36(1): 131–136. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.1.131>
18. Tornberg E. Effects of heat on meat proteins — Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*. 2005; 70(3): 493–508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
19. Domínguez R., Gómez M., Fonseca S., Lorenzo J.M. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. *Meat Science*. 2014; 97(2): 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.023>
20. Liem D.G., Miremadi F., Keast R.S.J. Reducing Sodium in Foods: The Effect on Flavor. *Nutrients*. 2011; 3(6): 694–711. <https://doi.org/10.3390/nu3060694>
21. Sarap B. The Impact of Various Aroma Compounds on the Perception of Saltiness in Foods. Bachelor thesis. Tallinn. 2025; 42.
22. Breslin P.A.S. An evolutionary perspective on food and human taste. *Current Biology*. 2013; 23(9): R409–R418. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.010>
23. Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science*. 2006; 74(1): 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.014>
24. Liu S., Gu Y., Zheng R., Sun B., Zhang L., Zhang Y. Progress in Multisensory Synergistic Salt Reduction. *Foods*. 2024; 13(11): 1659. <https://doi.org/10.3390/foods13111659>
25. Pereira T., Barroso S., Gil M.M. Food Texture Design by 3D Printing: A Review. *Foods*. 2021; 10(2): 320. <https://doi.org/10.3390/foods10020320>
26. Salles C. Odour-taste interactions in flavour perception. Voilley A., Etiévant P. (eds.). *Flavour in Food*. Woodhead Publishing. 2006; 345–368. <https://doi.org/10.1533/9781845691400.3.345>
27. Syarifuddin A., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T. Reducing Sodium Content in Cheeses While Increasing Salty Taste and Fat Perception Using Aroma. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 873427. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.873427>
28. Stevenson R.J., Prescott J., Boakes R.A. The acquisition of taste properties by odors. *Learning and Motivation*. 1995; 26(4): 433–455. [https://doi.org/10.1016/S0023-9690\(05\)80006-2](https://doi.org/10.1016/S0023-9690(05)80006-2)
29. Nasri N., Beno N., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T. Cross-modal interactions between taste and smell: Odour-induced saltiness enhancement depends on salt level. *Food Quality and Preference*. 2011; 22(7): 678–682. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.05.001>
30. Hou J., Huang J., Huang T., Guo X., Huang M. Global trends and challenges in salt reduction: Exploring odor-induced saltiness enhancement as a strategy to reduce salt intake. *Trends in Food Science & Technology*. 2025; 160: 105030. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105030>
31. Sinding C., Thibault H., Hummel T., Thomas-Danguin T. Odor-Induced Saltiness Enhancement: Insights Into The Brain Chronometry Of Flavor Perception. *Neuroscience*. 2021; 452: 126–137. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.10.029>
32. Shen D. *et al.* Reduction of sodium chloride: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022; 102(10): 3931–3939. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11859>
33. Ji H. *et al.* Effectively saltiness enhanced odorants screening and prediction by database establish, sensory evaluation and deep learning method. *Food Chemistry*. 2025; 467: 142307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142307>
13. Ma Q. *et al.* Effect of chilled and freezing pre-treatments prior to pulsed electric field processing on volatile profile and sensory attributes of cooked lamb meats. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016; 37(C): 359–374. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.009>
14. Liu H. *et al.* Characterization of Key Aroma Compounds in Beijing Roasted Duck by Gas Chromatography–Olfactometry–Mass Spectrometry, Odor-Activity Values, and Aroma-Recombination Experiments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019; 67(20): 5847–5856. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01564>
15. Du W., Zhen D., Wang Y., Cheng J., Xie J. Characterization of the key odorants in grilled mutton shashlik with or without suet brushing during grilling. *Flavour and Fragrance Journal*. 2020; 36(1): 111–120. <https://doi.org/10.1002/ffj.3621>
16. Qi S., Wang P., Zhan P., Tian H. Characterization of key aroma compounds in stewed mutton (goat meat) added with thyme (*Thymus vulgaris* L.) based on the combination of instrumental analysis and sensory verification. *Food Chemistry*. 2022; 371: 131111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131111>
17. Choi H.-S. *et al.* Effect of Chicory Fiber and Smoking on Quality Characteristics of Restructured Sausages. *Food Science of Animal Resources*. 2016; 36(1): 131–136. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2016.36.1.131>
18. Tornberg E. Effects of heat on meat proteins — Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*. 2005; 70(3): 493–508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.11.021>
19. Domínguez R., Gómez M., Fonseca S., Lorenzo J.M. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat. *Meat Science*. 2014; 97(2): 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.01.023>
20. Liem D.G., Miremadi F., Keast R.S.J. Reducing Sodium in Foods: The Effect on Flavor. *Nutrients*. 2011; 3(6): 694–711. <https://doi.org/10.3390/nu3060694>
21. Sarap B. The Impact of Various Aroma Compounds on the Perception of Saltiness in Foods. Bachelor thesis. Tallinn. 2025; 42.
22. Breslin P.A.S. An evolutionary perspective on food and human taste. *Current Biology*. 2013; 23(9): R409–R418. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.010>
23. Desmond E. Reducing salt: A challenge for the meat industry. *Meat Science*. 2006; 74(1): 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.014>
24. Liu S., Gu Y., Zheng R., Sun B., Zhang L., Zhang Y. Progress in Multisensory Synergistic Salt Reduction. *Foods*. 2024; 13(11): 1659. <https://doi.org/10.3390/foods13111659>
25. Pereira T., Barroso S., Gil M.M. Food Texture Design by 3D Printing: A Review. *Foods*. 2021; 10(2): 320. <https://doi.org/10.3390/foods10020320>
26. Salles C. Odour-taste interactions in flavour perception. Voilley A., Etiévant P. (eds.). *Flavour in Food*. Woodhead Publishing. 2006; 345–368. <https://doi.org/10.1533/9781845691400.3.345>
27. Syarifuddin A., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T. Reducing Sodium Content in Cheeses While Increasing Salty Taste and Fat Perception Using Aroma. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 873427. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.873427>
28. Stevenson R.J., Prescott J., Boakes R.A. The acquisition of taste properties by odors. *Learning and Motivation*. 1995; 26(4): 433–455. [https://doi.org/10.1016/S0023-9690\(05\)80006-2](https://doi.org/10.1016/S0023-9690(05)80006-2)
29. Nasri N., Beno N., Septier C., Salles C., Thomas-Danguin T. Cross-modal interactions between taste and smell: Odour-induced saltiness enhancement depends on salt level. *Food Quality and Preference*. 2011; 22(7): 678–682. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.05.001>
30. Hou J., Huang J., Huang T., Guo X., Huang M. Global trends and challenges in salt reduction: Exploring odor-induced saltiness enhancement as a strategy to reduce salt intake. *Trends in Food Science & Technology*. 2025; 160: 105030. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.105030>
31. Sinding C., Thibault H., Hummel T., Thomas-Danguin T. Odor-Induced Saltiness Enhancement: Insights Into The Brain Chronometry Of Flavor Perception. *Neuroscience*. 2021; 452: 126–137. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2020.10.029>
32. Shen D. *et al.* Reduction of sodium chloride: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022; 102(10): 3931–3939. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11859>
33. Ji H. *et al.* Effectively saltiness enhanced odorants screening and prediction by database establish, sensory evaluation and deep learning method. *Food Chemistry*. 2025; 467: 142307. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.142307>

34. Zhou T., Feng Y., Thomas-Danguin T., Zhao M. Enhancement of saltiness perception by odorants selected from Chinese soy sauce: A gas chromatography/olfactometry-associated taste study. *Food Chemistry*. 2021; 335: 127664. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127664>
35. Pu D. *et al.* Decoding of the enhancement of saltiness perception by aroma-active compounds during Hunan Larou (smoke-cured bacon) oral processing. *Food Chemistry*. 2025; 463(1): 141029. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141029>
36. Kwon G.Y., Hong J.H., Kim Y.S., Lee S.M., Kim K.O. Sensory Characteristics and Consumer Acceptability of Beef Stock Containing Glutathione Maillard Reaction Products Prepared at Various Conditions. *Journal of Food Science*. 2011; 76(1): S1–S7. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01946.x>
37. Sañudo C. *et al.* Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. *Meat Science*. 2000; 54(4): 339–346. [http://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00108-4](http://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00108-4)
38. Ramarathnam N., Rubin L.J., Diosady L.L. Studies on meat flavor. 3. A novel method for trapping volatile components from uncured and cured pork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1993; 41(6): 933–938. <http://doi.org/10.1021/jf00030a019>
39. Luna G., Aparicio R., García-González D.L. A tentative characterization of white dry-cured hams from Teruel (Spain) by SPME-GC. *Food Chemistry*. 2006; 97(4): 621–630. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.039>
40. García-González D.L., Tena N., Aparicio-Ruiz R., Morales M.T. Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams. *Meat Science*. 2008; 80(2): 315–325. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.015>
41. Söllner K., Schieberle P. Decoding the Key Aroma Compounds of a Hungarian-Type Salami by Molecular Sensory Science Approaches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009; 57(10): 4319–4327. <http://doi.org/10.1021/jf900402e>
42. Dou L. *et al.* Effects of oxidative stability variation on lamb meat quality and flavor during postmortem aging. *Journal of Food Science*. 2022; 87(6): 2578–2594. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16138>
43. Liu H. *et al.* A lipidomic and volatilomic approach to map the lipid profile and related volatile compounds in roasted quail meat using circulating non-fried roast technology. *Food Chemistry*. 2024; 461: 140948. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140948>
44. Afzal A. *et al.* The chemistry of flavor formation in meat and meat products in response to different thermal and non-thermal processing techniques: An overview. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022; 46: e16847. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16847>
45. Hernández-Hernández H.M., Moreno-Vilet L., Villanueva-Rodríguez S.J. Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2019; 58: 102233. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233>
46. Zhang Z.-H., Wang L.-H., Zeng X.-A., Han Z., Brennan C.S. Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 2019; 54(1): 1–13. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13903>
47. Khan M.I., Jo C., Tari M.R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors—A systematic review. *Meat Science*. 2015; 110: 278–284. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.002>
48. Tornberg E. Engineering processes in meat products and how they influence their biophysical properties. *Meat Science*. 2013; 95(4): 871–878. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.053>
49. Yildiz-Turp G., Sengun I.Y., Kendirci P., Icier F. Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Science*. 2013; 93(3): 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.10.013>
50. Turp G.Y., Icier F., Kor G. Influence of infrared final cooking on color, texture and cooking characteristics of ohmically pre-cooked meatball. *Meat Science*. 2016; 114: 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.006>
51. Hayman M.M., Baxter I., O’riordan P.J., Stewart C.M. Effects of High-Pressure Processing on the Safety, Quality, and Shelf Life of Ready-to-Eat Meats. *Journal of Food Protection*. 2004; 67(8): 1709–1718. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-67.8.1709>
34. Zhou T., Feng Y., Thomas-Danguin T., Zhao M. Enhancement of saltiness perception by odorants selected from Chinese soy sauce: A gas chromatography/olfactometry-associated taste study. *Food Chemistry*. 2021; 335: 127664. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127664>
35. Pu D. *et al.* Decoding of the enhancement of saltiness perception by aroma-active compounds during Hunan Larou (smoke-cured bacon) oral processing. *Food Chemistry*. 2025; 463(1): 141029. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141029>
36. Kwon G.Y., Hong J.H., Kim Y.S., Lee S.M., Kim K.O. Sensory Characteristics and Consumer Acceptability of Beef Stock Containing Glutathione Maillard Reaction Products Prepared at Various Conditions. *Journal of Food Science*. 2011; 76(1): S1–S7. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01946.x>
37. Sañudo C. *et al.* Fatty acid composition and sensory characteristics of lamb carcasses from Britain and Spain. *Meat Science*. 2000; 54(4): 339–346. [http://doi.org/10.1016/s0309-1740\(99\)00108-4](http://doi.org/10.1016/s0309-1740(99)00108-4)
38. Ramarathnam N., Rubin L.J., Diosady L.L. Studies on meat flavor. 3. A novel method for trapping volatile components from uncured and cured pork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1993; 41(6): 933–938. <http://doi.org/10.1021/jf00030a019>
39. Luna G., Aparicio R., García-González D.L. A tentative characterization of white dry-cured hams from Teruel (Spain) by SPME-GC. *Food Chemistry*. 2006; 97(4): 621–630. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.039>
40. García-González D.L., Tena N., Aparicio-Ruiz R., Morales M.T. Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams. *Meat Science*. 2008; 80(2): 315–325. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.015>
41. Söllner K., Schieberle P. Decoding the Key Aroma Compounds of a Hungarian-Type Salami by Molecular Sensory Science Approaches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009; 57(10): 4319–4327. <http://doi.org/10.1021/jf900402e>
42. Dou L. *et al.* Effects of oxidative stability variation on lamb meat quality and flavor during postmortem aging. *Journal of Food Science*. 2022; 87(6): 2578–2594. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16138>
43. Liu H. *et al.* A lipidomic and volatilomic approach to map the lipid profile and related volatile compounds in roasted quail meat using circulating non-fried roast technology. *Food Chemistry*. 2024; 461: 140948. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140948>
44. Afzal A. *et al.* The chemistry of flavor formation in meat and meat products in response to different thermal and non-thermal processing techniques: An overview. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022; 46: e16847. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16847>
45. Hernández-Hernández H.M., Moreno-Vilet L., Villanueva-Rodríguez S.J. Current status of emerging food processing technologies in Latin America: Novel non-thermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2019; 58: 102233. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102233>
46. Zhang Z.-H., Wang L.-H., Zeng X.-A., Han Z., Brennan C.S. Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 2019; 54(1): 1–13. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13903>
47. Khan M.I., Jo C., Tari M.R. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors—A systematic review. *Meat Science*. 2015; 110: 278–284. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.08.002>
48. Tornberg E. Engineering processes in meat products and how they influence their biophysical properties. *Meat Science*. 2013; 95(4): 871–878. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.053>
49. Yildiz-Turp G., Sengun I.Y., Kendirci P., Icier F. Effect of ohmic treatment on quality characteristic of meat: A review. *Meat Science*. 2013; 93(3): 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.10.013>
50. Turp G.Y., Icier F., Kor G. Influence of infrared final cooking on color, texture and cooking characteristics of ohmically pre-cooked meatball. *Meat Science*. 2016; 114: 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.006>
51. Hayman M.M., Baxter I., O’riordan P.J., Stewart C.M. Effects of High-Pressure Processing on the Safety, Quality, and Shelf Life of Ready-to-Eat Meats. *Journal of Food Protection*. 2004; 67(8): 1709–1718. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-67.8.1709>

