

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

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

6
2025



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Подпишитесь
на наш
Telegram канал!



ИСТОРИЯ

Снабжение ветеринарии
в России в XVIII–XX вв.

27

ВЕТЕРИНАРИЯ

Патологические нарушения
у молоди радужной форели
при заболевании
ихтиофтириозом

48

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Обоснование цифровой системы
идентификации инфекционных
заболеваний и удаления
зараженных растений картофеля

148

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
КОРМОВ, КОРМОВЫХ ДОБАВОК, ВЕТЕРИНАРИИ И ОБОРУДОВАНИЯ

КормВет экспо Грэйнд 2025

29–31 ОКТЯБРЯ, МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»

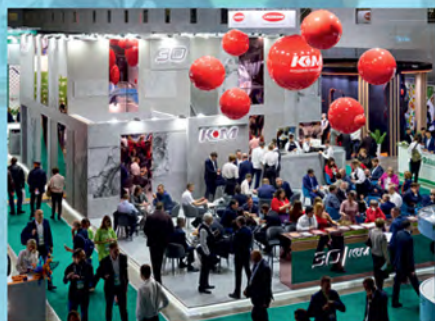
СВИНОВОДСТВО | ПТИЦЕВОДСТВО | ЖИВОТНОВОДСТВО | АКВАКУЛЬТУРА

ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ И УЧАСТИИ



- КОРМА, КОМБИКОРМА, КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ
- ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ, ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНА И МАСЛИЧНЫХ
- ТЕХНОЛОГИИ ПОЛЕВОГО КОРМОПРОИЗВОДСТВА
- СИСТЕМЫ КОРМЛЕНИЯ И СОДЕРЖАНИЯ
- ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КОРМОВ

- ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ
- ВАКЦИНЫ, СЫВОРОТКИ
- ИММУНОГЛОБУЛИНЫ
- ВИТАМИННО-МИНЕРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ
- ВЕТЕРИНАРНЫЙ И ЗООТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ
- СРЕДСТВА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДЕЗИНФЕКЦИИ



НАС ВЫБИРАЮТ ПРОФЕССИОНАЛЫ!



16+



ТЕЛ.: +7 (499) 649-50-20
E-MAIL: INFO@FEEDVET-EXPO.RU

FEEDVET-EXPO.RU

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ: ООО "ДЕКАРТС СИСТЕМ"
119049, г. МОСКВА, ЛЕНИНСКИЙ ПРОСПЕКТ, 2/2А, ОФИС 326

XX
международный
научно-практический



«Балтийский форум
ветеринарной
медицины
и
продовольственной
безопасности»

25 и 26 сентября
2025 года

20 ЛЕТ



Санкт-Петербург, "Центр ветеринарии",
Лиговский проспект, 291

<https://baltvetforum.com>

© 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 и кандидата наук.
Распоряжение Минобрнауки России от 12 февраля 2019 г. № 21-р

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

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

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

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

Шеф-редактор Костромичева И.В.

Научный редактор Долгая М.Н.

Дизайн и верстка Антонов С.Н.

Редактор-корректор Кузнецова Г.М.

Библиограф Нерозник Д.С.

Журналист Седова Ю.Г.

Менеджер по работе с клиентами Теплова А.С.

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

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

Тел. редакции +7 (916) 616-05-31

agrovetpress@inbox.ru

www.vetpress.ru

<https://agrarnayanauka.ru>

Реклама в журнале: +7 (927) 155-08-10

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

Свидетельство ПИ № ФС 77-76484

от 02 августа 2019 года.

На печатный журнал можно подписаться:

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

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

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

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

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

на сайте научной электронной библиотеки

www.elibrary.ru

Свободная цена.

Тираж 2000 экз.

Подписано в печать 17.06.2025

Дата выхода в свет 24.06.2025

Отпечатано в типографии ООО «Пропечать»:

119618, г. Москва, Боровское ш, дом 2А, корп. 4, кв. 260

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

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

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

Издатель:

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора:

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

Редакционная коллегия

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Лысенко Ю.А., доктор биологических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.
Миколойчик И.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Курганский государственный университет, г. Курган, Россия.
Миронова И.В., доктор биологических наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Россия.
Морозова Л.А., доктор биологических наук, профессор, Курганский государственный университет, г. Курган, Россия.
Некрасов Р.В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Московская обл., Россия.
Позябин С.В., доктор ветеринарных наук, профессор, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, г. Москва, Россия.
Радчиков В.Ф., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, г. Жодино, Беларусь.
Рустамова С.И., PhD, Ветеринарный научно-исследовательский институт при Минсельхозе Республики Азербайджан, г. Баку, Азербайджан.
Семенов В.Г., доктор биологических наук, профессор, Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Россия.
Сотникова Л.Ф., доктор ветеринарных наук, профессор, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.
Степанова М.И., доктор биологических наук, профессор, Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия.
Толуприя Л.Ю., доктор биологических наук, профессор, Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия.
Щербаков П.Н., доктор ветеринарных наук, доцент, Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия.

АГРОНОМИЯ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

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

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

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

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

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

Пенькова И.В., доктор экономических наук, профессор, Гуманитарный университет профсоюзов, г. Санкт-Петербург, Россия, Россия.

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

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

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



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

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

Founder: Limited liability company
“VIC Animal Health”

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

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

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

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

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

The circulation of 2000 copies.

Signed in print 17.06.2025
Release date 24.06.2025

The journal is printed in the printing house of LLC “Propechat”: 119618, Moscow, Borovskoye sh., building 2A, bldg. 4, apt. 260

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN SCIENCE

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

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

Publisher:

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

EDITOR-IN-CHIEF

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

Deputy Editor-in-Chief

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

THE EDITORIAL BOARD

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Both Russian and foreign authors are invited to publication.

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

Radchikov V.F., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Scientific and Practical Center for Animal Husbandry of the National Academy of Sciences of Belarus, Zhodino, Belarus.
Rustamova S.I., PhD, Veterinary Research Institute under the Ministry of Agriculture of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan.
Semenov V.G., Doctor of Biological Sciences, Professor, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia.
Shcherbakov P.N., Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia.
Sotnikova L.F., Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia.
Stepanova M.I., Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia.
Topuria L.Yu., Doctor of Biological Sciences, Professor, Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia.

AGRONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

Godswill N.N., PhD, University of Yaoundé I, Yaounde, Cameroon.
Juraev M.Ya., PhD, Associate Professor, Andijan Institute of Agriculture and Agrotechnologies, Andijan, Uzbekistan.
Nasiev B.N., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian Technical University, Uralsk, Kazakhstan.
Thiruvengadam M., PhD, Konkuk University, Seoul, South Korea.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Bunin M.S., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Central Scientific Agricultural Library, Moscow, Russia.
Dolzhenko T.V., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg state agrarian university, Pushkin, St. Petersburg, Russia.
Dragavtseva I.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Winemaking, Krasnodar, Russia.
Grichanov I.Ya., Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, All-Russian Research Institute of Plant Protection, Pushkin, Russia.
Islamgulov D.R., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia.
Jalilov F.S., Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.
Kalmykova E.V., Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Aforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia.
Kazakhmedov R.E., Doctor of Biological Sciences, North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking, Derbent, Russia.
Nikitin S.N., Doctor of Agricultural Sciences, Ulyanovsk Research Institute of Agriculture named after N. S. Nemtsev, Ulyanovsk, Russia.
Zeynalov A.S., Doctor of Biological Sciences, Federal Scientific Selection and Technological Center for Horticulture and Nursery, Moscow, Russia.

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Babich O.O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.
Briukhanov A.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Agroengineering and Environmental Problems (branch), Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russia.
Chernopolskaya N.L., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia.
El-Sohaimy S.A., PhD, Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.
Ishevsky A.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research University ITMO, St. Petersburg, Russia.
Ivanov Yu.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.
Kalinina I.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.
Khatko Z.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Maikop State Technological University, Maikop, Russia.
Kuznetsova E.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia.
Maksimova S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia.
Mammadov G.B., Doctor of Technical Sciences, Professor Azerbaijan State Agrarian University, Ganja, Azerbaijan.
Reznichenko I.Yu., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov, Kemerovo, Russia.
Semyonova A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, V.M. Gorbатов Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.
Sibirev A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal Scientific Agroengineering Center of VIM, Moscow, Russia.
Suychinov A.K., PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan.
Tretyak L.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Orenburg State University, Orenburg, Russia.
Troyanovskaya I.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia.
Yessimbekov Zh.S., PhD, Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry, Almaty, Kazakhstan.
Zinina O.V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Butko G.P., Doctor of Economics, Professor, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia.
Golovina S.G., Doctor of Economics, Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.
Kireeva A.A., Candidate of Economic Sciences, Institute of Economics, Almaty, Kazakhstan.
Kuzmenko V.V., Doctor of Economics, Professor, North Caucasian Federal University, Stavropol, Russia.
Penkova I.V., Doctor of Economics, Professor, Humanitarian University of Trade Unions, St. Petersburg, Russia.
Popova E.V., Doctor of Economics, Professor, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia.
Rakhmetova R.U., Doctor of Economics, Professor, University of Turan, Astana, Kazakhstan.
Ramazanov I.A., Doctor of Economics, Associate Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ, ПРАКТИКО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ И РЕКЛАМНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