52. Kruk Z.A., Yun H., Rutley D.L., Lee E.J., Kim Y.J., Jo. C. The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. *Food Control*. 2011; 22(1): 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.06.003>
53. Cheah P.B., Ledward D.A. High pressure effects on lipid oxidation in minced pork. *Meat Science*. 1996; 43(2): 123–134. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)84584-0](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)84584-0)
54. Schindler S., Krings U., Berger R.G., Orlie V. Aroma development in high pressure treated beef and chicken meat compared to raw and heat treated. *Meat Science*. 2010; 86(2): 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.036>
55. Patterson R.L.S., Stevenson M.H. Irradiation-induced off-odor in chicken and its possible control. *British Poultry Science*. 1995; 36(3): 425–441. <https://doi.org/10.1080/00071669508417789>
56. Rababah T., Hettiarachchy N.S., Horax R., Cho M.J., Davis B., Dickson J. Thiobarbituric Acid Reactive Substances and Volatile Compounds in Chicken Breast Meat Infused with Plant Extracts and Subjected to Electron Beam Irradiation. *Poultry Science*. 2006; 85(6): 1107–1113. <https://doi.org/10.1093/ps/85.6.1107>
57. Gorraiz C., Beriain M.J., Chasco J., Insausti K. Effect of Aging Time on Volatile Compounds, Odor, and Flavor of Cooked Beef from Pirenaica and Friesian Bulls and Heifers. *Journal of Food Science*. 2002; 67(3): 916–922. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09428.x>
58. Arshad M.S. *et al.* Ruminant meat flavor influenced by different factors with special reference to fatty acids. *Lipids in Health and Disease*. 2018; 17: 223. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0860-z>
59. Jayasena D.D., Nam K.C., Kim J.J., Ahn H., Jo C. Association of carcass weight with quality and functional properties of beef from Hanwoo steers. *Animal Production Science*. 2015; 55(5): 680–690. <https://doi.org/10.1071/AN13411>
60. Jaborek J.R., Zerby H.N., Wick M.P., Fluharty F.L., Moeller S.J. Effect of energy source and level, animal age, and sex on the flavor profile of sheep meat. *Translational Animal Science*. 2020; 4(2): 1140–1147. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa081>
61. Wood J.D. *et al.* Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*. 2008; 78(4): 343–358. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>
62. Дорохин Н.А. Качественные характеристики мяса цыплят-бройлеров и факторы, влияющие на них: обзор. *Сельскохозяйственный журнал*. 2020; (5): 59–64. EDN ZTYGU
63. Elmore J.S., Warren H.E., Mottram D.S., Scollan N.D., Enser M., Richardson R.I., Wood J.D. A comparison of the aroma volatiles and fatty acid compositions of grilled beef muscle from Aberdeen Angus and Holstein-Friesian steers fed diets based on silage or concentrates. *Meat Science*. 2004; 68(1): 27–33. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.010>
64. Watkins P.J., Frank D., Singh T.K., Young O.A., Warner R.D. Sheepmeat Flavor and the Effect of Different Feeding Systems: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013; 61(15): 3561–3579. <https://doi.org/10.1021/jf303768e>
65. Horsted K., Allesen-Holm B.H., Hermansen J.E., Kongsted A.G. Sensory profiles of breast meat from broilers reared in an organic niche production system and conventional standard broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012; 92(2): 258–265. <http://doi.org/10.1002/jsfa.4569>
66. Sivadier G., Ratel J., Engel E. Persistence of pasture feeding volatile biomarkers in lamb fats. *Food Chemistry*. 2010; 118(2): 418–425. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.088>
67. Kostecka M., Łobacz M. Lipidy mięsa kurzego — tłuszcz nie(d) oceniony. Cz. I. Charakterystyka tłuszczu kurzego i wybrane metody modyfikacji. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*. 2009; 1: 98–103.
68. Сандул П.А., Горидовцев Е.В. Липидный состав и физико-химические особенности мяса цыплят-бройлеров при скармливании токоферолов. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. Сборник трудов по материалам национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора биологических наук, профессора, Заслуженного работника Высшей школы РФ, Почетного работника высшего профессионального образования РФ, Почетного гражданина Брянской области Егора Павловича Ващекина*. Брянск: Брянский ГАУ. 2022; 1: 179–184. EDN UBKELR
52. Kruk Z.A., Yun H., Rutley D.L., Lee E.J., Kim Y.J., Jo. C. The effect of high pressure on microbial population, meat quality and sensory characteristics of chicken breast fillet. *Food Control*. 2011; 22(1): 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.06.003>
53. Cheah P.B., Ledward D.A. High pressure effects on lipid oxidation in minced pork. *Meat Science*. 1996; 43(2): 123–134. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(96\)84584-0](https://doi.org/10.1016/0309-1740(96)84584-0)
54. Schindler S., Krings U., Berger R.G., Orlie V. Aroma development in high pressure treated beef and chicken meat compared to raw and heat treated. *Meat Science*. 2010; 86(2): 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.036>
55. Patterson R.L.S., Stevenson M.H. Irradiation-induced off-odor in chicken and its possible control. *British Poultry Science*. 1995; 36(3): 425–441. <https://doi.org/10.1080/00071669508417789>
56. Rababah T., Hettiarachchy N.S., Horax R., Cho M.J., Davis B., Dickson J. Thiobarbituric Acid Reactive Substances and Volatile Compounds in Chicken Breast Meat Infused with Plant Extracts and Subjected to Electron Beam Irradiation. *Poultry Science*. 2006; 85(6): 1107–1113. <https://doi.org/10.1093/ps/85.6.1107>
57. Gorraiz C., Beriain M.J., Chasco J., Insausti K. Effect of Aging Time on Volatile Compounds, Odor, and Flavor of Cooked Beef from Pirenaica and Friesian Bulls and Heifers. *Journal of Food Science*. 2002; 67(3): 916–922. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09428.x>
58. Arshad M.S. *et al.* Ruminant meat flavor influenced by different factors with special reference to fatty acids. *Lipids in Health and Disease*. 2018; 17: 223. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0860-z>
59. Jayasena D.D., Nam K.C., Kim J.J., Ahn H., Jo C. Association of carcass weight with quality and functional properties of beef from Hanwoo steers. *Animal Production Science*. 2015; 55(5): 680–690. <https://doi.org/10.1071/AN13411>
60. Jaborek J.R., Zerby H.N., Wick M.P., Fluharty F.L., Moeller S.J. Effect of energy source and level, animal age, and sex on the flavor profile of sheep meat. *Translational Animal Science*. 2020; 4(2): 1140–1147. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa081>
61. Wood J.D. *et al.* Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science*. 2008; 78(4): 343–358. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.07.019>
62. Dorohin N.A. Quality characteristics of broiler chicken meat and their influencing factors: an overview. *Agricultural Journal*. 2020; (5): 59–64 (in Russian). EDN ZTYGU
63. Elmore J.S., Warren H.E., Mottram D.S., Scollan N.D., Enser M., Richardson R.I., Wood J.D. A comparison of the aroma volatiles and fatty acid compositions of grilled beef muscle from Aberdeen Angus and Holstein-Friesian steers fed diets based on silage or concentrates. *Meat Science*. 2004; 68(1): 27–33. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.01.010>
64. Watkins P.J., Frank D., Singh T.K., Young O.A., Warner R.D. Sheepmeat Flavor and the Effect of Different Feeding Systems: A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013; 61(15): 3561–3579. <https://doi.org/10.1021/jf303768e>
65. Horsted K., Allesen-Holm B.H., Hermansen J.E., Kongsted A.G. Sensory profiles of breast meat from broilers reared in an organic niche production system and conventional standard broilers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012; 92(2): 258–265. <http://doi.org/10.1002/jsfa.4569>
66. Sivadier G., Ratel J., Engel E. Persistence of pasture feeding volatile biomarkers in lamb fats. *Food Chemistry*. 2010; 118(2): 418–425. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.088>
67. Kostecka M., Łobacz M. Lipids of chicken meat — invaluable fat. Part I. Characteristics of chicken fat and selected modification methods. *Advances in Food Processing Technology*. 2009; 1: 98–103 (in Polish).
68. Sandul P.A., Goridovets E.V. Lipid composition and physico-chemical features of broiler chicken meat at feeding of tocopherols. *Actual problems of intensive development of animal husbandry. Collection of papers based on the materials of the national scientific and practical conference with international participation, dedicated to the memory of Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Citizen of the Bryansk Region E.P. Vashchekin*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2022; 1: 179–184 (in Russian). EDN UBKELR

69. Темираев Р.Б., Цогоева Ф.Н., Баева А.А., Кожоков М.К., Арамисов А.М., Пилов А.Х. Влияние селенита натрия, токоферола и пробиотика на антиоксидантный статус сельскохозяйственной птицы. *Научный журнал КубГАУ*. 2013; 87: 376–385. EDN RCEVIH

70. Maślanko W., Pisarski R.K. The effect of herbs on the share of abdominal fat and its fatty acid profile in broiler chickens. *Annales UMCS, Zootechnica*. 2009; 27(3): 28–34. <http://doi.org/10.2478/v10083-009-0013-y>

71. Wojtasik-Kalinowska I. et al. Volatile compounds and fatty acids profile in *Longissimus dorsi* muscle from pigs fed with feed containing bioactive components. *LWT - Food Science and Technology*. 2016; 67: 112–117. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.023>

72. Sato M. et al. Study on factors related to beef quality—On the flavor and umami taste of Japanese Black cattle branded beef. *Animal Science and Technology*. 1995; 66(3): 274–282 (на яп. яз.).

73. Legako J.F. et al. Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles. *Meat Science*. 2015; 100: 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.026>

74. Castellini C., Berri C., Le Bihan-Duval E., Martino G. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *World's Poultry Science Journal*. 2008; 64(4): 500–512. <http://doi.org/10.1017/S0043933908000172>

75. Wulf D.M., Emmett R.S., Leheska J.M., Moeller S.J. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*. 2002; 80(7): 1895–1903. <https://doi.org/10.2527/2002.8071895x>

76. Ляпин О.А., Торшков А.А., Тайгузин Р.Ш., Ляпина В.О. Коррекция стрессов и ее влияние на качественные достоинства мяса бычков в условиях интенсивной технологии. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020; (5): 196–201. EDN UTUYFE

77. Горбунова Н.А., Ребезов М.Б., Бабурина М.И. Роль факторов, влияющих на формирование вкуса и аромата мясных изделий (обзор, часть 1-я). *Аграрная наука*. 2026; 403(02): 135–148. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148>

#### ОБ АВТОРАХ:

##### 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>

##### Марина Ивановна Бабурина

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник  
m.baburina@fncps.ru

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

69. Temiraev R.B., Tsogoeva F.N., Baeva A.A., Kozhokov M.K., Aramisov A.M., Pilov A.Kh. Sodium selenite, tocoferol and probiotic affect on the antioxidant status of the agricultural poultry. *Scientific Journal of KubSAU*. 2013; 87: 376–385 (in Russian). EDN RCEVIH

70. Maślanko W., Pisarski R.K. The effect of herbs on the share of abdominal fat and its fatty acid profile in broiler chickens. *Annales UMCS, Zootechnica*. 2009; 27(3): 28–34. <http://doi.org/10.2478/v10083-009-0013-y>

71. Wojtasik-Kalinowska I. et al. Volatile compounds and fatty acids profile in *Longissimus dorsi* muscle from pigs fed with feed containing bioactive components. *LWT - Food Science and Technology*. 2016; 67: 112–117. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.023>

72. Sato M. et al. Study on factors related to beef quality—On the flavor and umami taste of Japanese Black cattle branded beef. *Animal Science and Technology*. 1995; 66(3): 274–282 (in Japanese).

73. Legako J.F. et al. Consumer palatability scores and volatile beef flavor compounds of five USDA quality grades and four muscles. *Meat Science*. 2015; 100: 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.10.026>

74. Castellini C., Berri C., Le Bihan-Duval E., Martino G. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *World's Poultry Science Journal*. 2008; 64(4): 500–512. <http://doi.org/10.1017/S0043933908000172>

75. Wulf D.M., Emmett R.S., Leheska J.M., Moeller S.J. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*. 2002; 80(7): 1895–1903. <https://doi.org/10.2527/2002.8071895x>

76. Lyapin O.A., Torshkov A.A., Taiguzin R.Sh., Lyapina V.O. Stress correction and its effect on beef qualities of steers kept under conditions of intensive technology. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; (5): 196–201 (in Russian). EDN UTUYFE

77. Gorbunova N.A., Rebezov M.B., Baburina M.I. The Role of Factors Affecting the Formation of Taste and Aroma of Meat Products (review, part 1). *Agrarian science*. 2026; 403(02): 135–148 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-135-148>

#### ABOUT THE AUTHORS:

##### 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>

##### Marina Ivanovna Baburina

Candidate of biological sciences, leading research scientist  
m.baburina@fncps.ru

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

УДК 664+661.123

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-115-122

Р.И. Фаткуллин<sup>1</sup> ✉И.В. Калинина<sup>1</sup>Н.В. Науменко<sup>1</sup>Г.К. Одинцов<sup>2</sup>С.А. Ханнанова<sup>2</sup>Н.И. Фаткуллина<sup>1</sup><sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия<sup>2</sup>Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

✉ fatkullinri@susu.ru

Поступила в редакцию: 20.11.2025

Одобрена после рецензирования: 11.02.2026

Принята к публикации: 25.02.2026

© Фаткуллин Р.И., Калинина И.В., Науменко Н.В., Одинцов Г.К., Ханнанова С.А., Фаткуллина Н.И.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-115-122

Rinat I. Fatkullin<sup>1</sup> ✉Irina V. Kalinina<sup>1</sup>Natalya V. Naumenko<sup>1</sup>Georgiy K. Odintsov<sup>2</sup>Sofya A. Khannanova<sup>2</sup>Nelli I. Fatkullina<sup>1</sup><sup>1</sup>South Ural State University, Chelyabinsk, Russia<sup>2</sup>ITMO University, St. Petersburg, Russia

✉ fatkullinri@susu.ru

Received by the editorial office: 20.11.2025

Accepted in revised: 11.02.2026

Accepted for publication: 25.02.2026

© Fatkullin R.I., Kalinina I.V., Naumenko N.V., Odintsov G.K., Khannanova S.A., Fatkullina N.I.

## Оптимизация микробного синтеза витамина *B<sub>12</sub>* *Propionibacterium*

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Витамин *B<sub>12</sub>* (кобаламин) является жизненно важным биологически активным соединением, участвующим в регуляции клеточного метаболизма, кроветворении и функционировании нервной системы. Его дефицит приводит к тяжелым метаболическим и неврологическим нарушениям. Промышленное получение витамина *B<sub>12</sub>* преимущественно осуществляется микробиологическим методом, поскольку химический синтез кобаламина является технологически сложным и экономически нецелесообразным. Среди микроорганизмов-продуцентов особый интерес представляют пропионовокислые бактерии рода *Propionibacterium*, характеризующиеся высокой биосинтетической активностью. При этом параметры культивирования существенно влияют на выход целевого продукта, что определяет актуальность оптимизации условий биосинтеза.

**Методы.** Объектом исследования служили заквасочные культуры двух видов. Культивирование проводили в анаэробных условиях на жидкой питательной среде с лактозой, дрожжевым экстрактом и пептоном. Физиологическое состояние культур оценивали микроскопически и по динамике удельной скорости роста. Варьировали температуру (25, 30 и 35 °С) и продолжительность инкубации (12, 16 и 20 ч). Содержание витамина *B<sub>12</sub>* определяли спектрофотометрически при 361 нм. Дополнительно изучали влияние хлорида кобальта. Эксперименты проводили в трехкратной повторности.

**Результаты.** Максимальный выход витамина *B<sub>12</sub>* (до 897 мкг/мл) достигался при температуре 35 °С и времени культивирования 16 ч. Оптимизация условий позволила повысить выход кобаламина более чем на 40%. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и масштабировании биотехнологических процессов.

**Ключевые слова:** витамин *B<sub>12</sub>*, *Propionibacterium*, микробный синтез, параметры культивирования, оптимизация, хлорид кобальта

**Для цитирования:** Фаткуллин Р.И. и др. Оптимизация микробного синтеза витамина *B<sub>12</sub>* пропионовокислыми бактериями *Propionibacterium*. *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 115–122.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-115-122>

## Optimization of microbial synthesis of vitamin *B<sub>12</sub>* by *Propionibacterium jensenii*

### ABSTRACT

**Abstract.** Vitamin *B<sub>12</sub>* (cobalamin) is an essential biologically active compound involved in the regulation of cellular metabolism, hematopoiesis, and the functioning of the nervous system. Its deficiency leads to severe metabolic and neurological disorders. Industrial production of vitamin *B<sub>12</sub>* is mainly carried out using microbiological methods, since chemical synthesis of cobalamin is technologically complex and economically inefficient. Among vitamin *B<sub>12</sub>* — producing microorganisms, propionic acid bacteria of the genus *Propionibacterium* are of particular interest due to their high biosynthetic activity. At the same time, cultivation parameters significantly affect the yield of the target product, which determines the relevance of optimizing biosynthesis conditions.

**Methods.** Two types of starter cultures were used as the objects of the study. Cultivation was performed under anaerobic conditions in a liquid nutrient medium containing lactose, yeast extract, and peptone. The physiological state of the cultures was assessed microscopically and by analyzing the dynamics of the specific growth rate. Temperature (25, 30, and 35 °C) and incubation time (12, 16, and 20 h) were varied. Vitamin *B<sub>12</sub>* content was determined spectrophotometrically at a wavelength of 361 nm. The effect of cobalt chloride supplementation in the culture medium was also evaluated. All experiments were carried out in triplicate.

**Results.** The maximum yield of vitamin *B<sub>12</sub>* (up to 897 µg/mL) was achieved at a temperature of 35 °C and a cultivation time of 16 h. Optimization of cultivation conditions increased cobalamin production by more than 40%. The obtained results can be applied in the development and scale-up of biotechnological processes.

**Key words:** vitamin *B<sub>12</sub>*, *Propionibacterium*, microbial synthesis, cultivation parameters, optimization, cobalt chloride

**For citation:** Fatkullin R.I. et al. Optimization of microbial synthesis of vitamin *B<sub>12</sub>* by *Propionibacterium*. *Agrarian science*. 2026; 404 (03): 115–122 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-115-122>

### Введение/Introduction

Витамин  $B_{12}$  (цианокобаламин) представляет собой сложное кобальтсодержащее соединение, участвующее во множестве ключевых биохимических реакций, обеспечивающих нормальное функционирование организма человека. Он необходим для синтеза нуклеиновых кислот, метионина и креатина, для метаболизма жирных кислот с нечетным числом атомов углерода и нормального протекания цикла Кребса. Биологическая активность кобаламина определяется наличием уникальной связи «углерод — кобальт», которая обеспечивает его коферментные функции в виде метилкобаламина и аденозилкобаламина [1–6].

Недостаток витамина  $B_{12}$  сопровождается развитием мегалобластных анемий, нарушениями нервной проводимости и снижением когнитивных функций. Естественным источником витамина  $B_{12}$  являются исключительно микроорганизмы, обладающие специфическим набором ферментов для биосинтеза корринового кольца — центрального фрагмента молекулы кобаламина. В организме человека данный витамин синтезируется представителями кишечного микробиома, однако в количествах, недостаточных для покрытия физиологической потребности [7–10].

В связи с этим для фармацевтической и пищевой промышленности актуальной задачей является разработка биотехнологических способов промышленного получения кобаламина. Химический синтез витамина  $B_{12}$  экономически нецелесообразен из-за сложности структуры молекулы, многостадийности и низкого выхода целевого продукта [9, 11–14].

В настоящее время основным направлением получения витамина  $B_{12}$  является микробный биосинтез [5, 8] с использованием бактерий рода *Propionibacterium* и *Pseudomonas* [15–20].

Исследования показали, что именно пропионовокислые бактерии обладают высокой стабильностью метаболизма, способностью к длительному анаэробному росту и выраженной активностью в отношении синтеза коферментных форм кобаламина.

Наиболее известными продуцентами витамина  $B_{12}$  являются *Propionibacterium freudenreichii* и *Propionibacterium jensenii*, применяемые как в лабораторных исследованиях, так и в промышленных масштабах. Эти микроорганизмы способны синтезировать кобаламин при сравнительно мягких условиях культивирования и демонстрируют устойчивость к колебаниям pH и концентрации субстратов. При этом метаболическая активность культур и выход витамина существенно зависят от физико-химических

параметров среды [9, 12, 15], соотношения источников углерода и азота, температуры, кислотности и времени инкубации [21–25].

Целью настоящей работы являлась оптимизация параметров микробного синтеза цианокобаламина с использованием *Propionibacterium* как продуцента витамина  $B_{12}$ . Для достижения поставленной цели решались задачи: изучить влияние температуры и времени культивирования на накопление цианокобаламина, определить оптимальные параметры процесса и выявить закономерности, определяющие эффективность биосинтеза витамина. Концептуальная схема исследований предоставлена на рис. 1.

### Материалы и методы исследования / Materials and methods

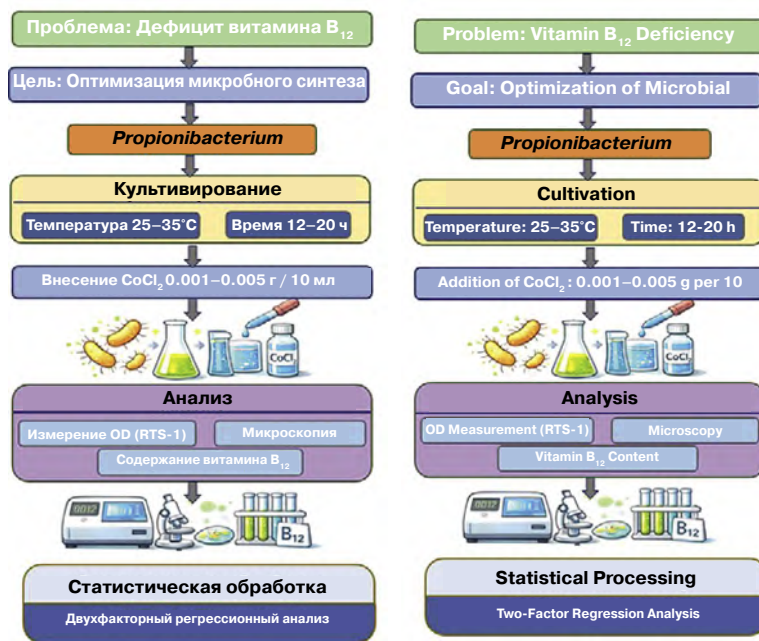
Исследования проводились в период апрель–июль 2025 г в научно-исследовательских лабораториях ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» (Челябинск, Россия).

Объектом исследования являлись пропионовокислые бактерии *Propionibacterium* — грамположительные анаэробные микроорганизмы, используемые в промышленной биотехнологии для синтеза витаминов группы В и органических кислот.

В работе использовали коммерческие культуры *Propionibacterium freudenreichii subsp. Shermanii* — KM 186 «Пропионикс» (Россия) и *Propionibacterium freudenreichii ssp. shermanii*, *Propionibacterium freudenreichii ssp. Globosum* компании «Sacco» (Италия), относящиеся к числу стандартных промышленных заквасочных культур.

Выбор данных микроорганизмов был обусловлен необходимостью валидации разрабатываемых условий культивирования на генетически

Рис. 1. Концептуальная схема исследований  
Fig. 1. Conceptual scheme of the study



стабильных и технологически воспроизводимых культурах, представляющих собой моноштаммовую закваску (образец «Пропионикс») и комплексную двухштаммовую культуру (образец «Sacco»).

Для культивирования бактерий использовали жидкую питательную среду, содержащую лактозу (10 г/л), дрожжевой экстракт (5 г/л) и пептон (10 г/л). Среда стерилизовалась при 121 °C в течение 30 мин. Культивирование проводили в анаэробных условиях при различных температурах (25, 30 и 35 °C) и времени (12, 16 и 20 ч). Все эксперименты проводились в трехкратной повторности.

Физиологическое состояние культур контролировали методом микроскопии по светлomu полю с окраской метиленовым синим. Для оценки кинетики роста микроорганизмов использовали биореактор пробирочного типа RTS-1 (BioSan, Латвия), предназначенный для непрерывного мониторинга оптической плотности и автоматического управления условиями культивирования. Кривые удельной скорости роста регистрировали в режиме реального времени с использованием встроенной системы турбидиметрии. Культивирование вели при температуре 30 °C и перемешивании 100 об/мин.

Для определения содержания витамина  $B_{12}$  проводили экстракцию цианокобаламина из биомассы насыщенным раствором сульфата аммония и изоамиловым спиртом, после чего измеряли оптическую плотность при длине волны 361 нм (спектрофотометр СФ-2000, Россия). Концентрацию витамина определяли по градуировочному графику, построенному по стандартным растворам цианокобаламина (чистота 99,8 %, НПО «Эко-тек», Россия).

Для установления оптимальных условий биосинтеза витамина  $B_{12}$  и оценки совместного влияния температуры и продолжительности культивирования на его накопление применяли двухфакторный регрессионный анализ. В качестве независимых переменных использовали температуру культивирования ( $X_1$ ) и время культивирования ( $X_2$ ), а в качестве отклика — концентрацию витамина  $B_{12}$  в культуральной жидкости. На основе экспериментальных данных строили квадратичные регрессионные модели, включающие линейные и квадратичные члены. Адекватность моделей оценивали по критерию Фишера<sup>1</sup>. Для визуализации полученных зависимостей строили поверхности отклика, позволяющие определить область экстремума и оптимальные значения факторов.

Также для оценки возможности интенсификации биосинтеза витамина  $B_{12}$  пропионовоокислыми бактериями и установления рациональной концентрации кобальта как структурного компонента корринового кольца в питательную среду дополнительно вносили хлорид кобальта ( $CoCl_2$ )

в различных концентрациях (0,001; 0,003 и 0,005 г на 10 мл среды). Выбор диапазона концентраций был обусловлен необходимостью охватить как потенциально лимитирующие, так и избыточные уровни микроэлемента, способные оказывать стимулирующее либо ингибирующее действие на метаболические пути синтеза кобаламина. Добавку  $CoCl_2$  вносили перед стерилизацией среды.

Эффективность биосинтеза витамина  $B_{12}$  оценивали по его накоплению в культуральной жидкости после завершения культивирования.

Используемое в исследованиях сырье и материалы соответствовали требованиям нормативной документации, поставлялись с сертификатами соответствия, паспортами качества и др. сопроводительными документами.