НОВОСТИ	8
СОБЫТИЯ ОТРАСЛИ, ТРЕНДЫ, НОВИНКИ	

Доля отечественных ветеринарных препаратов на российском рынке достигла 80,7%.....	9
Агрострахование: вчера, сегодня, завтра	10
Инновационные решения проблемы микотоксикозов	12
Что важно знать о медикаторах	14
Контроль РРСС через призму лабораторных исследований	16
Дорамектин как эффективное средство против паразитарных инфекций в свиноводстве	18
Об опыте применения «Пинпрамил» в питомнике британских кошек.....	20
Неоценимый вклад в победу внесла отечественная аграрная наука.....	21

ИНТЕРВЬЮ

Николай Дмитриев: «Эффективное взаимодействие с работодателями — залог успешной подготовки востребованных специалистов»	22
---	----

ИСТОРИЯ

История снабжения ветеринарии в России в XVIII–XX вв.	27
--	----

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

ОТ РЕДАКТОРА

Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 3)	34
---	----

ВЕТЕРИНАРИЯ

Луцай В.И., Руденко П.А., Сибирцев В.Д., Нефедов А.М. Динамика показателей антиоксидантной системы и продуктов перекисного окисления липидов у коров при коморбидном течении акушерско-гинекологической и ортопедической патологии	40
Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Гаврилин К.В., Смородинская С.В., Гаффарова В.М. Системные патологические нарушения у молоди радужной форели (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) при заболевании икhtiофтириозом (<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>).....	48

ЗООТЕХНИЯ

Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В., Топурия Л.Ю. Влияние фермента липазы на метаболизм в рубце и усвояемость питательных веществ в организме бычков 14–15-месячного возраста.....	60
Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Анализ причин выбраковки коров голштинской породы в зависимости от генетических факторов	67
Савинов А.В., Алтухова Н.С., Круткина М.С., Ложкин Н.А., Белова М.В., Рудь А.И., Рукин И.В. Разработка и оптимизация уравнения селекционного индекса для комплексной оценки свиней породы йоркшир	73
Баркова О.Ю., Старикова Д.А., Чистякова И.В., Плешанов Н.В., Габова А.В. Транскрипты генов <i>COL4A2</i> , <i>IRG1</i> , <i>MMP12</i> как потенциальные биомаркеры качества спермы бычков	81
Позовникова М.В., Митрофанова О.В. Генетические особенности декоративных пород кур по однонуклеотидным заменам в гене <i>LCORL</i>	87
Игнатьева Л.П., Петрякова Г.К. Анализ выживаемости коров симментальской породы в зависимости от года рождения	94

АГРОНОМИЯ

Сахабиев И.А., Гиниятуллин К.Г., Смирнова Е.В. Использование статистики капла для оценки многолетних изменений внутривидовой неоднородности содержания доступных форм фосфора и калия	101
Ивенин А.В., Ивенин В.В., Петров Л.К., Голубев С.М. Влияние элементов технологии возделывания различных сортов озимой пшеницы на биометрические показатели их продуктивности в условиях Нижегородской области.....	109
Засыпкина И.М. Оценка показателей стрессоустойчивости, стабильности и пластичности сортов озимого ячменя по массе 1000 зерен	119
Тулинов А.Г. Изучение перспективных гибридов картофеля питомников предварительного и основного испытаний в условиях Республики Коми	126
Бочкарев В.Д., Волгин В.В., Ивойлов А.В., Пырсов А.С., Шахин И.В. Совершенствование технологии возделывания амаранта на зерно и зеленую массу в условиях юга Нечерноземной зоны	133
Подгорный С.В., Скрипка О.В., Самофалов А.П., Чернова В.Л., Кравченко Н.С. Новый адаптивный, высокопродуктивный сорт озимой мягкой пшеницы Василич, созданный в ФГБНУ «АНЦ «Донской»»	139

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Тетерин В.С., Панфёров Н.С., Овчинников А.Ю., Пехнов С.А., Кондрахов Д.Д. Обоснование цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний и удаления зараженных растений картофеля	148
Ульянова Е.В., Михайлова И.Ю., Сабатовский К.Г. Идентификационные критерии напитков на основе чая	156

ЦИФРОВИЗАЦИЯ АПК

Капитанов А.И. Эффективные методы адаптации LLM к доменной специфике аграрного бизнеса	162
Красюкова Н.Л. Использование блокчейн-технологии и больших данных для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок	167
Галкин А.И. Интеллектуальные технологии анализа больших данных как драйвер устойчивого развития сельского хозяйства	172

Новости из ЦНСХБ	176
-------------------------------	-----

CONTENTS

INFORMATIONAL, PRACTICAL, ANALYTICAL AND ADVERTISING MATERIALS

NEWS 8

INDUSTRY EVENTS, TRENDS, NOVELTIES

The share of domestic veterinary drugs in the Russian market has reached 80.7%	9
Agricultural insurance: yesterday, today, tomorrow	10
Innovative solutions to the problem of mycotoxicosis	12
Important information about medicators	14
PRRS control through the prism of laboratory research	16
Doramectin is an effective remedy against parasitic infections in pig farming	18
About an experience of using "Pinpramil" in a British cattery	20
The Russian agricultural science made an invaluable contribution to the victory	21

INTERVIEW

Nikolay Dmitriev: "Effective interaction with employers is the key to successful training of in-demand specialists"	22
---	----

HISTORY

The history of veterinary supplies in Russia in the 18th–20th centuries	27
---	----

SCIENTIFIC ARTICLES

EDITOR'S COLUMN

Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 3)	34
---	----

VETERINARY MEDICINE

Lutsay V.I., Rudenko P.A., Sibirtsev V.D., Nefedov A.M. Dynamics of antioxidant system indices and lipid peroxidation products in cows with comorbid obstetric-gynecological and orthopedic pathology	40
Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I., Gavrilin K.V., Smorodinskaya S.V., Gaffarova V.M. Systemic Pathological Disorders in Juvenile Rainbow Trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) During Ichthyophthiriosis (<i>Ichthyophthirius multifiliis</i>) Infestation	48

ZOOTECHNICS

Grechkina V.V., Sheida E.V., Kvan O.V., Topuria L.Yu. The effect of the lipase enzyme on rumen metabolism and nutrient absorption in bull calves aged 14–15 months	60
Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Analysis of the causes of culling of Holstein cows depending on genetic factors	67
Savinov A.V., Altukhova N.S., Krutkina M.S., Lozhkin N.A., Belova M.V., Rud A.I., Rukin I.V. Development and optimization of a selection index equation for comprehensive evaluation of Yorkshire pigs	73
Barkova O.Yu., Starikova D.A., Chistyakova I.V., Pleshanov N.V., Gabova A.V. Transcripts of <i>COL4A2</i> , <i>IRG1</i> , <i>MMP12</i> genes as potential biomarkers of bull sperm quality	81
Pozvonnikova M.V., Mitrofanova O.V. Genetic variation in decorative chicken breeds based on single nucleotide substitutions in the <i>LCORL</i> gene	87
Ignatieva L.P., Petryakova G.K. Survival analysis of Simmental cows depending on the year of birth	94

AGRONOMY

Sakhabiev I.A., Giniyatullin K.G., Smirnova E.V. The use of Kappa statistics to assess long-term changes in the intrafield heterogeneity of the content of available forms of phosphorus and potassium	101
Ivenin A.V., Ivenin V.V., Petrov L.K., Golubev S.M. The influence of elements of technology of cultivation of various varieties of winter wheat on biometric indicators of the productivity in the Nizhny Novgorod region	109
Zasyapkina I.M. Estimation of stress resistance, stability and adaptability indicators of the winter barley varieties according to 1000-grain weight	119
Tulinov A.G. Study of promising potato hybrids from nurseries of preliminary and main trials in the conditions of the Komi Republic	126
Bochkarev V.D., Volgin V.V., Ivoilov A.V., Piresev A.S., Shakhin I.V. Improving the technology of amaranth cultivation for grain and green mass in the conditions of the southern Non-Chernozem zone	133
Podgornyy S.V., Skripka O.V., Samofalov A.P., Chernova V.L., Kravchenko N.S. A new adaptive, highly productive variety of winter soft wheat Vasilich, created at the Federal State Budgetary Scientific Institution ANTS "Donskoy"	139

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Teterin V.S., Panferov N.S., Ovchinnikov A.Yu., Pehnov S.A., Kondrakhov D.D. Substantiation of a digital system for the identification of infectious diseases and removal of infected potato plants	148
Ulyanova E.V., Mikhailova I.Yu., Sabbatovsky K.G. Identification criteria for tea-based beverages	156

DIGITALIZATION OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Kapitanov A.I. Effective Methods for Adapting LLM to the Agricultural Business Domain	162
Krasyukova N.L. Using blockchain technology and big data to ensure the traceability and sustainability of agri-food supply chains	167
Galkin A.I. Intelligent Big Data Analytics Technologies as a Driver for Sustainable Agricultural Development	172

News from the Central Scientific Agricultural Library	176
--	-----

НА КРЕДИТЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫМ ЭКСПОРТЕРАМ АПК ВЫДЕЛЕНО ПОРЯДКА 15 МЛРД РУБЛЕЙ

В текущем году около 15 млрд руб. выделено на поддержку российских агроэкспортеров — на льготное кредитование экспортеров сельхозпродукции. Об этом, информирует ТАСС, сообщил председатель правительства РФ Михаил Мишустин в ходе заседания Совета по стратегическому развитию и нацпроектам. По словам премьер-министра, это решение позволит производителям увеличивать объемы изготовления и поставки сырья и продовольствия, отмечает информагентство.