Статистическую обработку результатов проводили методами вариационной статистики. Данные представлены как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение. Достоверность различий оценивали при уровне значимости  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе исследований оценивали морфологию и жизнеспособность культур пропионовоокислых бактерий.

На рис. 2 представлены результаты микроскопии фиксированного препарата бактерий.

Обе культуры демонстрируют характерную морфологию *Propionibacterium*: мелкие клетки палочковидной или слегка округлой формы, расположенные преимущественно одиночно.

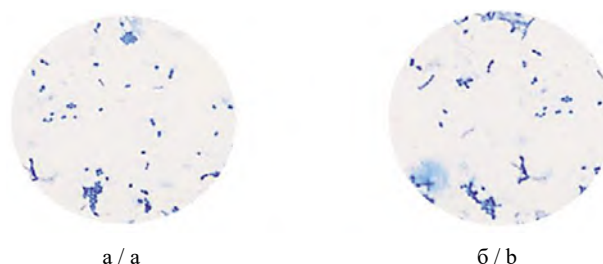
Для предварительной характеристики физиологического состояния исследуемых культур была проведена регистрация кривых удельной скорости роста в биореакторе RTS-1.

На рис. 3 представлены графики изменения оптической плотности во времени для штаммов *Propionibacterium* «Пропионикс» и «Sacco».

Анализ представленных данных показывает, что обе заквасочные культуры характеризуются типичной для пропионовоокислых бактерий кривой роста. Однако бактерии заквасочной культуры

**Рис. 2.** Микроскопирование пропионовоокислых бактерий (фиксированный препарат, окраска метиленовым синим, увеличение  $\times 1620$ ): а) «Пропионикс»; б) «Sacco»

**Fig. 2.** Microscopic examination of propionic acid bacteria (fixed preparation, methylene blue staining,  $\times 1620$ ): (a) "Propionix"; (b) "Sacco"



<sup>1</sup> <https://studfile.net/preview/10714919/page:3/>

**Рис. 3.** Кривые регистрации изменения показателя удельного роста биомассы для образцов пропионовокислых бактерий: а) «Пропионикс»; б) «Sacco»

**Fig. 3.** Curves showing the recorded changes in the specific biomass growth rate for propionic acid bacteria samples: (a) «Propionix»; (b) «Sacco»



«Пропионикс» демонстрируют более выраженный экспоненциальный участок, что указывает на интенсивное деление клеток и потенциально более высокую биосинтетическую активность. Пропионовокислые бактерии закваски «Sacco» характеризуются более длительной лаг-фазой и меньшим наклоном экспоненциального участка, что свидетельствует о медленной адаптации к среде, сниженной активности культуры в сравнении с закваской «Пропионикс» [12, 16–19].

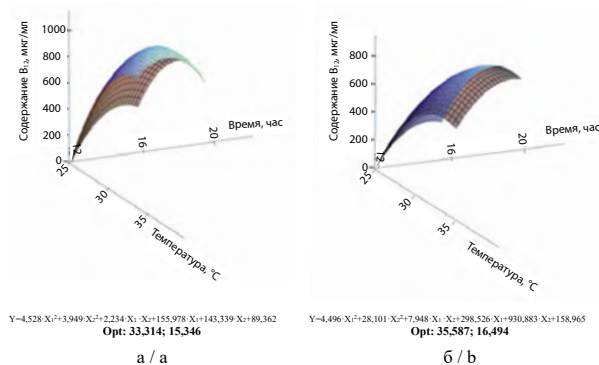
Для установления оптимальных условий биосинтеза витамина  $B_{12}$  были определены количественные показатели его накопления при разных температурах и времени культивирования.

В таблице 1 приведены полученные значения.

Результаты экспериментальных исследований показали, что температура и длительность культивирования оказывают статистически значимое

**Рис. 4.** Результаты оптимизации процесса синтеза витамина  $B_{12}$  пропионовокислыми бактериями исследуемых заквасочных культур: а) «Пропионикс»; б) «Sacco»

**Fig. 4.** Results of optimization of the vitamin  $B_{12}$  synthesis process by propionic acid bacteria of the studied starter cultures: (a) «Propionix»; (b) «Sacco»



влияние на накопление витамина  $B_{12}$  в культуральной жидкости.

Наиболее высокий выход витамина для бактерий обеих заквасочных культур наблюдается в диапазоне температур 30–35 °С.

Культивирование бактерий заквасочной культуры «Пропионикс» при температуре 30 °С в течение 16 ч продемонстрировало наиболее высокий выход витамина  $B_{12}$  —  $826,5 \pm 1,3$  мкг/мл. Увеличение продолжительности культивирования этих микроорганизмов до 20 ч привело к снижению значений искомого показателя, что, очевидно, связано с переходом клеток в стационарную фазу или истощением питательной среды.

Для поиска оптимальных условий культивирования *Propionibacterium* был использован двухфакторный регрессионный анализ (рис. 4).

Построенные поверхности отклика демонстрируют экстремумы в диапазоне температур 33–35 °С при времени культивирования 15–17 ч.

Предложенные математические модели адекватно описывают экспериментальные данные и могут быть использованы для прогноза параметров процесса биосинтеза витамина  $B_{12}$  при масштабировании.

Полученные данные согласуются с известными особенностями метаболизма пропионовокислых бактерий, для которых оптимальный диапазон температур находится в пределах 30–35 °С. Геометрия поверхностей носит схожий характер и демонстрирует выраженный наклон в сторону повышения температуры при фиксированном времени культивирования, что указывает на выраженную зависимость биосинтетической активности

**Таблица 1.** Средние значения содержания витамина  $B_{12}$  в культуральной жидкости *Propionibacterium* исследуемых образцов заквасочных культур, мкг/мл

**Table 1.** Mean values of vitamin  $B_{12}$  content in the culture liquid of *Propionibacterium* in the studied starter culture samples,  $\mu\text{g/mL}$

Время культивирования, ч	Содержание витамина $B_{12}$ , мкг/мл (заквасочная культура «Пропионикс»)			Содержание витамина $B_{12}$ , мкг/мл (заквасочная культура «Sacco»)		
	25 °С	30 °С	35 °С	25 °С	30 °С	35 °С
12	412,6 ± 1,2	439,4 ± 1,4	680,0 ± 1,5	306,6 ± 1,1	401,3 ± 1,6	347,3 ± 1,8
16	390,7 ± 1,4	826,5 ± 1,3	782,2 ± 1,4	312,5 ± 1,8	621,6 ± 1,6	570,4 ± 1,5
20	409,2 ± 1,1	670,3 ± 1,1	695,0 ± 1,6	347,0 ± 1,4	596,1 ± 1,5	457,6 ± 1,6

*Propionibacterium* от температуры. Наблюдаемый рост концентрации витамина  $B_{12}$  при повышении температуры до  $\sim 35$  °C может быть обусловлен увеличением активности ферментативного комплекса, участвующего в биосинтезе корринового кольца витамина  $B_{12}$ .

В пути синтеза кобаламина задействовано около 30 ферментативных стадий, включая последовательные метилирования и перестройки тетрапиррольного предшественника, каталитически осуществляемые ферментами, такими как *CobA* (метилтрансфераза, превращает уропорфириноген III в прекооррин-2), *CobI* (метилтрансфераза, превращает прекооррин-2 в прекооррин-3А), *CobM* (метилтрансфераза, действует на прекооррин-4) и *CobL* (вовлечен в дальнейшие модификации макроцикла). Эти ферменты требуют точной координации и конформационной подвижности активных центров для эффективного катализа промежуточных реакций, что делает их чувствительными к температуре и физико-химическим условиям среды. Умеренное повышение температуры в диапазоне 30–35 °C может способствовать оптимизации кинетических параметров ферментативных реакций, увеличению каталитических констант при еще не критическом влиянии на стабильность белковых структур, а также ускорению потока метаболитов по пути кобаламинового биосинтеза. В этих условиях скорость формирования корринового кольца и суммарный выход витамина  $B_{12}$  могут увеличиваться [13, 14, 21–26].

Установленное снижение концентрации витамина к 20-му часу культивирования также имеет четкое биохимическое обоснование. Переход культуры в стационарную фазу сопровождается как истощением доступных источников углерода и азота, так и накоплением органических кислот, способных изменять pH среды и влиять на процессы биосинтеза. Эти факторы приводят к перераспределению метаболических потоков в сторону выживания, а не синтеза энергоемких молекул, включая кобаламин. Кроме того, на поздних стадиях роста часть витамина  $B_{12}$  может переходить из свободной формы в связанное состояние внутри клетки, что дополнительно может снижать его измеряемую концентрацию в культуральной жидкости [14–17, 22, 23, 26].

Сравнение данных по различным штаммам двух исследуемых заквасочных культур пропионовокислых бактерий позволило установить, что при внешне сходных кривых роста биосинтетическая активность штаммов существенно различается.

Моновидовая заквасочная культура бактерий «Пропионикс» продемонстрировала более высокий уровень синтеза витамина  $B_{12}$ , чем бактерии заквасочной культуры «Сассо» примерно в 1,33 раза в условиях оптимума. Это согласуется с данными литературы, согласно которым генетические вариации в кластере *cob/cbi* пропионовокислых бактерий определяют различия в

Таблица 2. Содержание витамина  $B_{12}$  в среде с добавлением различных концентраций  $\text{CoCl}_2$

Table 2. Vitamin  $B_{12}$  content in the medium supplemented with different concentrations of  $\text{CoCl}_2$

Количество вносимого хлорида кобальта	Содержание витамина $B_{12}$ , мкг/мл	
	«Пропионикс»	«Сассо»
(0,001 г $\text{CoCl}_2$ /10 мл)	530,4 $\pm$ 0,3	426,2 $\pm$ 0,6
(0,003 г $\text{CoCl}_2$ /10 мл)	864,3 $\pm$ 0,5	738,0 $\pm$ 0,3
(0,005 г $\text{CoCl}_2$ /10 мл)	145,5 $\pm$ 0,4	96,1 $\pm$ 0,4

регуляции ферментов поздних стадий синтеза кобаламина. В частности, более высокий уровень витамина у штамма «Пропионикс» при 35 °C, вероятно, свидетельствует о лучшем согласовании процессов образования 5,6-диметилбензимидазола и последующей сборки корриноидной структуры [14, 17, 21–26].

Таким образом, экспериментальные данные подтверждают, что оптимизация физических параметров среды позволяет увеличить выход витамина  $B_{12}$  без изменения состава питательной среды и применения индукторов роста. Полученные зависимости могут быть использованы при разработке технологических регламентов для микробного синтеза кобаламина.

Для изучения возможности интенсификации процесса биосинтеза витамина  $B_{12}$  была проведена серия экспериментов по влиянию присутствия в питательной среде предшественников цианокобаламина — Co в разных концентрациях (табл. 2).

Результаты показывают, что при добавлении 0,003 г/10 мл  $\text{CoCl}_2$  наблюдается наиболее высокие значения содержания витамина  $B_{12}$  в культуральной жидкости (864,3 $\pm$ 0,5 мкг/мл и 738,0 $\pm$ 0,3 мкг/мл для бактерий заквасочных культур «Пропионикс» и «Сассо» соответственно). При меньшей дозе предшественника среда оказывается недостаточно насыщенной кобальтом, что ограничивает образование корринового кольца.

При увеличении концентрации  $\text{CoCl}_2$  до 0,005 г/10 мл происходит резкое снижение выхода витамина, что можно объяснить ингибирующим эффектом избытка ионов  $\text{Co}^{2+}$  на ферменты поздних стадий синтеза, а также возможным нарушением ионного гомеостаза клетки [13, 14, 18, 21–23].

### Выводы/Conclusions

В результате проведенных исследований установлены количественные закономерности влияния температуры, продолжительности культивирования и обеспеченности ионами кобальта на интенсивность микробного синтеза витамина  $B_{12}$  пропионовокислыми бактериями рода *Propionibacterium*. Показано, что варьирование физических параметров среды в диапазоне 25–35 °C и времени культивирования 12–20 ч оказывает статистически значимое влияние ( $p < 0,05$ ) на накопление кобаламина в культуральной жидкости.

Экспериментально установлено, что для заквасочной культуры «Пропионикс» максимальное

содержание витамина  $B_{12}$  достигает  $826,5 \pm 1,3$  мкг/мл при температуре  $30^\circ\text{C}$  и времени культивирования 16 ч, тогда как для культуры «Sacco» при аналогичных условиях оно составляет  $621,6 \pm 1,6$  мкг/мл. Таким образом, биосинтетическая активность моноштаммовой культуры «Пропионикс» в оптимальных условиях превышает показатели комплексной культуры «Sacco» примерно в 1,3 раза, что указывает на существенное влияние штаммовых особенностей на эффективность кобаламинового биосинтеза.

Применение двухфакторного регрессионного анализа позволило определить область оптимума процесса в интервале  $33\text{--}35^\circ\text{C}$  и 15–17 ч, при которых достигается максимальный выход витамина  $B_{12}$  без увеличения длительности ферментации и изменения состава питательной среды.

Дополнительно установлено, что введение хлорида кобальта в концентрации 0,003 г/10 мл среды приводит к увеличению содержания витамина  $B_{12}$  до  $864,3 \pm 0,5$  мкг/мл для культуры «Пропионикс»

и  $738,0 \pm 0,3$  мкг/мл для культуры «Sacco», что соответствует росту выхода кобаламина на 15–18% по сравнению с оптимальными условиями без добавления предшественника. При дальнейшем увеличении концентрации  $\text{CoCl}_2$  до 0,005 г/10 мл наблюдается резкое ингибирование биосинтеза и снижение выхода витамина более чем в 5 раз, что подтверждает узкий диапазон физиологически допустимых концентраций кобальта.

Таким образом, показано, что целенаправленная оптимизация температурно-временных параметров культивирования в сочетании с рациональной микроэлементной поддержкой позволяет увеличить выход витамина  $B_{12}$  более чем на 40% без усложнения технологии. Полученные результаты имеют практическую значимость для разработки ресурсосберегающих и управляемых биотехнологических процессов микробного синтеза кобаламина и могут быть использованы при проектировании промышленных биореакторных систем и регламентов производства.

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 при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-26-00278.

#### FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 25-26-00278.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волобуева Е.С., Анискина М.В., Петенко А.И., Волкова С.А. Особенности культивирования штамма *Propionibacterium shermanii*. *Научный журнал КубГАУ*. 2015; 114: 1156–1169. EDN VHFLYV
2. Raux E., Schubert H.L., Warren M.J. Biosynthesis of cobalamin (vitamin  $B_{12}$ ): a bacterial conundrum. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2000; 57(13–14): 1880–1893. <https://doi.org/10.1007/PL00000670>
3. Милентьева И.С., Козлова О.В., Еремеева Н.И. Исследование пробиотических свойств бактерий рода *Propionibacterium*. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии»*. 2021; 9(2): 83–92. EDN IIFQHD
4. Волкова Г.С., Толочнова А.А., Кукова Е.В., Серба Е.М. Создание ассоциации пропионовокислых бактерий для производства продукции, обогащенной витамином  $B_{12}$ . *Пищевая промышленность*. 2025; (7): 90–94. <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.7.7.018>
5. Сахибгараева Л.Ф., Марахова А.И., Смагулова Д.К., Станишевская И.Е. Характеристика витамина  $B_{12}$  и основных продуценты при его получении. *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2015; (3): 104–107. EDN VVANYZ
6. Хапалюк А.В. Витамин  $B_{12}$ : биологическое значение, патогенетические механизмы и клинические проявления недостаточности. *Лечебное дело*. 2019; (4): 17–23. EDN RFSNWN
7. Fang H., Kang J., Zhang D. Microbial production of vitamin  $B_{12}$ : review and future perspectives. *Microbial Cell Factories*. 2017; 16: 15. <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0631-y>
8. Sampaolesi S., Briand L.E., De Antoni G., León Peláez A. The synthesis of soluble and volatile bioactive compounds by selected brewer's yeasts: Antagonistic effect against enteropathogenic bacteria and food spoiler — toxigenic *Aspergillus* sp. *Food Chemistry: X*. 2021; 13: 100193. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100193>

#### REFERENCES

1. Volobueva E.S., Aniskina M.V., Petenko A.I., Volkova S.A. Features of the cultivation of *Propionibacterium shermanii* strain. *Scientific Journal of KubSAU*. 2015; 114: 1156–1169 (in Russian). EDN VHFLYV
2. Raux E., Schubert H.L., Warren M.J. Biosynthesis of cobalamin (vitamin  $B_{12}$ ): a bacterial conundrum. *Cellular and Molecular Life Sciences*. 2000; 57(13–14): 1880–1893. <https://doi.org/10.1007/PL00000670>
3. Milentyeva I.S., Kozlova O.V., Eremeeva N.I. Study of probiotic properties of bacteria of the genus *Propionibacterium*. *Bulletin of South Ural State University. Series "Food and Biotechnology"*. 2021; 9(2): 83–92 (in Russian). EDN IIFQHD
4. Volkova G.S., Tolochnova A.A., Kuksova E.V., Serba E.M. Creation of propionic acid bacteria association for production of vitamin  $B_{12}$ -enriched products. *Food processing industry*. 2025; (7): 90–94 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2025.7.7.018>
5. Sahibgaraeva L.F., Marahova A.I., Smagulova D.K., Stanishevskaya I.E. Characteristics of Vitamin  $B_{12}$  and its main producers. *Drug development & Registration*. 2015; (3): 104–107 (in Russian). EDN VVANYZ
6. Khapaliuk A.V. Vitamin  $B_{12}$ : biological significance, pathogenetic mechanisms and clinical manifestations of vitamin insufficiency. *Lechebnoye delo*. 2019; (4): 17–23 (in Russian). EDN RFSNWN
7. Fang H., Kang J., Zhang D. Microbial production of vitamin  $B_{12}$ : a review and future perspectives. *Microbial Cell Factories*. 2017; 16: 15. <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0631-y>
8. Sampaolesi S., Briand L.E., De Antoni G., León Peláez A. The synthesis of soluble and volatile bioactive compounds by selected brewer's yeasts: Antagonistic effect against enteropathogenic bacteria and food spoiler — toxigenic *Aspergillus* sp. *Food Chemistry: X*. 2021; 13: 100193. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100193>

9. Calvillo A., Pellicer T., Carnicer M., Planas A. Bioprocess Strategies for Vitamin B<sub>12</sub> Production by Microbial Fermentation and Its Market Applications. *Bioengineering*. 2022; 9(8): 365. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9080365>
10. Calvillo Á., Pellicer T., Carnicer M., Planas A. Developing a single-stage continuous process strategy for vitamin B<sub>12</sub> production with *Propionibacterium freudenreichii*. *Microbial Cell Factories*. 2023; 22: 26. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02029-x>
11. Abdel-Baki R.M.M., Ahmed M.N., Barakat O.S., Khalafalla G.M. Enhanced vitamin B<sub>12</sub> production by isolated *Bacillus* strains with the application of response surface methodology. *BMC Biotechnology*. 2024; 24: 90. <https://doi.org/10.1186/s12896-024-00919-5>
12. Dudko D., Milker S., Holtmann D., Buchhaupt M. Identification of vitamin B<sub>12</sub> producing bacteria based on the presence of *bluB/cobT2* homologues. *Biotechnology Letters*. 2023; 45(4): 563–572. <https://doi.org/10.1007/s10529-023-03362-2>
13. Xia W., Chen W., Peng W.-f., Li K.-t. Industrial vitamin B<sub>12</sub> production by *Pseudomonas denitrificans* using maltose syrup and corn steep liquor as the cost-effective fermentation substrates. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2015; 38(6): 1065–1073. <https://doi.org/10.1007/s00449-014-1348-5>
14. Gomes Soares M., Bevilaqua G.C., Marcondes Tassi É.M., Reolon Schmidt V.C. Fermented foods and beverages: a potential *in situ* vitamin B<sub>12</sub> biofortification — a literature review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2023; 74(6): 655–667. <https://doi.org/10.1080/09637486.2023.2248422>
15. Moore S.J. *et al.* Elucidation of the anaerobic pathway for the corrin component of cobalamin (vitamin B<sub>12</sub>). *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013; 110(37): 14906–14911. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308098110>
16. Zhang R. *et al.* Oxygen determines the requirement for cobalamin but not riboflavin in the growth of *Propionibacterium freudenreichii*. *Scientific Reports*. 2025; 15: 27679. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12983-8>
17. Zhou J. *et al.* VB12Path for Accurate Metagenomic Profiling of Microbially Driven Cobalamin Synthesis Pathways. *mSystems*. 2021; 6(3): e0049721. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00497-21>
18. Woodson J.D., Zayas C.L., Escalante-Semerena J.C. A New Pathway for Salvaging the Coenzyme B<sub>12</sub> Precursor Cobinamide in Archaea Requires Cobinamide-Phosphate Synthase (CbiB) Enzyme Activity. *Journal of Bacteriology*. 2003; 185(24): 7193–7201. <https://doi.org/10.1128/jb.185.24.7193-7201.2003>
19. Yang Y., Tsui H.-C.T., Man T.-K., Winkler M.E. Identification and Function of the *pdxY* Gene, Which Encodes a Novel Pyridoxal Kinase Involved in the Salvage Pathway of Pyridoxal 5'-Phosphate Biosynthesis in *Escherichia coli* K-12. *Journal of Bacteriology*. 1998; 180(7): 1814–1821. <https://doi.org/10.1128/jb.180.7.1814-1821.1998>
20. Woodson J.D., Reynolds A.A., Escalante-Semerena J.C. ABC transporter for corrinoids in *Halobacterium* sp. strain NRC-1. *Journal of Bacteriology*. 2005; 187(17): 5901–5909. <https://doi.org/10.1128/jb.187.17.5901-5909.2005>
21. Kanehisa M., Goto S. KEGG: Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes. *Nucleic Acids Research*. 2000; 28(1): 27–30. <https://doi.org/10.1093/nar/28.1.27>
22. Rebezov M.B. Application of mathematical modeling methods in the design of fermented milk products. *Вестник Инновационного Евразийского университета*. 2024; (3): 61–69. EDN LOPCTH
23. Rebezov M.B., Temerbayeva M.V., Uryumtseva T.I. Results of mathematical analysis of experimental data fermentation of skimmed milk to produce a fermented milk product. *Вестник Инновационного Евразийского университета*. 2022; (3): 65–71. EDN WONJPW
24. Morris J.A., Lickey B.S., Liptak M.D. Insertion of cobalt into tetrapyrroles. *Vitamins and Hormones*. 2022; 119: 1–22. <https://doi.org/10.1016/bs.vh.2022.01.013>
25. Zhang Y., Li X., Wang Z., Wang Y., Ma Y., Su Z. Metabolic Flux Analysis of Simultaneous Production of Vitamin B<sub>12</sub> and Propionic Acid in a Coupled Fermentation Process by *Propionibacterium freudenreichii*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2021; 193(10): 3045–3061. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03584-y>
26. Balabanova L., Averianova L., Marchenok M., Son O., Tekutyeva L. Microbial and Genetic Resources for Cobalamin (Vitamin B<sub>12</sub>) Biosynthesis: From Ecosystems to Industrial Biotechnology. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(9): 4522. <https://doi.org/10.3390/ijms22094522>
9. Calvillo A., Pellicer T., Carnicer M., Planas A. Bioprocess Strategies for Vitamin B<sub>12</sub> Production by Microbial Fermentation and Its Market Applications. *Bioengineering*. 2022; 9(8): 365. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9080365>
10. Calvillo Á., Pellicer T., Carnicer M., Planas A. Developing a single-stage continuous process strategy for vitamin B<sub>12</sub> production with *Propionibacterium freudenreichii*. *Microbial Cell Factories*. 2023; 22: 26. <https://doi.org/10.1186/s12934-023-02029-x>
11. Abdel-Baki R.M.M., Ahmed M.N., Barakat O.S., Khalafalla G.M. Enhanced vitamin B<sub>12</sub> production by isolated *Bacillus* strains with the application of response surface methodology. *BMC Biotechnology*. 2024; 24: 90. <https://doi.org/10.1186/s12896-024-00919-5>
12. Dudko D., Milker S., Holtmann D., Buchhaupt M. Identification of vitamin B<sub>12</sub> producing bacteria based on the presence of *bluB/cobT2* homologues. *Biotechnology Letters*. 2023; 45(4): 563–572. <https://doi.org/10.1007/s10529-023-03362-2>
13. Xia W., Chen W., Peng W.-f., Li K.-t. Industrial vitamin B<sub>12</sub> production by *Pseudomonas denitrificans* using maltose syrup and corn steep liquor as the cost-effective fermentation substrates. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2015; 38(6): 1065–1073. <https://doi.org/10.1007/s00449-014-1348-5>
14. Gomes Soares M., Bevilaqua G.C., Marcondes Tassi É.M., Reolon Schmidt V.C. Fermented foods and beverages: a potential *in situ* vitamin B<sub>12</sub> biofortification — a literature review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2023; 74(6): 655–667. <https://doi.org/10.1080/09637486.2023.2248422>
15. Moore S.J. *et al.* Elucidation of the anaerobic pathway for the corrin component of cobalamin (vitamin B<sub>12</sub>). *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013; 110(37): 14906–14911. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308098110>
16. Zhang R. *et al.* Oxygen determines the requirement for cobalamin but not riboflavin in the growth of *Propionibacterium freudenreichii*. *Scientific Reports*. 2025; 15: 27679. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12983-8>
17. Zhou J. *et al.* VB12Path for Accurate Metagenomic Profiling of Microbially Driven Cobalamin Synthesis Pathways. *mSystems*. 2021; 6(3): e0049721. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00497-21>
18. Woodson J.D., Zayas C.L., Escalante-Semerena J.C. A New Pathway for Salvaging the Coenzyme B<sub>12</sub> Precursor Cobinamide in Archaea Requires Cobinamide-Phosphate Synthase (CbiB) Enzyme Activity. *Journal of Bacteriology*. 2003; 185(24): 7193–7201. <https://doi.org/10.1128/jb.185.24.7193-7201.2003>
19. Yang Y., Tsui H.-C.T., Man T.-K., Winkler M.E. Identification and Function of the *pdxY* Gene, Which Encodes a Novel Pyridoxal Kinase Involved in the Salvage Pathway of Pyridoxal 5'-Phosphate Biosynthesis in *Escherichia coli* K-12. *Journal of Bacteriology*. 1998; 180(7): 1814–1821. <https://doi.org/10.1128/jb.180.7.1814-1821.1998>
20. Woodson J.D., Reynolds A.A., Escalante-Semerena J.C. ABC transporter for corrinoids in *Halobacterium* sp. strain NRC-1. *Journal of Bacteriology*. 2005; 187(17): 5901–5909. <https://doi.org/10.1128/jb.187.17.5901-5909.2005>
21. Kanehisa M., Goto S. KEGG: Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes. *Nucleic Acids Research*. 2000; 28(1): 27–30. <https://doi.org/10.1093/nar/28.1.27>
22. Rebezov M.B. Application of mathematical modeling methods in the design of fermented milk products. *Bulletin of the Innovative University of Eurasia*. 2024; (3): 61–69. EDN LOPCTH
23. Rebezov M.B., Temerbayeva M.V., Uryumtseva T.I. Results of mathematical analysis of experimental data fermentation of skimmed milk to produce a fermented milk product. *Bulletin of the Innovative University of Eurasia*. 2022; (3): 65–71. EDN WONJPW
24. Morris J.A., Lickey B.S., Liptak M.D. Insertion of cobalt into tetrapyrroles. *Vitamins and Hormones*. 2022; 119: 1–22. <https://doi.org/10.1016/bs.vh.2022.01.013>
25. Zhang Y., Li X., Wang Z., Wang Y., Ma Y., Su Z. Metabolic Flux Analysis of Simultaneous Production of Vitamin B<sub>12</sub> and Propionic Acid in a Coupled Fermentation Process by *Propionibacterium freudenreichii*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2021; 193(10): 3045–3061. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03584-y>
26. Balabanova L., Averianova L., Marchenok M., Son O., Tekutyeva L. Microbial and Genetic Resources for Cobalamin (Vitamin B<sub>12</sub>) Biosynthesis: From Ecosystems to Industrial Biotechnology. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021; 22(9): 4522. <https://doi.org/10.3390/ijms22094522>