(Источник: ТАСС)



С НАЧАЛА ГОДА В СЕЛЬХОЗОРГАНИЗАЦИЯХ ПРОИЗВЕДЕНО БОЛЕЕ 4,5 МЛН Т СКОТА И ПТИЦЫ

По данным федерального Минсельхоза, за январь-апрель 2025 года в сельхозорганизациях страны произведено более 4,5 млн т скота и птицы (в живом весе), что на 1% больше, чем за аналогичный прошлый год. В ведомстве, в частности, проинформировали, что, по оценке Росстата, за первые четыре месяца этого года произведено 2,25 млн т птицы, что на 3,4% выше значений показателя за тот же период минувшего года. Увеличен и объем выпуска куриного яйца, составивший порядка 13,1 млрд шт. — на 5,5% больше, чем в 2024 году. Также вырос — на 16,2% — объем производства овец и коз, достигнув 8,5 тыс. тонн. В Минсельхозе отметили: на развитие животноводства в РФ направлен широкий комплекс мер государственной поддержки (среди ключевых инструментов — льготное оборотное и инвестиционное кредитование, прямые меры поддержки федерального и регионального уровней).

(Источник: Официальный сайт Минсельхоза России)



СИБИРСКИЕ УЧЕНЫЕ РАЗРАБОТАЛИ БЫСТРЫЙ И НЕДОРОГОЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ СОВМЕСТИМОСТИ СМЕСЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПЕСТИЦИДОВ

Ученые Сибирского федерального университета (СФУ) разработали быстрый и недорогой способ оценки совместимости смесей различных пестицидов, широко распространенных в современном сельском хозяйстве, сообщили РИА Новости.

В основе разработанного метода, уточнили в сообщении, лежит ферментативная система, выделенная из светящихся бактерий (оксидоредуктаза и люцифераза), — интенсивность ее свечения меняется в зависимости от воздействия пестицидов, что и позволяет оперативно определить, происходит ли взаимодействие между компонентами смеси.

Как отметили в вузе, именно в высокой скорости анализа, а также его низкой стоимости заключается преимущество данного метода. Существующие аналоги используют главным образом живые тест-организмы (растения, рачков, рыбу). Подход же исследователей СФУ позволяет проводить анализ большого количества образцов в краткие сроки. Кроме того, он не предполагает лишних затрат на содержание лабораторных тестовых культур. Таким образом, практическое внедрение разработки позволит снизить экологический ущерб для окружающей среды и уменьшить затраты аграриев, связанные с неоправданным расходом пестицидов.

Результаты исследования, проинформировали в университете, опубликованы в журнале «Доклады Российской академии наук. Науки о жизни».

(Источник: РИА Новости)

ПОДМОСКОВЬЕ — НА 1 МЕСТЕ В РФ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХОГО МОЛОКА, СЛИВОК И СМЕСЕЙ ДЛЯ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

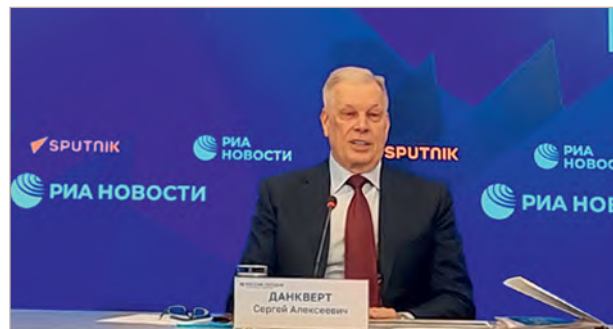
Московская область продолжает наращивать производство сухого молока, сливок, смесей для питания детей раннего возраста, успешно заменяя импортные аналоги, — за 3 месяца с начала этого года объем выпуска вырос на 10,9% к уровню аналогичного прошлого периода и составил 8,4 тыс. т, сообщили в областном Минсельхозпроде.

Как уточнили в ведомстве, регион занимает 1 место в РФ по производству сухого молока, сливок и смесей для детского питания — за 3 месяца подмосковные компании выпустили более 42% от общего объема данной продукции в ЦФО и свыше 13% — в России. Причем местные производители не только обеспечивают внутренний рынок детским питанием, но и поставляют его на экспорт. Например, в I квартале текущего года из Подмосковья было отправлено 2,2 тыс. т продукции, основными импортерами которой являются Узбекистан, Казахстан, Азербайджан. Товарные линейки регионального производства включают сухие молочные смеси для питания детей раннего возраста от 0 месяцев и специализированные смеси для детей с особыми пищевыми потребностями, — разработанные составы обладают высокой питательной ценностью, обогащены витаминами и минералами для поддержания здоровья и развития иммунитета малышей, отметили в облминсельхозпроде.

(Источник: Официальный сайт Минсельхозпрода Московской области)

ДОЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ВЕТЕРИНАРНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ ДОСТИГЛА 80,7%

В ММПЦ «Россия сегодня» состоялась пресс-конференция руководителя Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору Сергея Данкверта, посвященная результатам деятельности ведомства за 2024-й и планам на 2025 год.



Одной из ключевых тем пресс-конференции главы Россельхознадзора Сергея Данкверта стали вопросы продвижения экспорта отечественной животноводческой продукции в текущих геополитических условиях, расширения экспортных рынков. В частности, было отмечено, что при благоприятном сценарии по итогам 2025 года Россия может увеличить объемы экспортных поставок мясной продукции — мяса, готовых товаров, субпродуктов — до 1 млн т или на 140 тыс. т от уровня прошлого года. Таким образом, учитывая, что в минувшем году поставки данной продукции составили порядка 860 тыс. т, рост год к году может составить около 16,3%, проинформировал чиновник. Что касается свинины, то, по данным на 21.03.2025, объем ее экспорта вырос почти в 2 раза, с 32,3 тыс. т до 60,5 тыс. т, сообщил он. Эксперт уточнил, что в этом году только в Китай, без учета Гонконга, наша страна поставила 5,4 тыс. т мяса и 5,3 тыс. т пищевых субпродуктов свинины (в 2024 году в это время экспорт российской продукции еще не был открыт).

Отмечая рост объемов производства продукции животноводства в РФ, чиновник сообщил, что в 2024 году в стране было произведено всех видов мяса в живом весе 11,996 млн т (в 2023-м — 11,72 млн т). Также он отметил, что объем экспорта в убойном весе составил 824 тыс. т (против 649 тыс. т в предыдущем году), импорта (тоже в убойном весе) — 713 тыс. т (против 586 тыс. т 2023 года).

Сергей Данкверт заострил внимание на ухудшающейся ситуации по ящуру в Евросоюзе (из-за распространения которого Россельхознадзор с 20.01.2025 ввел запрет на ввоз в РФ и транзит по ее территории продукции животноводства из Европы), заметив, что на фоне распространения этого заболевания европейские страны не принимают мер по вакцинации восприимчивых животных. «Здесь прогноз пока плохой», — заявил он, уточнив: поскольку не приняты меры по вакцинации, то гарантии, что ящур не станет распространяться далее, отсутствуют в принципе, следовательно, экспорт европейской продукции животноводства — под угрозой. Россельхознадзор, напомнил глава ведомства, еще в январе текущего

года предупреждал: все страны, граничащие с Германией, — где был зафиксирован первый очаг этого острого вирусного высококонтагиозного заболевания, — находятся в зоне риска. «И если теперь ящур — уже в Словакии и Венгрии, то вскоре может распространиться по всем близлежащим странам», — предостерег он, указав в числе причин сложившейся ситуации бесконтрольное перемещение грузов, техники и кадровый дефицит — недостаток опытных квалифицированных специалистов в области борьбы с этим заболеванием в ЕС.

Спикер, информируя о международной деятельности по обеспечению экспорта и импорта поднадзорной продукции, сообщил, что за минувший год Россельхознадзором проведено 111 инспекций иностранных предприятий и производств. Также он уведомил, что в 2024 году состоялось 68 визитов иностранных компетентных органов стран-импортеров в РФ. По результатам, отметил чиновник, было аттестовано 1075 российских предприятий для экспорта продукции.

В ходе обсуждения положения дел с обеспечением РФ отечественными ветеринарными препаратами глава Россельхознадзора сообщил, что за последние три года количество впервые зарегистрированных российских ветлекарств увеличилось почти в 2 раза. Так, по его данным, в 2022 году (с марта этого года в России действует ускоренная регистрация лекарственных препаратов для ветеринарного применения, — срок регистрации сокращен с 160 до 60 дней) в нашей стране было зарегистрировано 78 новых российских препаратов для ветприменения, а в 2024-м — 138. При этом, уточнил чиновник, доля отечественных ветеринарных препаратов на российском рынке достигла 80,7%. А к 1 января 2025 года, согласно его презентации, на рынок выведено уже 205 новых лекарственных препаратов ветеринарного применения. Спикер также отметил, что отечественным специалистам (в частности, представителям НПП «Авивак», подведомственного Россельхознадзору ФГБУ «ВНИИЗЖ») удалось решить проблему с дефицитом вакцины для птиц. «Нам необходимо и далее развиваться в этом направлении», — подытожил Сергей Данкверт.

Ю.Г. Седова

АГРОСТРАХОВАНИЕ: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

Текущую ситуацию в сфере сельхозстрахования обсудили участники прошедшей в ТАСС пресс-конференции на тему «Агрострахование как механизм защиты рисков АПК: итоги 2024 года и стратегия развития».

Как отметил председатель Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Александр Двойных, 2024 год, в силу беспрецедентных убытков, стал показателем эффективности российской системы агрострахования, — она смогла незамедлительно и результативно отреагировать на имеющиеся вызовы и угрозы. Тем не менее, указал он, в этом виде страхования существует ряд существенных проблем, требующих незамедлительного решения, — среди них недостаточная информированность сельхозтоваропроизводителей (о работе системы) и нехватка метеостанций. Кроме того, необходимо усилить внимание отдельных регионов к вопросу о готовности оперативно проводить процедуры осмотра посевов при введении режима ЧС, добавил глава Комитета.

Его первый заместитель Сергей Митин сообщил: профильный комитет верхней палаты парламента активно участвовал в разработке и принятии ряда законодательных инициатив в сфере агрострахования, однако некоторые доработки все же нужны, и сенаторы готовы совершенствовать законодательство в данном направлении. Например, отметил он, надо учесть риски в области интенсивного садоводства и виноградарства, а также товарной аквакультуры, и обеспечить таким производителям дополнительную страховую защиту.

О перечисленных аграриям рекордных страховых выплатах общей суммой 8,8 млрд руб. (из них 5,5 млрд руб. в 2024-м и 3,3 млрд руб. — в 2025 году, по страховым событиям 2024 года) сообщила первый заместитель министра сельского хозяйства РФ Елена Фастова. По ее данным, охват посевных площадей в России страхованием составил 19,5%, превысив 15 млн га. «Мы идем опережающими темпами, — объем застрахованных площадей растет», — заявила чиновник.

Спикер также отметила, что сумма выплат страхового возмещения в результате весенних заморозков минувшего года составила 2,4 млрд руб. (по состоянию на 5 марта 2025 года).

На текущий момент, согласно презентации первого замминистра, в топ-10 субъектов РФ по страхованию в области растениеводства входят Забайкальский край, Липецкая область, Приморский край, Калининградская, Тамбовская, Томская области, Красноярский край, Омская и Воронежская области, Республика Мордовия. В аналогичном топе субъектов по страхованию в сфере животноводства — Ленинградская, Тамбовская, Липецкая, Брянская и Пензенская области, Хабаровский



Источник фото: телеграм-канал председателя Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Александра Двойных

край, Орловская, Челябинская, Курская, Кемеровская и Тверская области.

Минсельхоз России совместно с Росгидрометом приступил к решению задачи расширения сети метеостанций, сообщила чиновник, — утверждена Дорожная карта межведомственной рабочей группы по вопросам, связанным с расширением сети метеорологических станций для целей сельскохозяйственного страхования, осуществляемого с господдержкой, от 21 февраля 2025 года. И — в соответствии с документом — в текущем году запущен пилотный проект по организации агрометеорологических наблюдений на частных метеостанциях в трех областях — Самарской, Новосибирской и Нижегородской (кроме того, организовано проведение параллельных наблюдений на станциях Росгидромета). Как пояснила спикер, данные частных метеостанций будут использоваться для подтверждения наступления опасных природных явлений и выдачи аграриям справок с целью получения страховых выплат. «Мы будем эту работу развивать», — заключила она.

Начальник управления регулирования деятельности на рынке страхования департамента страхового рынка Банка России Ольга Шелепнева, напомнив, что ЦБ РФ участвует в построении и совершенствовании российской системы агрострахования с ее основания, заявила: сейчас происходит тонкая настройка данного механизма с учетом потребностей отдельных групп аграриев. К агростраховщикам — на уровне закона — предъявлены более высокие требования, чем в других видах страхования, — опыт работы, наличие рейтингов и определенного объема собственных средств (не менее 3 млрд руб.), в связи с тем, что

сельхозстрахованию присущи катастрофические риски, отметила она. «Как мы видим, в какой-то год могут иметь место достаточно низкие страховые выплаты, что совершенно не означает плохую работу агростраховщиков, — сказала эксперт. — Обычно вслед за ним наступает год, когда природные явления дают стимул страховому рынку поработать и выполнить все свои обязательства». Сегодня агрострахование — реальная и очень важная мера поддержки аграриев, подытожила она.

Самым сложным годом в истории отрасли, по оценке генерального директора страховой компании «РСХБ-Страхование», занимающей позиции лидера рынка, члена правления НСА Сергея Простатина, стал 2024-й, по итогам которого объем страховых выплат по сельхозстрахованию компании, урегулировавшей 952 страховых случая в агросекторе — на 30% больше, чем годом ранее, составил 5,1 млрд руб. «Страховая сеть сформировалась и напрямую влияет на устойчивость аграриев», — резюмировал он, отметив рост спроса на агрострахование. Так, в прошлом году, по словам гендиректора, количество их клиентов увеличилось на 25%, причем преимущественно за счет хозяйств, относящихся к малому и среднему бизнесу.

Президент Национального союза агростраховщиков (НСА) Корней Биждов сообщил, что размер застрахованных посевов с 2018 года вырос в 11 раз и почти в 3 раза — с 2021 года (с 5,8 млн га до 16,3 млн га). По его мнению, основными факторами столь значительного роста стали разработка и внедрение программы страхования на случай ЧС, реализуемой с 2022 года, стимулирующие меры Министерства сельского хозяйства РФ и проведенная в регионах НСА совместно с госорганами масштабная разъяснительная работа.

Как отметил глава НСА, в 2024 году, по данным Союза, впервые обеспечено страхование культур:

- зерновых — 29,6%;
- технических — 20,4%.

В минувшем году, сообщил эксперт, в 18 регионах страны охват страхованием посевных



площадей превысил 25%, что — как и почти 50%-ный охват поголовья сельскохозяйственных (с 2018 года застрахованное поголовье выросло втрое) — является относительно высоким для добровольных видов страхования.

Спикер отметил, что, кроме 8,8 млрд руб. выплат, перечисленных аграриям по договорам с господдержкой, они получили от компаний НСА еще порядка 3,1 млрд руб. выплат по несубсидируемым договорам. Так, 1 млрд руб. перечислено животноводам, 0,7 млрд руб. — растениеводам (при этом по направлению растениеводства в системе агрострахования с господдержкой уровень выплат за 2024 год с учетом оплаченных в начале текущего года убытков впервые достиг 97%), 1,4 млрд руб. — за гибель поголовья рыбы.

Президент НСА озвучил следующий прогноз аналитиков Союза по достижению основных показателей к 2030 году:

- в растениеводстве, предположительно, можно будет обеспечить охват страхованием 32 млн га посевных площадей — порядка 35%;
- в животноводстве — 18 млн условных голов сельскохозяйственных — около 60% от поголовья.

В числе ключевых направлений дальнейшего развития системы агрострахования эксперт выделил внедрение новых программ страхования (урожай многолетних растений, индекс урожайности, товарная аквакультура) и упрощение его процедур, в том числе сокращение сроков выплат. А также — применение принципа «зеленого коридора», в контексте НСА означающего упрощенный порядок заключения договоров и урегулирования убытков для долгосрочных страхователей.

Все результаты, включая изменение отношения аграриев к агрострахованию и ощутимую финансовую поддержку, полученную ими в виде страховых выплат по чрезвычайным событиям минувшего года, были бы невозможны без консолидированной работы НСА с законодательной и исполнительной властью, Советом Федерации, Минсельхозом России, ЦБ РФ, Минфином России, регионами, отметил Корней Биждов.

Ю.Г. Седова



ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ МИКОТОКСИКОЗОВ

Проблема микотоксикозов имеет большие масштабы и остается актуальной для промышленного животноводства и птицеводства. Известно, что микотоксины — продукты жизнедеятельности плесневых грибов — широко распространены в растительных продуктах, обладают канцерогенным, мутагенным действием, подавляют иммунитет, поражают органы и системы животных, в результате чего повышается чувствительность к болезням и стрессам, снижается эффективность вакцинаций, лечебных мероприятий.

Зачастую корма контаминированы несколькими видами токсинов. Как правило, в кормах обнаруживается одновременно от двух до пяти и более их видов. Одним из свойств микотоксинов является их способность накапливаться в органах и тканях. Существенно снижая параметры продуктивности и качество получаемой продукции, микотоксины становятся источником серьезных экономических издержек. Наиболее эффективный и экономически оправданный метод профилактики их действия — применение сорбентов.

В результате многолетней научной и исследовательской работы совместно с ведущими институтами, лабораториями и экспертами отрасли, а также усовершенствования технологических процессов в 2024 году на рынок был выведен инновационный нейтрализатор микотоксинов «Сорбола» российского производителя ООО «Надвоицкий завод ТДМ» (Республика Карелия) (регистрационный № РФ-КД-00728).