**ОБ АВТОРАХ**

**Ринат Ильгидарович Фаткуллин<sup>1</sup>**

кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий  
fatkullinri@susu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>

**Ирина Валерьевна Калинина<sup>1</sup>**

доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий, доцент  
kalininaiv@susu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

**Наталья Владимировна Науменко<sup>1</sup>**

доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий, доцент  
naumenkonv@susu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9520-3251>

**Георгий Константинович Одинцов<sup>2</sup>**

аспирант  
georgy.poluyan@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0009-7267-7591>

**Софья Александровна Ханнанова<sup>2</sup>**

аспирант  
soficoooo@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4970-3634>

**Нелли Ильгидаровна Фаткуллина<sup>1</sup>**

студент кафедры пищевых и биотехнологий,  
9085792711@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0003-5312-3856>

<sup>1</sup> Южно-Уральский государственный университет, пр-т им. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

<sup>2</sup> Университет ИТМО, Кронверкский проспект, д. 49, литер А, Санкт-Петербург, 197101, Россия

**ABOUT THE AUTHORS**

**Rinat Ilgidarovich Fatkullin<sup>1</sup>**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, fatkullinri@susu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>

**Irina Valerievna Kalinina<sup>1</sup>**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Associate Professor, kalininaiv@susu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

**Natalya Vladimirovna Naumenko<sup>1</sup>**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, naumenkonv@susu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9520-3251>

**Georgiy Konstantinovich Odintsov<sup>2</sup>**

PhD student georgy.poluyan@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0009-7267-7591>

**Sofya Alexandrovna Khannanova<sup>2</sup>**

PhD student soficoooo@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4970-3634>

**Nelli Ilgidarovna Fatkullina<sup>1</sup>**

student 9085792711@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0003-5312-3856>

<sup>1</sup> South Ural State University, 76 Lenin Prospect, Chelyabinsk, 454080, Russia

<sup>2</sup> ITMO University, 49A Kronverksky Prospect, Saint Petersburg, 197101, 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](mailto: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://agrarayanauka.ru/rassylka-zhurnala/>

» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА И ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ на сайте Научной электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)



Реклама

УДК 678.56, 678.01:504.05

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-123-129

**А.О. Галушко<sup>1</sup>****В.А. Живагина<sup>1</sup>****М.О. Петров<sup>1</sup>****О.В. Зинина<sup>1</sup>** ✉**М.Б. Ребезов<sup>2,3</sup>**<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия<sup>2</sup>Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия<sup>3</sup>Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ zinaov@susu.ru

Поступила в редакцию: 07.01.2026

Одобрена после рецензирования: 10.02.2026

Принята к публикации: 26.02.2026

© Галушко А.О., Живагина В.А., Петров М.О., Зинина О.В., Ребезов М.Б.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-123-129

**Anastasia O. Galushko<sup>1</sup>****Victoria A. Zhivagina<sup>1</sup>****Maksim O. Petrov<sup>1</sup>****Oksana V. Zinina<sup>1</sup>** ✉**Maksim B. Rebezov<sup>2,3</sup>**<sup>1</sup>South Ural State University, Chelyabinsk, Russia<sup>2</sup>Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia<sup>3</sup>Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

✉ zinaov@susu.ru

Received by the editorial office: 07.01.2026

Accepted in revised: 10.02.2026

Accepted for publication: 26.02.2026

© Galushko A.O., Zhivagina V.A., Petrov M.O., Zinina O.V., Rebezov M.B.

## Исследование биоразлагаемых основ для косметических масок

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** Косметическая промышленность вносит значительный вклад в загрязнение окружающей среды микропластиком. Глобальный тренд на устойчивое развитие и осознанное потребление формирует спрос на материалы с натуральными ингредиентами, способными к биоразложению. *Целью исследования* является изготовление и исследование показателей качества биоразлагаемых основ для косметических масок на агаре.

**Методы.** Объектами исследования являются образцы основ косметических масок на агаре, агаре и альгинате натрия, агаре и гидролизате коллагена. Приведены технологические схемы получения обозначенных основ на агаре. У биоразлагаемых основ определяли органолептические (внешний вид, цвет и запах), физические и физико-химические показатели (активная кислотность, толщина, прозрачность, растворимость, прочность на растяжение) по общепринятым методам. Также оценивали биоразлагаемость образцов основ в компосте.

**Результаты.** Результаты исследований показали, что введение альгината натрия и гидролизата коллагена увеличило показатель прочности на растяжение агаровой основы. Также наблюдалось снижение растворимости модифицированных основ. Прозрачность основ с добавлением альгината натрия снизилась на 4,5 %, гидролизата коллагена — на 45,5 %. Введение альгината натрия замедлило процесс деградации, а добавление гидролизата коллагена значительно ускорило распад материала — к концу третьей недели образец практически полностью превратился в компост. Изучение показателей качества полученных образцов продемонстрировало их соответствие нормативной документации по исследуемым показателям, что свидетельствует о возможности использования основ на агаре в процессе изготовления косметических масок для лица.

**Ключевые слова:** агар, гидролизат коллагена, альгинат натрия, биоразлагаемая основа

**Для цитирования:** Галушко А.О., Живагина В.А., Петров М.О., Зинина О.В., Ребезов М.Б. Исследование биоразлагаемых основ для косметических масок. *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 123–129.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-123-129>

## Research on biodegradable bases for cosmetic masks

### ABSTRACT

**Relevance.** The cosmetics industry significantly contributes to environmental pollution with microplastics. The global trend toward sustainable development and conscious consumption is driving demand for materials with natural, biodegradable ingredients. *The aim of this study* is to produce and evaluate the quality of biodegradable agar-based cosmetic mask bases.

**Methods.** The study subjects were samples of agar-based cosmetic mask bases, sodium agar and alginate, and collagen agar and hydrolyzed collagen bases. Flow charts for producing the agar-based bases are provided. The organoleptic (appearance, color, and odor), physical, and physicochemical properties (active acidity, thickness, transparency, solubility, and tensile strength) of the biodegradable bases were determined using generally accepted methods. The biodegradability of the base samples in compost was also assessed.

**Results.** The study results showed that the addition of sodium alginate and collagen hydrolysate increased the tensile strength of the agar base. A decrease in the solubility of the modified bases was also observed. The transparency of the bases with the addition of sodium alginate decreased by 4.5%, while that of collagen hydrolysate decreased by 45.5%. The addition of sodium alginate slowed the degradation process, while the addition of collagen hydrolysate significantly accelerated the decomposition of the material — by the end of the third week, the sample had almost completely turned to compost. A study of the quality parameters of the obtained samples demonstrated their compliance with regulatory documentation for the parameters studied, indicating the potential use of agar-based bases in the production of cosmetic facial masks.

**Key words:** agar, collagen hydrolysate, sodium alginate, biodegradable base

**For citation:** Galushko A.O., Zhivagina V.A., Petrov M.O., Zinina O.V., Rebezov M.B. Study of biodegradable bases for cosmetic masks. *Agrarian science*. 2026; 404(03): 123–129 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-123-129>

## Введение/Introduction

Загрязнение окружающей среды достигло критического уровня. Особую тревогу вызывает проблема пластикового загрязнения [1–5]. Синтетические полимеры, благодаря своей долговечности и низкой стоимости, стали основой для миллионов продуктов, при этом они практически не разлагаются в природных условиях, накапливаясь в почве, водоемах и живых организмах в виде микропластика [6–10].

Косметическая промышленность, будучи одной из самых динамичных и массовых, вносит значительный вклад в эту проблему. Ежегодно производятся миллиарды единиц упаковки, одноразовых аппликаторов, патчей и масок для лица. Последние часто изготавливаются на основе синтетических нетканых материалов (полиэстер, полиэтилен, полипропилен) и пропитываются сыворотками, после использования превращаясь в сложно перерабатываемый композитный отход. Такие маски, рассчитанные на одно применение, служат наглядным символом культуры одноразового потребления, создающей нагрузку на экосистемы на всех этапах — от добычи нефти для производства полимеров до их скопления на свалках [11].

В этих условиях глобальный тренд на устойчивое развитие и осознанное потребление формирует спрос на формулы с натуральными ингредиентами и на принципы разработки продукта, предполагающие минимизацию экологического следа на протяжении всего жизненного цикла. Это закономерно подводит отрасль к необходимости фундаментального пересмотра используемых материалов [12].

Наиболее перспективным решением является переход к биоразлагаемым основам, способным заменить традиционные синтетические полимеры. Использование возобновляемого сырья природного происхождения, такого как полисахариды (агар, альгинат, хитозан, целлюлоза), позволяет создавать продукты, которые после выполнения своей основной функции безопасно разлагаются в окружающей среде под действием микроорганизмов, не образуя токсичных остатков и микропластика.

Внедрение биоразлагаемых материалов в косметическую промышленность представляет собой не маркетинговый ход, а необходимый технологический ответ на острые экологические вызовы современности, способный гармонизировать отношения между индустрией красоты и здоровьем планеты [13].

Агар-агар, представляющий собой смесь полисахаридов агарозы и агаропектина, выступает в качестве основного гелеобразователя. Агар-агар обладает рядом уникальных свойств, позволяющих применять его в качестве основы

биоразлагаемых масок. Агар легко разлагается в почве и воде, не оставляя после себя токсичных остатков. Он также способен к термообратимому гелеобразованию, что позволяет формировать тонкие и эластичные пленки [14].

Помимо роли носителя, агар обладает увлажняющими и смягчающими свойствами, создавая на коже дышащую пленку, которая предотвращает трансэпидермальную потерю влаги и способствует лучшему проникновению активных ингредиентов сыворотки [15].

Однако чистые агаровые гели склонны к синерезису и обладают избыточной хрупкостью [14], что ограничивает их применение в качестве гибких косметических масок или патчей.

Сочетание биополимеров различной природы позволяет нивелировать недостатки индивидуальных компонентов и достичь синергетического эффекта в отношении механической прочности, влагоудерживающей способности и биологической активности биоразлагаемой основы косметических масок [16, 17].

Обобщая результаты исследований биополимерных основ многих ученых, приведенные ниже аспекты приняты во внимание при выборе модификаторов агаровой матрицы.

Введение альгината натрия, получаемого из бурых водорослей, в агаровую матрицу может быть обосновано несколькими аспектами:

- альгинат повышает эластичность и пластичность системы [18], снижая модуль хрупкости агара. Для выбранной категории продукции — косметических масок — это критически важно для обеспечения хорошей адгезии с кожей;

- альгинат обладает выраженными гидрофильными и влагоудерживающими свойствами [19]. Формируя сорбционный слой, он замедляет трансэпидермальную потерю влаги и способствует глубокому проникновению активных компонентов;

- при взаимодействии с солями альгинат способен переходить в нерастворимую форму [20], что дополнительно стабилизирует структуру маски.

Кроме того, указанные биополимеры биосовместимы и нетоксичны [16].

Коллаген является ключевым структурным белком дермы, однако использование нативного коллагена в гидрогелевых пленках затруднено его высокой молекулярной массой.

Применение гидролизата коллагена в составе биоразлагаемой основы для косметических масок научно обосновано следующими факторами:

- низкомолекулярные пептиды коллагена обладают высоким сродством к кератиноцитам. Они способны выступать в роли субстрата для синтеза собственного коллагена, оказывая регенерирующее действие<sup>1</sup>;

- белковые молекулы встраиваются в полисахаридную сетку агара [21], что предотвращает

<sup>1</sup> Флегонтова Е.А. Особенности барьерной функции кожи и комплексная anti-age корнеотерапия для женщин 50+. Косметика&Медицина Special Edition, 2022; 2. <https://www.cmjournal.ru/>

растрескивание основы при высыхании и придает ей тактильно приятную, шелковистую текстуру;

— наличие свободных amino- и карбоксильных групп в гидролизате коллагена способствует связыванию воды и других активных водорастворимых ингредиентов (например, витаминов или экстрактов), обеспечивая их пролонгированное высвобождение [22].

Добавление альгината натрия и гидролизата коллагена в агаровую матрицу основы обеспечивает устойчивость маски к механическому разрыву. При этом все компоненты являются природными полимерами, полностью разрушаемыми ферментативными системами микроорганизмов в почве или воде, что отвечает современным экологическим требованиям [23].

Таким образом, комбинация агара с альгинатом и гидролизатом коллагена позволит трансформировать хрупкую полисахаридную сетку в высокофункциональную биомиметическую систему, обладающую одновременно высокими эксплуатационными характеристиками и выраженным космецевтическим потенциалом.

Целью данного исследования является изучение влияния модификации агаровой матрицы альгинатом натрия и гидролизатом коллагена на комплекс функционально-технологических свойств (механическую прочность, растворимость, оптические характеристики) и скорость биодеградации перспективных основ для косметических масок.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: изготовлены образцы основ на агаре с добавлением гидролизата коллагена, на агаре с добавлением альгината натрия; оценены органолептические, физические и физико-химические свойства биоразлагаемых основ; установлена длительность биологической деструкции основ; сделан вывод о возможности применения полученных основ для косметических масок.

### Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились в лабораториях кафедры пищевых и биотехнологий Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета) в период с сентября по декабрь 2025 г.

Объектами исследования являлись основы для косметических масок:

— на агар-агаре;

— на агаре и альгинате натрия;

— на агаре и гидролизате коллагена (ГК).

Для изготовления основ для косметических масок применяли следующее сырье и материалы: агар-агар с желирующей способностью 900 блум (ООО «Нулька», Россия), гидролизат коллагена со степенью гидролиза не менее 25% (ООО «НПО «Пищевые биотехнологии», Россия), альгинат натрия (Jiangsu Benefit Ocean Technology Co., LTD, Китай).

В качестве пластификатора применяли глицерин (Artex, Германия).

Контрольный образец получен из агара, а опытные образцы содержали гидролизат коллагена и альгинат натрия.

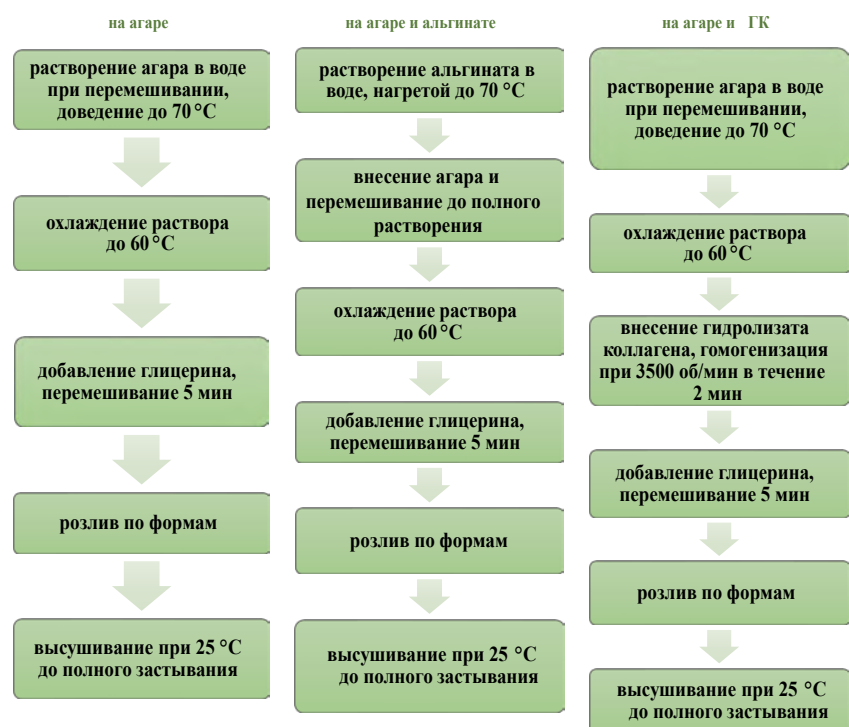
Схема изготовления косметических основ представлена на рисунке 1, рецептуры — в таблице 1.

У основ определяли органолептические (внешний вид, цвет, запах), физические и физико-химические показатели (активная кислотность, толщина, прозрачность, растворимость, прочность на растяжение), исследовали биоразлагаемость и проводили микроскопию.

Таблица 1. Рецептуры основ для косметических масок  
Table 1. Recipes for bases for cosmetic masks

Компонент	Содержание компонентов, %		
	на агаре	на агаре и ГК	на агаре и альгинате натрия
Агар-агар	2,5	1,25	1,25
Альгинат натрия	–	–	1,25
Гидролизат коллагена	–	1,25	–
Глицерин	3	3	3

Рис. 1. Технологическая схема получения косметических основ  
Fig. 1. Technological scheme for obtaining cosmetic bases



Органолептические показатели исследовали согласно требованиям ГОСТ 29188.0-2014<sup>2</sup> и ГОСТ 33489-2015<sup>3</sup>.

Внешний вид и цвет определяли путем осмотра поверхности продукции. Также было отмечено наличие трещин, пузырьков, посторонних включений, липкость и гибкость.

Показатель активной кислотности pH исследовали по ГОСТ 29188.2-2014<sup>4</sup>.

Кислотность измеряли в водной вытяжке с массовой долей продукции 10%. Навеску (не менее 5 г) помещали в стакан, добавляли дистиллированную воду, обеспечивая соотношение массы продукции и воды (1:9) для получения водной вытяжки с массовой долей образца 10%, перемешивали содержимое с помощью стеклянной палочки в течение 1 мин.

Толщину определяли электронным штангенциркулем (ЧИЗ, Россия). Замеры проводили в пяти разных точках основы и находили среднее значение.

Прозрачность устанавливали на фотоколориметре КФК-2МП (Загорский оптико-механический завод, Россия) при использовании зеленого светофильтра (590 нм). Для этого вырезали кусочек основы под размер кюветы, аккуратно помещали этот кусочек в кювету и производили замер T %.

Для определения растворимости образцы размером 2 × 2 см взвешивали, помещали в дистиллированную воду на 60 мин при комнатной температуре, периодически перемешивая.

По истечении заданного времени растворы отфильтровывали через фильтровальную бумагу для отделения нерастворимых частиц основ.

Затем фильтры с остатками основ высушивали, взвешивали и определяли растворимость по формуле (1):

$$\text{Растворимость} = 100 - ((m_1 - m_2)/m_3) \times 100, \quad (1)$$

где  $m_1$  — масса фильтра и образца основы до растворения, г;  $m_2$  — масса фильтра с навеской основы после растворения и высушивания, г;  $m_3$  — масса навески основы, г

Для оценки биоразлагаемости из основы вырезали квадрат размером 5 × 5 см, помещали в закрытые ёмкости с компостом «Биогумус» (Грунт Эко, Россия), предварительно увлажненного (от 40 до 60% влаги), и оставляли при комнатной температуре ( $22 \pm 2$  °C) до полного разложения образца.

Один раз в неделю проверяли образцы и отмечали через сколько недель произошло полное разложение.

Растяжимость оценивалась при растягивании основы и выражалась в мм.

Для полученных образцов также производили микроскопию на биологическом микроскопе Микмед-2 (ЛОМО, Россия) при увеличении ×100.

Оценка свойств образцов производилась согласно ГОСТ 29188.0-2014<sup>2</sup>, ГОСТ 33489-2015<sup>3</sup>, ГОСТ 29188.2-2014<sup>4</sup>, ТР ТС 009/2011<sup>5</sup>.

Средние значения трех измерений принимали за достоверные при  $p \leq 0,05$ .

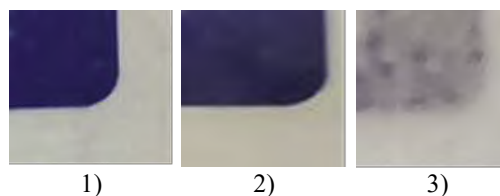
### Результаты и обсуждение / Results and discussion

Требования к органолептическим и физико-химическим показателям основ, а также полученные результаты исследований представлены в таблицах 2–4.

На рисунке 2 представлен внешний вид готовых образцов основ.

По внешнему виду пленок-основ (рис. 2) наглядно видно, что добавление к агару других биополимеров влияет на прозрачность.

**Рис. 2.** Внешний вид образцов основ для косметических масок: 1) на агаре; 2) на агаре и альгинате; 3) на агаре и ГК  
**Fig. 2.** Appearance of samples of cosmetic mask bases: 1) on agar; 2) on agar and alginate; 3) on agar and HC



**Таблица 2. Органолептические свойства образцов**

**Table 2. Organoleptic properties of samples**

Наименование показателя	Требования согласно ГОСТ 33489-2015	Полученные результаты		
		Агар	Агар и альгинат	Агар и ГК
Внешний вид	Свойственный внешнему виду продукции конкретного названия	Прозрачная, однородная пленка		Полупрозрачная однородная пленка
Цвет	Свойственный цвету продукции конкретного названия	Бесцветная	С желтоватым оттенком	Молочный
Запах	Свойственный запаху продукции конкретного названия	Без посторонних запахов		
Наличие трещин, пузырьков, посторонних включений, липкость и гибкость	–	Трещин, пузырьков и посторонних включений не обнаружено, небольшая липкость присутствует, пленка мало гибкая		
		пленка не липкая, достаточно гибкая	пленка не липкая, достаточно гибкая	присутствует небольшая шероховатость, пленка не липкая, гибкая

<sup>2</sup> ГОСТ 29188.0-2014 Продукция парфюмерно-косметическая. Правила приемки, отбор проб, методы органолептических испытаний

<sup>3</sup> ГОСТ 33489-2015 Продукция косметическая на носителях. Общие технические условия

<sup>4</sup> ГОСТ 29188.2-2014 Продукция парфюмерно-косметическая. Метод определения водородного показателя pH

<sup>5</sup> ТР ТС 009/2011 «О безопасности парфюмерно-косметической продукции»

Результаты в таблице 3 показали, что опытные образцы имеют более высокую прочность на растяжение по сравнению с контролем — добавление альгината способствовало увеличению прочности в 5 раз, а гидролизата коллагена — почти в 2 раза.

Также отмечена более низкая растворимость у опытных образцов основ, а толщина существенно не отличалась от контрольного образца.

Водородный показатель исследуемых основ соответствует требованиям ГОСТ 33489-2015. Прозрачность основы с добавлением альгината снизилась на 4,5 %, а с коллагеном — на 45,5 %.

Процесс биодеструкции замедлился с добавлением альгината — образец сохранял свою структуру на протяжении 3-х недель, в то время как добавление коллагена значительно ускорило данный процесс — по окончании 3-й недели образец практически полностью превратился в компост (таблица 4).

Результаты проведения микроскопии образцов показаны на рисунке 3. Все образцы имели однородную структуру с равномерно распределенными частицами модификаторов.

Таким образом, внесение альгината и коллагена позволило значительно увеличить прочность на растяжение основы, а также снизить растворимость, способствуя возможности проведения дополнительных исследований по использованию полученных основ в качестве носителя действующего раствора активных компонентов маски для лица.

Добавление коллагена ускорило процесс биодegradации, что является одним из положительных свойств при утилизации отходов косметических средств.

Однако следует отметить, что необходимо провести дополнительные исследования по определению кинетики биоразложения, оценке экотоксикологических свойств готовых изделий для однозначного вывода о влиянии на окружающую среду.

### Выводы/Conclusions

Проведенные исследования основ косметических масок показали, что образцы соответствуют требованиям ГОСТ 33489-2015, ТР ТС 009/2011 по таким показателям как внешний вид, цвет и запах, активная кислотность.

В ходе исследования отмечено, что введение альгината натрия увеличило показатель прочности на растяжение основы на 32 мм, а гидролизата коллагена — на 7 мм.

Параллельно наблюдалось снижение растворимости модифицированных основ. Так, значение для основ из агара и альгината составило 7,68%, для агара и гидролизата коллагена — 10,46%, в то время как для контрольного образца — 51,56%.

Таблица 3. Физические и физико-химические показатели  
Table 3. Physical and physicochemical indicators

Наименование показателя	Норма по ГОСТ 33489-2015	Полученные значения		
		Агар	Агар и альгинат	Агар и ГК
Водородный показатель, ед. рН	3,0–9,0	4,51±0,04	4,23±0,03	4,35±0,04
Прозрачность при 590 нм, %	–	77,0±1,1	72,5±0,9	27,1±0,2
Толщина, мм	–	0,14±0,01	0,12±0,01	0,17±0,01
Растворимость, %	–	51,56±1,23	7,68±0,08	10,46±0,12
Растяжение, мм	–	8±1	40±1	15±1

Таблица 4. Динамика биоразложения основ  
Table 4. Dynamics of biodegradation of bases



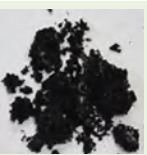





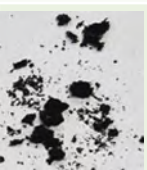
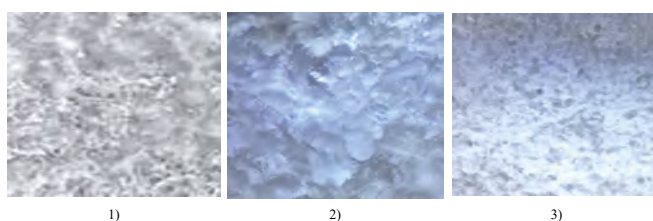
Основа для косметической маски	1-я неделя	2-я неделя	3-я неделя
Агар			
Агар и альгинат			
Агар и ГК			

Рис. 3. Микроскопия образцов основ для косметических масок (×100): 1) на агаре; 2) на агаре и альгинате; 3) на агаре и ГК

Fig. 3. Microscopy of samples of cosmetic mask bases: 1) on agar; 2) on agar and alginate; 3) on agar and HC



Толщина всех основ не имела значимых отличий от контроля.

Оптические свойства варьировались: прозрачность основы с альгинатом снизилась на 4,5%, а с гидролизатом коллагеном — на 45,5%.

Оценка биоразлагаемости показала, что введение альгината замедлило процесс деградации — образец сохранял структурную целостность в течение трёх недель.

Напротив, добавление гидролизата коллагена значительно ускорило распад материала — к концу третьей недели образец практически полностью превратился в компост.

Таким образом, модификация состава основы косметических масок способствовала улучшению

отдельных технологических характеристик, и в случае с гидролизатом коллагена — ускорению процесса биоразлагаемости, что является преимущественным по сравнению с синтетическими материалами.