Кормовая добавка производится из минерального сырья — шунгита, который благодаря

своему уникальному составу и сложному процессу модификации демонстрирует высокую эффективность действия в отношении микотоксинов как полярной, так и неполярной природы.

Исследования, проведенные в партнерстве с Институтом физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина (г. Москва), показали необычный эффект одновременного действия кормовой добавки «Сорбола» на микотоксины различной природы. Было установлено, например, что в отношении афлатоксина модифицированный шунгит действует по механизму физической адсорбции, а в отношении Т-2 токсина — по механизму каталитической деструкции с формированием безопасных для организма животных производных микотоксина.

Высокая сорбционная способность кормовой добавки «Сорбола» (более 90% к нормируемым микотоксинам) объясняется особенностями химического состава шунгита — наличием в нем углерода и двуокиси кремния, по сути представляющими собой уникальный природный органоминеральный композит, а также необычными физическими и химическими свойствами поверхности шунгитовых частиц.

Термическая и поверхностная модификации шунгита формируют большое количество поверхностных и подповерхностных пор трех типоразмеров: макро — 350–1000 нм, мезо — 60–160 нм и микро — 10–20 нм. Кроме того, такая модификация активизирует на поверхности шунгита большое количество

кислородсодержащих функционально активных групп (карбонильных, карбоксильных, лактонных и т. д.).

По данным специальной литературы, например А. Huwig, S. Freimund *et al.* Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents (Toxicology Letters) (2001), Г. Лаптев, Н. Новикова и др. «Руководство по нейтрализации токсинов» (2022 г.), Н. Мишина, Э. Семенов и др. «Сравнительная оценка сорбционных материалов для удаления трихоцетенов» (2023 г.), некоторые сорбенты обладают следующими недостатками: активированный уголь при низкой связывающей способности в отношении микотоксинов связывает некоторые витамины и микроэлементы, обладает плохой биосовместимостью с организмами животных и птицы, зачастую отрицательно влияет на всасывание жиров и белков, иногда вызывает гипогликемию; глинистые минералы (алюмосиликаты, цеолиты, монтмориллониты, бентониты) обладают плохой биосовместимостью, препятствуют доступности нутриентов, сорбируют витамины и микроэлементы, иногда травмируют стенки ЖКТ; клеточные стенки дрожжей эффективны только при низких концентрациях токсинов в кормах и обладают недостаточной практической сорбционной способностью, особенно при повышении уровня pH до нейтральных или близких значений (высокий уровень десорбции).

Низкая эффективность некоторых сорбентов в отношении



микотоксинов может быть компенсирована увеличением норм их ввода, однако эта мера может приводить к снижению содержания питательных веществ в кормах, травмированию стенок кишечника, нарушению целостности ворсинок и замедлению скорости их роста и восстановления.

Длительное скармливание сорбентов на основе глинистых минералов с увеличенными нормами ввода может представлять существенную опасность, особенно при нарушении целостности и воспалении стенок кишечника при диарее, дисбиозе микрофлоры, кокцидиозах.

В ФГБУ «Ленинградская МВЛ» (2021 г.) было проведено лабораторное исследование сорбционной способности кормовой добавки «Сорбола» в отношении водорастворимых витаминов B_9 (фолиевой кислоты) и B_{12} (цианкобаламина). В процессе исследования полностью воспроизведены условия общепринятой модели сорбции и десорбции в желудочно-кишечном тракте, применяемой для изучения процессов взаимодействия различных сорбентов с микотоксинами.

Для определения витаминов в пробах использовался метод иммуноферментного анализа,



который выявил полную индифферентность шунгитового адсорбента «Сорбол» в отношении исследованных витаминов.

На базе лаборатории Института геологии Карельского научного центра (2024 г.) были проведены исследования влияния избыточных дозировок кормовой добавки на основе шунгита в отношении микро- и макроэлементов, широко применяемых в кормах и премиксах для животных. Значения концентраций микро- и макроэлементов в тестах воспроизведены на уровне реально применяемых в условиях промышленных животноводческих хозяйств и птицеферм. Построение концентрационных кривых установило крайне незначительное влияние (на уровне погрешности) «Сорболы» на микро- и макроэлементы.

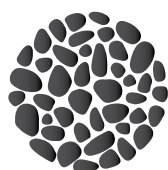
Многочисленные положительные отзывы потребителей кормовой добавки «Сорбола», успешные эксперименты

на базе авторитетных отраслевых институтов (ФГБУ «ВНИИЖ им. академика Л.К. Эрнста, ФНЦ «ВНИТИП», МГАВМиБ — МВА им. К.И. Скрябина, ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ») подтверждают ее уникальные биологические свойства по эффективному предотвращению негативного воздействия микотоксинов у сельскохозяйственных животных, в том числе птицы, способствующие повышению их продуктивности и сохранности.



В рамках проведенного конкурса «Лучшие на АГРОС-2024» кормовое решение «СОРБОЛА®» минеральный активатор пищеварения — адсорбент микотоксинов производства ООО «Надвоицкий завод ТДМ» было награждено авторитетным жюри выставки. Кубком «Лучшее кормовое решение АГРОС-2024» награждаются наиболее востребованные и приспособленные для российского рынка продукты и разработки.

<https://purekarelia.ru/>



СОРБОЛА®

На основе модифицированного минерала шунгита

- ✓ Устранение признаков микотоксикозов в короткие сроки
- ✓ Увеличение срока хранения кормов за счет бактерицидных свойств
- ✓ Улучшение конверсии корма
- ✓ Улучшение экстерьера животных и птицы всех возрастов
- ✓ Пребиотический эффект
- ✓ Выраженное улучшение состояния, сохранности и продуктивности поголовья, в том числе на фоне теплового стресса
- ✓ Защита клеток печени и селезенки
- ✓ Улучшение иммунного статуса
- ✓ Улучшение фертильной функции и получение здорового потомства в результате длительного использования
- ✓ Увеличение продуктивного долголетия животных и птицы



Регистрационный номер
РФ-КД-00728 от 19.04.2024
Бумажные мешки 25 кг
Срок годности 12 месяцев



Производитель ООО «Надвоицкий завод ТДМ»,
Республика Карелия, пгт Надвоицы, ул. Заводская, 1



+7 (800) 550 36 75



info@rbk.karelia.ru



www.purekarelia.ru

РЕКЛАМА



ЧТО ВАЖНО ЗНАТЬ О МЕДИКАТОРАХ

Цель любого промышленного животноводческого предприятия — максимизировать доходы и минимизировать затраты. Сельхозпредприятия стараются оптимизировать производственные процессы путем упрощения, составления четких алгоритмов, автоматизации. Как следствие, за многие рабочие процедуры, которые раньше выполняли люди, сейчас отвечают механизмы. Один из показательных примеров — дозаторы.

Дозаторы предназначены для введения жидких или разбавленных веществ в системы подачи воды, могут использоваться для широкого спектра задач, позволяют экономить человеко-часы и исключают неточность дозировок.

В случае вспышки бактериального заболевания индивидуальное лечение животных и птиц сопряжено с отягчающими факторами: ростом стресс-фактора, трудозатратами, человеческим фактором инъекции в неподходящие места, попаданием в сосуды, неверной дозировкой, пропущенными животными или птицей. Для оптимизации процесса и снижения трудозатрат используется методика добавления содержащих антибиотики препаратов в корма. Один из минусов данного метода заключается в том, что больные животные часто отказываются от корма, имеют плохой аппетит или отгоняются от кормушек более здоровыми особями.

Использование медикаторов позволяет исключить большинство человеческих факторов и не сказывается на стресс-факторе. Дополнительным преимуществом медикаторов является тот факт, что у больных животных и птицы часто снижен аппетит, они чаще пьют, что обеспечивает получение необходимой лечебной дозы действующего вещества (ДВ).

При выборе и эксплуатации медикаторов необходимо избегать следующих ошибок:

Часто на животноводческих предприятиях функционал медикаторов совмещают, и через дозатор, используемый для выпойки антибиотиков или вакцин, пропускают кислотосодержащие препараты с целью санации системы водопоя. Если корпус медикатора состоит из устойчивых к кислоте материалов, это не относится к внутренним прокладкам, дозирующим кольцам и прочим деталям. Либо через кислотостойкий медикатор, считая, что он химостойкий, начинают пропускать щелочесодержащие препараты, не зная, что за устойчивость к кислоте и щелочи отвечают два не сочетаемых материала.

Использование медикатора в системе с потреблением воды, превышающей технические возможности аппарата. В подавляющем большинстве



стандартные модели медикаторов в пределах 5% на свиноводческих и птицеводческих фабриках способны пропустить через себя максимум 3000 л/ч. Использование дозатора в системе с максимально допустимым значением либо превышающим его приводит к быстрому износу деталей или повреждению двигателя.

Использование медикаторов при малых значениях потребления воды. Несмотря на тот факт, что в подавляющем большинстве медикаторов прописана возможность работы при 10 л/ч, фактические результаты работы отличаются от нормативов на 30–70% в зависимости от модели, выставленного процента и скорости потребления воды.

Важно учитывать материалы, из которых устроен медикатор-дозатор, чтобы не вступать в реакцию с водой, где растворены антибиотики, микроэлементы, кислоты и т. д. Материалы должны иметь физические параметры, способствующие дозированию, износостойкости и прочим параметрам, повышающим качество оборудования.

Рассмотрим медикатор-дозатор серии Mixtron. Он состоит из трех вариаций сплавов Tecamid + + Tekaform. Элементы корпуса выплавлены из разных пропорций данных сплавов, что обеспечивает минимальное поглощение влаги участков, напрямую контактирующих с водой. Хорошая степень ударной вязкости корпуса двигателя с целью снижения деструктивных последствий гидроударов, высокий показатель трения (скольжения), снижающий стирание двигающихся элементов,

ударная прочность и многие другие физико-химические параметры, напрямую или опосредованно влияющие на производительность и надежность.

Tekaflon, известный как PVDF (он же поливинилденфторид), — популярный материал, используемый в большинстве качественных медикаторов. Если сочетание Tecamid + Tekaform в большей степени отвечает за физические качества материала и его прочность, то Tekaflon способствует химической стойкости (кислотостойкости). От процента данного материала в сплаве зависит максимально допустимая к работе концентрация кислоты.

Материалы Aflas и Viton Extreme выполняются кардинально различающиеся задачи, их применение в одном оборудовании невозможно. Viton — одна из производных фторкаучука. Из-за своего состава и физических свойств материал применяют в прокладках и уплотнителях, контактирующих с кислотой. Среди всех доступных материалов по параметру «цена — качество» данное вещество самое выгодное. В Mixtrone 2.0 используется Viton Extreme, наиболее кислотостойкая вариация Viton. Aflas — специализированный натуральный каучук, принадлежащий группе фторэластомеров. Данный материал обладает высокой стойкостью к щелочам, что позволяет использовать высокощелочные растворы, но быстро растворяется в кислоте.

По химостойкости медикаторы можно разделить на три вида: стандартные модели

(антибиотики, пищевые добавки и пр.), кислотостойкие и щелочестойкие. При работе с высокими концентрациями растворов, применяемых в производстве, использование устойчивых материалов не обеспечивает долгий срок эксплуатации. Например, Viton, как уплотнитель, являясь наиболее устойчивым материалом к кислоте, все равно подвержен ее воздействию и со временем приходит в негодность. Поэтому в модели Mixtrone Extreme, кроме подбора специализированных материалов, используются технические решения, направленные на снижение «усталости» материалов.

Режим байпас меняет маршрут поступления препарата, не позволяя ему вступать в реакцию с двигателем и металлическими деталями внутри дозатора, благодаря чему можно пропускать через медикатор агрессивные кислоты в концентрации, которая в ином случае расплавит медикатор, несмотря на использование устойчивых материалов, в том числе поливинилденфторида.

Линейка медикаторов Mixtron имеет модели для выполнения любого спектра задач — от разнообразия применяемых химических средств до концентрации и пропускной способности воды.

Н.С. Мельник,
ведущий специалист по ветеринарным
инструментам и оборудованию
дивизиона ББиО ГК ВИК



Каталог оборудования



КОНТРОЛЬ РРСС ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



Репродуктивно-респираторный синдром свиней (РРСС) вызывается РНК-вирусом, принадлежащим семейству артеривирусов (*Arteriviridae*). Впервые зарегистрирован в конце 1980-х годов. В 1990 году ученые доказали инфекционную природу болезни, а в 1991-м впервые изолировали вирус-возбудитель.

Половина российских производителей свинины имеют позитивный РРСС-статус. Симптомы проявления РРСС у животных разнятся и зависят от размера предприятия, используемой технологии и других факторов. В позитивных хозяйствах по РРСС при острой вспышке заболевания кратно увеличивается падеж поголовья среди основного поголовья до 5%, опорок 50–100%, дорастивание до 25% и откорм до 10%. Во многих хозяйствах отмечается персистентное течение РРСС с периодическим повышенным отходом поросят на участках дорастивания и откорма до 20%.

Своевременное выявление РРСС критически важно для успешного контроля заболевания. Лабораторная диагностика позволяет:

- подтвердить диагноз, дифференцировать РРСС от других заболеваний со схожими клиническими признаками;
- оценить распространенность вируса, определить масштабы инфекции в стаде;
- контролировать эффективность применяемых мероприятий: оценить результативность вакцинации;
- выбрать оптимальную стратегию борьбы, разработать индивидуальный план действий для каждого хозяйства.

Компания «ВерумБио» — официальный поставщик тестов компании IDEXX, являющейся лидером в области ветеринарной диагностики, предлагает тест-наборы на РРСС, отвечающие различным потребностям:

- **IDEXX PRRS X3 Ab Test.** Набор для выявления антител к вирусу РРСС в сыворотке и плазме крови свиней позволяет получать качественные результаты, обладает высокой чувствительностью (98,8%) и специфичностью (99,9%) (988 и 999 проб из 1000 исследуемых дают достоверный результат). Тест-набор способен точно идентифицировать инфицированных животных (антитела определяются на 7–14-й день после заражения), сводит к минимуму ложноположительные и ложноотрицательные результаты. Такая точность важна для принятия обоснованных решений по управлению заболеванием. Эффективен для мониторинга статуса стада и оценки вакцинации.

- **IDEXX PRRS OF.** Набор для выявления антител к вирусу репродуктивно-респираторного синдрома в образцах свиной слюны, собранной от отдельных животных либо от группы свиней. Тест позволяет проводить обследование большого количества поголовья, допускается отбор слюны хлопчатými веревками от группы животных в 25 голов. Благодаря высокой чувствительности и специфичности антитела обнаруживаются в 96% отобранных проб. Важно при исследовании слюны от поросят в первую неделю отъема (20–30 дней жизни) уделить особое внимание отбору проб и последующей интерпретации результатов, так как в корме может содержаться порошкообразная сухая свиная плазма. В результате возможны ложноположительные результаты на антитела к вирусу РРСС при исследовании слюны.

При проведении мониторинговых исследований важно учитывать тропизм возбудителя и отбирать достаточное количество проб от стада для получения репрезентативных результатов. При исследовании в ИФА 30 проб сыворотки или плазмы от группы поголовья в 1000 голов можно выявить циркуляцию вируса у 10% поголовья. Большая выборка среди разных возрастных групп дает более точный результат.

Что и у кого отбирать для мониторинга стада

Для исследований в ИФА (сыворотка, плазма крови, слюна), отбирают пробы у следующих половозрастных групп:

- хряки-производители;
- ремсвинки в возрасте 170 и 220 дней;
- свиноматки: 1-й, 2-й, 3-й цикл;
- поросята: 20, 60, 90, 120, 160 дней жизни.

Для исследований в ПЦР отбирают пробы у следующих половозрастных групп:

- хряки-производители (сперма, мазки крови на ФТА-картах);
- ремсвинки в 220 дней (сыворотка крови);
- поросята 1–3 дня жизни (серозно-кровявый экссудат от семенников поросят после кастрации);
- абортированные плоды или мертворожденные поросята (не менее 3 проб);
- поросята 20–160 дней жизни (сыворотка крови, легкие, лимфатические узлы).

РРСС на сегодняшний день остается заболеванием, которое приносит свиноводческим хозяйствам и отрасли в целом огромные экономические убытки. По данным исследований, экономический ущерб от РРСС на одну свиноматку в ЕС составляет порядка 26 тыс. рублей (260 евро) в год. Для примера: с одной площадки с поголовьем 5000 свиноматок в год потери составляют порядка 130 млн рублей.

Использование современных методов лабораторной диагностики, таких как тесты IDEXX, играет ключевую роль в эффективной борьбе с этим заболеванием. Комплексный подход к диагностике, основанный на точных и надежных тестах, позволяет своевременно выявлять и контролировать РРСС, минимизируя экономические потери и обеспечивая здоровье свиней.

Наши специалисты обучат методикам диагностики и разработают стратегию контроля инфекционных заболеваний, подберут оборудование для организации собственной лаборатории, обеспечат тест-наборами и расходными материалами.

Проведение регулярных лабораторных исследований — это не лишние затраты, а выгодные инвестиции. Использование передовых технологий диагностики IDEXX — залог успеха в борьбе с РРСС.

А.Н. Денисов, ветеринарный врач, специалист по научно-техническому сопровождению клиентов компании «ВерумБио»



ООО «ВерумБио», 111396, г. Москва,
ул. Алексея Дикого, д. 18Б, оф. 216
Тел. +7 (800) 500-35-85, +7 (495) 120-77-87
info@verumbio.com, verumbio.com



ИНФЕКЦИОННЫЕ УГРОЗЫ В СВИНОВОДСТВЕ

К ЧИСЛУ НАИБОЛЕЕ ОПАСНЫХ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЕЗНЕЙ В СВИНОВОДСТВЕ ОТНОСЯТСЯ:

- Классическая чума свиней
- Грипп свиней
- Актинобациллёзная плевропневмония
- Энзоотическая пневмония
- Болезнь Ауески
- Сальмонеллез
- Репродуктивно-респираторный синдром свиней (PPCC)



ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ОСОБЕННО ОПАСНЫ И МОГУТ БЫСТРО ПОРАЗИТЬ ВСЕ СТАДО

Если вовремя не позаботиться с проведением качественной диагностики, существенные потери неизбежны. Чем раньше выявлено заболевание, тем больше шансов избежать негативных последствий в виде падежа или вынужденного убоя.