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 ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукин А.А. Методы идентификации микропластиков в пищевых системах. *Аграрная наука*. 2026; 403(02): 110–126. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-110-126>
2. Zhou Y., Wang J., Zou M., Jia Z., Zhou S., Li Y. Microplastics in soils: A review of methods, occurrence, fate, transport, ecological and environmental risks. *Science of The Total Environment*. 2020; 748: 141368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141368>
3. Coyle R., Hardiman G., O'Driscoll K. Microplastics in the marine environment: A review of their sources, distribution processes, uptake and exchange in ecosystems. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2020; 2: 100010. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100010>
4. Bai C.-L., Liu L.-Y., Guo J.-L., Zeng L.-X., Guo Y. Microplastics in take-out food: Are we over taking it?. *Environmental Research*. 2022; 215(3): 114390. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114390>
5. Campanale C. *et al.* Microplastics pollution in the terrestrial environments: Poorly known diffuse sources and implications for plants. *Science of The Total Environment*. 2022; 805: 150431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150431>
6. Luqman A. *et al.* Microplastic Contamination in Human Stools, Foods, and Drinking Water Associated with Indonesian Coastal Population. *Environments*. 2021; 8(12): 138. <https://doi.org/10.3390/environments8120138>
7. Cho Y.M., Choi K.-H. The current status of studies of human exposure assessment of microplastics and their health effects: a rapid systematic review. *Environmental Analysis Health and Toxicology*. 2021; 36(1): e2021004. <https://doi.org/10.5620/eaht.2021004>
8. Jin Y., Lu L., Tu W., Luo T., Fu Z. Impacts of polystyrene microplastic on the gut barrier, microbiota and metabolism of mice. *Science of The Total Environment*. 2019; 649: 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.353>
9. Симонова А.К. Факторы, способствующие биодegradации упаковочных материалов. Шаг в науку — 2021. Сборник статей победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых. М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2022; 136–142. <https://www.elibrary.ru/rwzama>
10. Платонова Т.П. Микропластик в окружающей среде: распространение, токсическое воздействие на живые организмы. Современные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной памяти почвовед-агрохимика, кандидата сельскохозяйственных наук, доцента Валентины Федоровны Прокопчук. Благовещенск: Дальневосточный ГАУ. 2023; 159–166. EDN RUQGX5
11. Тарасова В.В. Анализ основных видов загрязнений производства косметических средств. *Безопасность городской среды. Материалы XI Международной научно-практической конференции*. Омск: ОмГТУ. 2024; 182–185. EDN GKGIKR
12. Кич А.В. Проблемы и перспективы развития сферы индустрии красоты. *Механизм реализации стратегии социально-экономического развития государства. Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции*. Махачкала: ДГТУ. 2023; 251–253. EDN TYSZTY
13. Bialik-Wąs K. *et al.* Design and development of multibiocomponent hybrid alginate hydrogels and lipid nanodispersion as new materials for medical and cosmetic applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 278(1): 134405. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134405>
14. Khoobakht F. *et al.* Modification of mechanical, rheological and structural properties of agar hydrogel using xanthan and locust bean gum. *Food Hydrocolloids*. 2024; 147(A): 109411. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109411>

Более глубокие исследования косметических масок на полученных основах позволят сделать вывод о влиянии на окружающую среду и эффективности при использовании потребителями.

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. Lukin A.A. Methods for identifying microplastics in food systems. *Agrarian science*. 2026; 403(02): 110–126 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-110-126>
2. Zhou Y., Wang J., Zou M., Jia Z., Zhou S., Li Y. Microplastics in soils: A review of methods, occurrence, fate, transport, ecological and environmental risks. *Science of The Total Environment*. 2020; 748: 141368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141368>
3. Coyle R., Hardiman G., O'Driscoll K. Microplastics in the marine environment: A review of their sources, distribution processes, uptake and exchange in ecosystems. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2020; 2: 100010. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100010>
4. Bai C.-L., Liu L.-Y., Guo J.-L., Zeng L.-X., Guo Y. Microplastics in take-out food: Are we over taking it?. *Environmental Research*. 2022; 215(3): 114390. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114390>
5. Campanale C. *et al.* Microplastics pollution in the terrestrial environments: Poorly known diffuse sources and implications for plants. *Science of The Total Environment*. 2022; 805: 150431. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150431>
6. Luqman A. *et al.* Microplastic Contamination in Human Stools, Foods, and Drinking Water Associated with Indonesian Coastal Population. *Environments*. 2021; 8(12): 138. <https://doi.org/10.3390/environments8120138>
7. Cho Y.M., Choi K.-H. The current status of studies of human exposure assessment of microplastics and their health effects: a rapid systematic review. *Environmental Analysis Health and Toxicology*. 2021; 36(1): e2021004. <https://doi.org/10.5620/eaht.2021004>
8. Jin Y., Lu L., Tu W., Luo T., Fu Z. Impacts of polystyrene microplastic on the gut barrier, microbiota and metabolism of mice. *Science of The Total Environment*. 2019; 649: 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.353>
9. Simonova A.K. Factors contributing to the biodegradation of packaging Materials. *A step into science — 2021. Collection of articles by the winners of the competition of scientific research papers of students, postgraduates and young scientists*. Moscow: Plekhanov Russian University of Economics. 2022; 136–142 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rwzama>
10. Platonova T.P. Microplastics in the environment: distribution, toxic effects on living organisms. *Current problems of soil science, agrochemistry, and ecology. Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of soil scientist and agrochemist, Candidate of Agricultural sciences, Associate Professor Valentina F. Prokopchuk*. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University. 2023; 159–166 (in Russian). EDN RUQGX5
11. Tarasova V.V. Analysis of the main types of pollution in the production of cosmetics. *Urban safety. Proceedings of the XI International scientific and practical conference*. Omsk: Omsk State Technical University. 2024; 182–185 (in Russian). EDN GKGIKR
12. Kich A.V. Challenges and prospects for the beauty industry. *Mechanism for implementing the strategy of socioeconomic development of the state. Proceedings of the XV International scientific and practical conference*. Makhachkala: Dagestan State Technical University. 2023; 251–253 (in Russian). EDN TYSZTY
13. Bialik-Wąs K. *et al.* Design and development of multibiocomponent hybrid alginate hydrogels and lipid nanodispersion as new materials for medical and cosmetic applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 278(1): 134405. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134405>
14. Khoobakht F. *et al.* Modification of mechanical, rheological and structural properties of agar hydrogel using xanthan and locust bean gum. *Food Hydrocolloids*. 2024; 147(A): 109411. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109411>

15. Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Меренкова С.П., Неверова О.П. Исследование свойств пищевых пленок на основе агара с добавлением функциональных компонентов. *Аграрный вестник Урала*. 2023; 23(12): 55–64. EDN EYBURY

16. Hegde V., Uthappa U.T., Altaihi T., Jung H.-Y., Han S.S., Kurkuri M.D. Alginate based polymeric systems for drug delivery, antibacterial/microbial, and wound dressing applications. *Materials Today Communications*. 2022; 33: 104813. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104813>

17. Qiao D., Li H., Jiang F., Zhao S., Chen S., Zhang B. Incorporation of k-carrageenan improves the practical features of agar/konjac glucomannan/k-carrageenan ternary system. *Food Science and Human Wellness*. 2023; 12(2): 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.053>

18. Abka-khajouei R., Tounsi L., Shahabi N., Patel A.K., Abdelkafi S., Michaud P. Structures, Properties and Applications of Alginates. *Marine Drugs*. 2022; 20(6): 364. <https://doi.org/10.3390/md20060364>

19. Varela-Feijoo A. *et al.* Multiscale investigation of viscoelastic properties of aqueous solutions of sodium alginate and evaluation of their biocompatibility. *Soft Matter*. 2023; 31(19): 5942–5955. <https://doi.org/10.1039/D3SM00159H>

20. Bojorges H., López-Rubio A., Martínez-Abad A., Fabra M.J. Overview of alginate extraction processes: Impact on alginate molecular structure and techno-functional properties. *Trends in Food Science and Technology*. 2023; 140: 104142. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104142>

21. Dylgė G., Eisinaityė V., Damulevičienė G., Leskauskaitė D. Agar-collagen fluid gels as a dysphagia food: Rheological characterization vs fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2026; 339(2): 149776. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.149776>

22. León-López A., Morales-Peñaloza A., Martínez-Juárez V.M., Vargas-Torres A., Zeugolis D.I., Aguirre-Álvarez G. Hydrolyzed Collagen—Sources and Applications. *Molecules*. 2019; 24(22): 4031. <https://doi.org/10.3390/molecules24224031>

23. Wang X. *et al.* Assessment of the environmental impact of agar, alginate, and gellan gum carbohydrate gum macro beads biodegradation in a simulated agricultural field system. *Environmental Technology & Innovation*. 2023; 30: 103034. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103034>

15. Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Merenkova S.P., Neverova O.P. Study of the properties of food films based on agar with the addition of functional components. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23(12): 55–64 (in Russian). EDN EYBURY

16. Hegde V., Uthappa U.T., Altaihi T., Jung H.-Y., Han S.S., Kurkuri M.D. Alginate based polymeric systems for drug delivery, antibacterial/microbial, and wound dressing applications. *Materials Today Communications*. 2022; 33: 104813. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104813>

17. Qiao D., Li H., Jiang F., Zhao S., Chen S., Zhang B. Incorporation of k-carrageenan improves the practical features of agar/konjac glucomannan/k-carrageenan ternary system. *Food Science and Human Wellness*. 2023; 12(2): 512–519. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.053>

18. Abka-khajouei R., Tounsi L., Shahabi N., Patel A.K., Abdelkafi S., Michaud P. Structures, Properties and Applications of Alginates. *Marine Drugs*. 2022; 20(6): 364. <https://doi.org/10.3390/md20060364>

19. Varela-Feijoo A. *et al.* Multiscale investigation of viscoelastic properties of aqueous solutions of sodium alginate and evaluation of their biocompatibility. *Soft Matter*. 2023; 31(19): 5942–5955. <https://doi.org/10.1039/D3SM00159H>

20. Bojorges H., López-Rubio A., Martínez-Abad A., Fabra M.J. Overview of alginate extraction processes: Impact on alginate molecular structure and techno-functional properties. *Trends in Food Science and Technology*. 2023; 140: 104142. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104142>

21. Dylgė G., Eisinaityė V., Damulevičienė G., Leskauskaitė D. Agar-collagen fluid gels as a dysphagia food: Rheological characterization vs fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2026; 339(2): 149776. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.149776>

22. León-López A., Morales-Peñaloza A., Martínez-Juárez V.M., Vargas-Torres A., Zeugolis D.I., Aguirre-Álvarez G. Hydrolyzed Collagen—Sources and Applications. *Molecules*. 2019; 24(22): 4031. <https://doi.org/10.3390/molecules24224031>

23. Wang X. *et al.* Assessment of the environmental impact of agar, alginate, and gellan gum carbohydrate gum macro beads biodegradation in a simulated agricultural field system. *Environmental Technology & Innovation*. 2023; 30: 103034. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103034>

#### ОБ АВТОРАХ

##### Анастасия Олеговна Галушко<sup>1</sup>

студент кафедры пищевых и биотехнологий  
anastasiahalushko@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0007-9972-0137>

##### Виктория Андреевна Живагина<sup>1</sup>

студент кафедры пищевых и биотехнологий  
zhivagina2005@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0002-3931-0498>

##### Максим Олегович Петров<sup>1</sup>

студент кафедры пищевых и биотехнологий  
maks1741999@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0008-0685-2825>

##### Оксана Владимировна Зинина<sup>1</sup>

доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий  
zininaov@susu.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

##### Максим Борисович Ребезов<sup>2,3</sup>

– доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник<sup>2</sup>;  
– доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов<sup>3</sup>  
rebezov@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

<sup>1</sup>Ужно-Уральский государственный университет, пр-т им. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

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

<sup>3</sup>Уральский государственный аграрный университет, ул. им. Карла Либкнехта, 42, Екатеринбург, 620075, Россия

#### ABOUT THE AUTHORS

##### Anastasia Olegovna Galushko<sup>1</sup>

student of the Department of Food and Biotechnology  
anastasiahalushko@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0007-9972-0137>

##### Victoria Andreevna Zhivagina<sup>1</sup>

student of the Department of Food and Biotechnology  
zhivagina2005@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0002-3931-0498>

##### Maksim Olegovich Petrov<sup>1</sup>

student of the Department of Food and Biotechnology  
maks1741999@gmail.com  
<https://orcid.org/0009-0008-0685-2825>

##### Oksana Vladimirovna Zinina<sup>1</sup>

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and Biotechnology  
zininaov@susu.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

##### Maksim Borisovich Rebezov<sup>2,3</sup>

– Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher<sup>2</sup>;  
– Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products<sup>3</sup>  
rebezov@ya.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

<sup>1</sup>South Ural State University, 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

<sup>2</sup>Gorbatov Research Center for Food Systems, 26 Talalikhin st., Moscow, 109316, Russia

<sup>3</sup>Ural State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht st., Yekaterinburg, 620075, Russia



**ГРУППА  
КОМПАНИЙ  
ВИК**

**С 1990 года**

**№1** среди производителей ветеринарных препаратов в СНГ

**21** в мире среди производителей ветеринарной фармацевтики

**50+** стран экспорта, в том числе, Европейский союз, являются импортерами производимой продукции

**3** производственных комплекса имеют сертификаты GMP, признанные более чем в 100 странах мира



О ПРОИЗВОДСТВЕ



О ГК ВИК

## РОССИЙСКИЙ ГЛОБАЛЬНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЙ ХОЛДИНГ



КАТАЛОГ «ВИК – ЗДОРОВЬЕ ЖИВОТНЫХ»



CATALOGUE VIC ANIMAL HEALTH

**300+** НАИМЕНОВАНИЙ СОБСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

**20+** ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЙ

- Антибактериальные
- Гормональные
- Противопаразитарные
- Железосодержащие
- Нестероидные противовоспалительные

- Иммунобиологические
- Витамины и кормовые добавки, фитобиотики
- Средства гигиены и дезинфекции
- Косметические средства по уходу за животными
- Косметика и БАДы для людей фармкачества

- растворы для орального применения
- порошки
- гранулы
- таблетки
- стерильные инъекционные препараты
- жидкие и сухие кормовые добавки
- стерильные суспензии и порошки
- микрогранулы
- средства идентификации животных
- средства гигиены и дезинфекции