МЫ ПРЕДЛАГАЕМ:

- Тест-набор для обнаружения антител к возбудителю АПП;
 - Тест-набор для обнаружения антител к возбудителю классической чумы свиней;
 - Тест-набор для обнаружения антигена к возбудителю классической чумы свиней;
 - Тест-набор для обнаружения антител к *M. hyorhynchus* (Энзоотическая пневмония);
 - Тест-набор для обнаружения антител к возбудителю PPCC в сыворотке крови свиней;
 - Тест-набор для обнаружения антител к возбудителю PPCC в пробах ротовой жидкости;
 - Тест-набор для обнаружения антител к вирусу болезни Ауески (Гликопротеин В);
 - Тест-набор для обнаружения антител к вирусу болезни Ауески (Гликопротеин Е);
 - Тест-набор для обнаружения антител к возбудителю сальмонеллеза (типы В, С1, D);
 - Тест-набор для обнаружения антител к возбудителю гриппа свиней (тип А);
- и другие тест-системы.

Компания **ВЕРУМБИО** является официальным представителем **IDEXX** и предоставляет предприятиям аграрного сектора работающие методики повышения экономической эффективности. Мы предоставляем спектр услуг для улучшения эпизоотической ситуации на вашем предприятии АПК и повышения уровня прибыли.

МЫ ЯВЛЯЕМСЯ ОФИЦИАЛЬНЫМ ПРЕДСТАВИТЕЛЕМ
IDEXX, ROMER LABS, LABEXIM

+7(800)500-35-85 | +7(495)120-77-87
verumbio.com

 **VERUMBIO**
ВАШИ ЦЕЛИ – НАШИ ПРИОРИТЕТЫ!

ДОРАМЕКТИН КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ПРОТИВ ПАРАЗИТАРНЫХ ИНФЕКЦИЙ В СВИНОВОДСТВЕ

Программа дегельминтизации — ключевой элемент в промышленном свиноводстве, поскольку позволяет обеспечить здоровье животных и повысить эффективность производства. Положительная динамика развития отрасли свиноводства свидетельствует о значительном прогрессе в технологиях содержания и кормления свиней, однако проблема паразитов, в частности кишечных нематод и саркоптозных клещей, остается актуальной.

Паразитарные инвазии, включая саркоптоз и гельминтозы, наносят значительный ущерб свиноводческим предприятиям. Саркоптоз, вызываемый клещами *Sarcoptes scabiei*, приводит к снижению среднесуточного привеса на 5,5–12,5%, что эквивалентно потере более 300 рублей на одну свинью. Животные, пораженные саркоптозом, теряют аппетит, тратят больше энергии на борьбу с заболеванием и достигают убойного веса значительно позже. Кроме того, у свиноматок снижается плодовитость, а поросята рождаются слабыми и маловесными. Паразиты вызывают повреждение оборудования, так как животные, страдающие от зуда, разрушают ограждения и другие элементы инфраструктуры.

Гельминтозы, вызываемые нематодами, представляют серьезную угрозу. Цикл развития некоторых гельминтов может достигать 26–28 суток, что делает борьбу с ними трудоемкой и малоэффективной при использовании традиционных методов. Гельминтозы приводят к нарушению аппетита, диарее, пневмонии, замедлению роста и увеличению сроков откорма. Кроме того, больные животные становятся более восприимчивыми к вторичным бактериальным инфекциям, что увеличивает смертность, особенно среди поросят. Проведение регулярных дегельминтизаций позволяет минимизировать риски, связанные с паразитарными инфекциями, и обеспечить стабильное развитие свиноводческой отрасли.

Учитывая важность дегельминтизации для здоровья свиней и эффективности производства, выбор подходящих препаратов становится приоритетной задачей для свиноводов. Препараты на основе дорамектина представляют собой эффективное решение для борьбы с экто- и эндопаразитами, что делает их незаменимыми в комплексной программе профилактики и лечения паразитарных заболеваний.

Дорамектин — это современное антипаразитарное вещество из группы авермектинов, обладающее широким спектром действия против экто- и эндопаразитов. Основной механизм действия дорамектина заключается в усилении высвобождения гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК) в нервной системе паразитов, что приводит к



нарушению передачи нервных импульсов и последующему параличу, и гибели паразитов.

Дорамектин эффективен против клещей, вызывающих саркоптоз, а также против различных видов гельминтов, включая нематод. Одно из ключевых преимуществ дорамектина — его пролонгированное действие, которое сохраняется до 28 дней, что превышает жизненный цикл многих паразитов, таких как клещи *Sarcoptes scabiei*. Это позволяет дорамектину уничтожать не только взрослых особей, но и личинок, предотвращая повторное заражение. Благодаря высокой биодоступности и длительному периоду полувыведения дорамектин обеспечивает устойчивую защиту животных, что делает его эффективным инструментом для борьбы с паразитарными инфекциями в свиноводстве.

Препарат «ДектоПро», основным действующим веществом которого является дорамектин, предоставляет комплексный подход к решению проблемы паразитарных инфекций благодаря эффективности против эктопаразитов и эндопаразитов (гельминтов).

Эффективность против саркоптоза

Одна из ключевых преимуществ «ДектоПро» — способность бороться с саркоптозом всего за одну инъекцию. Продолжительность действия (до 28 дней) охватывает полный жизненный цикл *Sarcoptes scabiei*, включая личиночные стадии.

Таблица 1. Результаты оценки эффективности ивермектина и дорамектина в отношении *Ascaris suum*

Группа		Количество гельминтов <i>Ascaris suum</i>				Количество личинок <i>Ascaris suum</i>			
		количество свиней		среднеарифметическое значение (AM)	среднегеометрическое значение (GM)	количество свиней		среднеарифметическое значение	среднегеометрическое значение
		обнаружены	не обнаружены			обнаружены	не обнаружены		
Дорамектин	0 дн.	0	8	0 (0)	0	0	8	0	0
	за 7 дн.	2	6	15,3 (0–120)	1,1	0	8	0	0
Ивермектин	0 дн.	3	5	15,1 (0–113)	1,7	0	8	0	0
	за 7 дн.	8	0	134,6 (1–438)	63,0	0	8	0	0
Контроль (без лечения)		8	0	103,5 (11–313)	62,6	4	4	12,5 (0–40)	3,8

Схема обработки препаратом «ДектоПро» проста и эффективна:

- ✓ всех свиноматок, хряков и молочных поросят старше 3 дней обрабатывают препаратом в дозе 1 мл на 33 кг массы тела;
- ✓ поросятам, рожденным в течение следующих 3 недель, препарат вводят по достижении 3-дневного возраста.

Результаты применения препарата «ДектоПро» подтверждают его высокую эффективность: всё поголовье животных излечивается от саркоптоза, при этом повторные обработки не требуются (за исключением случаев повторного заражения на предприятии). Животные сохраняют стабильный темп роста, достигают убойного веса в установленные сроки, а качество мяса остается на высоком уровне. Препарат безопасен для применения у свиноматок и хряков, так как не оказывает негативного влияния на развитие плода и процесс сперматогенеза.

Эффективность против гельминтозов

«ДектоПро» демонстрирует высокую эффективность в борьбе с гельминтозами. Препарат действует значительно дольше, чем традиционные средства на основе ивермектина, что делает его более надежным в профилактике и лечении нематодозов. Фармакокинетические исследования показывают, что максимальная концентрация дорамектина в плазме крови в 1,7 раза выше, чем у ивермектина, а площадь под кривой концентрации в 2 раза больше. Это обеспечивает пролонгированное действие препарата и его высокую эффективность против широкого спектра паразитов. Кроме того, исследование, проведенное С.А. Lichtensteiger и соавт., продемонстрировало значительные различия в эффективности ивермектина и дорамектина в борьбе с нематодозами у свиней, в частности против *Ascaris suum*.

В эксперименте участвовали несколько групп животных, которым вводили ивермектин либо дорамектин в день искусственного заражения или за 7, 14 и 21 день до него. Результаты показали, что при применении обоих препаратов в день заражения эффективность дорамектина составила 100%, тогда как ивермектин показал эффективность 97,5%. При этом в группе, получавшей дорамектин, гельминты не были обнаружены ни у одного

животного, в то время как в группе ивермектина гельминты присутствовали у 62,5% свиней (результаты исследования приведены в таблице 1, где AM — среднеарифметическое значение количества гельминтов, GM — среднегеометрическое значение количества гельминтов).

При предварительном введении за 7 дней до искусственного заражения дорамектин сохранял высокую эффективность (98,4%), тогда как ивермектин практически не оказывал защитного действия, и интенсивность инвазии в этой группе не отличалась от контрольной (без лечения). Эти данные подтверждают, что дорамектин обладает более длительным и устойчивым действием по сравнению с ивермектином, что делает его более эффективным средством для профилактики и лечения нематодозов у свиней.

Программа санации поголовья с использованием «ДектоПро» включает обработку супоросных свиноматок за 2 недели до опороса, хряков — перед случкой, закупаемого ремонтного молодняка и заболевших животных — со смешанными инвазиями.

Резюмируя вышеизложенное, препарат «ДектоПро», разработанный компанией «Алекс-Анн» под брендом «Новая Группа», является эффективным средством для борьбы с экто- и эндопаразитами у свиней. Основное действующее вещество — дорамектин — обеспечивает пролонгированное действие, защищая животных от повторного заражения на срок до 28 дней. Препарат демонстрирует высокую эффективность против саркоптоза и гельминтозов, включая резистентные к ивермектину формы паразитов. Однократное применение «ДектоПро» упрощает процесс обработки и снижает трудозатраты.

Безопасность препарата подтверждается отсутствием эмбриотоксического, тератогенного и мутагенного действия, что позволяет использовать его у свиней всех возрастов, включая беременных свиноматок. Благодаря использованию фармакопейных компонентов и автоматизированному контролю качества на производстве «ДектоПро» обеспечивает стабильную эффективность и высокую биодоступность, что делает его надежным инструментом для повышения продуктивности и снижения экономических потерь в свиноводстве.

М.Л. Бердников, заместитель директора
департамента продвижения ГК ВИК, дивизион свиноводства

ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ «ПИНПРАМИЛЯ» В ПИТОМНИКЕ БРИТАНСКИХ КОШЕК

Приобретение питомца — это больше, чем просто покупка. Это начало новой главы в жизни. Чтобы она была наполнена радостью, а не проблемами со здоровьем, важно тщательно подойти к выбору места, где вы приобретаете животное.

Не поддавайтесь мимолетной слабости перед обаянием пушистого комочка, рассматривайте ситуацию глубже. За внешней умильностью — система ухода и профилактики, определяющая дальнейшее самочувствие котенка.

Обладая 30-летним стажем ветеринарного врача и являясь владельцем питомника британских кошек Nataval Magic Dom на протяжении почти 18 лет, делюсь своими знаниями и рекомендациями, выработанными годами практики.

Посещение питомника — неотъемлемый этап оценки. Он позволяет составить объективное представление о том, как живут животные. Чистота помещений, отсутствие резких запахов, ухоженные лотки и миски — признаки заботы.

Важно оценить состояние кошек. Здоровые животные активны, игривы, с блестящей шерстью и чистыми глазами. Следует избегать питомников, где животные выглядят вялыми, кашляют, чихают или имеют проблемы с кожей. Важно, насколько кошки социализированы, дружелюбны к человеку, не проявляют ли чрезмерную пугливость или агрессию. Не менее важно задавать вопросы заводчику, касающиеся здоровья и ухода за котятками.

Узнайте, чем кормят питомцев, какой рацион считается оптимальным для британской породы. Важно, чтобы в рационе преобладали корма премиум- и супер-премиум-класса. Какие вакцины используются, когда была проведена последняя вакцинация, предоставляет ли заводчик ветеринарный паспорт с отметками о прививках. Особое внимание уделите дегельминтизации: какие препараты используются для профилактики, как часто проводится обработка, какой протокол применяется в питомнике.

Профилактика гельминтозов — ключевой аспект здоровья котенка. Гельминты способны ослабить иммунитет, нарушить пищеварение и даже представлять опасность для человека. Именно поэтому в Nataval Magic Dom мы строго придерживаемся протоколов дегельминтизации. В последние годы мы выбираем препарат «Пинпрамил», поскольку для нас важны комплексный подход, безопасность и удобство применения.

«Пинпрамил» эффективен против наиболее распространенных видов гельминтов, встречающихся у кошек: круглых (токсокара, анкилостом) и ленточных (дипилидиум, тении) червей. Диагностика конкретного вида паразита на ранних этапах может быть затруднена, поэтому широкий спектр действия препарата является преимуществом. Кроме того, компоненты препарата защищают не только от гельминтов, паразитирующих в кишечнике кошек, но и предотвращают развитие дирофиляриоза — серьезного заболевания, переносимого комарами.



«Пинпрамил» хорошо переносится кошками и котятами, имеет удобную форму выпуска, что упрощает процесс обработки. Первую обработку «Пинпрамилом» мы проводим, когда котяткам исполняется 6 недель, затем повторяем обработку — за 10–14 дней до вакцинации. Взрослые животные проходят плановую дегельминтизацию в соответствии с рекомендациями ветеринара.

Помните, что некоторые виды глистов, паразитирующих у кошек, опасны и для человека. Токсокароз, анкилостомоз и дипилидиоз — заболевания, вызываемые кошачьими гельминтами, они могут нанести серьезный вред здоровью, особенно детям. Регулярная дегельминтизация котенка в питомнике — это не только вклад в его здоровье, но и в безопасность будущей семьи.

Покупка котенка — это лишь первый шаг. Чтобы питомец оставался здоровым и счастливым, необходимо регулярно посещать ветеринара для профилактических осмотров, вакцинации и дегельминтизации. Соблюдайте рекомендации по питанию, выбирайте качественные корма, соответствующие возрасту и породе питомца. Обеспечьте комфортные условия содержания, чистоту, гигиену, достаточное пространство и внимание. Соблюдайте личную гигиену, тщательно мойте руки после контакта с кошкой, ее фекалиями и предметами ухода.

*Н. Давиденко,
ветеринарный врач, заводчик, владелица питомника
британских кошек Nataval Magic Dom*

НЕОЦЕНИМЫЙ ВКЛАД В ПОБЕДУ ВНЕСЛА ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АГРАРНАЯ НАУКА

В Российской академии наук состоялась научная конференция «Сельскохозяйственная наука в годы Великой Отечественной войны: вклад в Победу», приуроченная к 80-летию Победы. Организаторами мероприятия, прошедшего 24 апреля 2025 года на площадке Президиума РАН (г. Москва), выступили Отделение сельскохозяйственных наук РАН и Межведомственный координационный совет РАН.

Президент РАН академик Геннадий Красников, выступая на конференции, подчеркнул ее значимость, отметив, что в настоящее время Российская академия наук проводит целый ряд мероприятий, приуроченных к 80-летию Победы. Он заострил внимание на необходимости отстаивать историческую правду, — что особенно важно на современном этапе, когда многие страны пытаются пересмотреть итоги Великой Отечественной войны, используя для этого, в том числе, новые технологии.

Заместитель министра сельского хозяйства РФ Марина Афонина зачитала приветственное слово руководителя Минсельхоза России Оксаны Лут, отметившей выдающуюся роль как ученых, так и сельских тружеников в обеспечении отечества продовольствием в суровые военные годы, — несмотря на порой невероятные трудности, они смогли мобилизоваться в условиях резкого сокращения посевных площадей, нехватки людских ресурсов и техники, перестроить сельхозпроизводство под нужды армии и наладить бесперебойное снабжение фронта и тыла продуктами питания и прочими ресурсами, а промышленности — сырьем. «Выдающиеся отечественные ученые, имена которых в наши дни носят ведущие научно-исследовательские институты, сумели сохранить и приумножить опыт предшественников, заложить фундамент для будущего развития агропромышленного комплекса. И сегодня, опираясь на их наработки, мы продолжаем укреплять продовольственную безопасность страны, внедрять передовые технологии и инновации в сельское хозяйство», — заключила в приветствии министр.

Как отметил в своем докладе руководитель Всероссийского института аграрных проблем и информатики им. А.А. Никонова — филиала ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ академик РАН Александр Петриков, на момент начала Великой Отечественной войны советская аграрная наука динамично развивалась и находилась на подъеме. И это, заметил он, несмотря на переживаемые сложные времена: в течение предшествующего десятилетия, с 1930 по 1940 годы, — при очевидной потребности в аграрных и экономических исследованиях, — были ликвидированы шесть профильных аграрных институтов, начались гонения на генетику.



Источник фото: официальный телеграм-канал Российской академии наук

По словам докладчика, в декабре 1942 года нарком земледелия СССР Иван Бенедиктов заявил на сессии ВАСХНИЛ, что хлеб по своему значению приравнен сейчас к боевому оружию, и ученые делали все необходимое, чтобы урожаи были максимальными. «Делать это пришлось в экстремальных условиях. Возникли большие сложности, обусловленные эвакуацией научных учреждений (эвакуировали все НИИ ВАСХНИЛ, кроме Центральной генетической лаборатории им. И.В. Мичурина в Тамбовской области и Дальневосточного научно-исследовательского института земледелия и животноводства, причем ряд из них — в разные города, добавив дополнительные трудности в работу), а затем — возвращением», — рассказал он. Освещая основные направления деятельности ВАСХНИЛ в военные годы, спикер выделил героическое сохранение учеными генетических коллекций, — в их числе уникальной коллекции семян Николая Ивановича Вавилова в блокадном Ленинграде (при том что Гитлер, как недавно стало известно, для ее захвата создал специальную команду СС). Советская аграрная наука в условиях жесточайшей нехватки ресурсов смогла оказать достойную поддержку Красной Армии и тылу, отметил он.

Сельскохозяйственная наука, резюмировал академик, решила ключевые задачи научного обеспечения сельского хозяйства и способствовала удовлетворению потребностей страны и фронта в продовольствии и промышленном сырье.

Ю.Г. Седова

НИКОЛАЙ ДМИТРИЕВ: «ЭФФЕКТИВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С РАБОТОДАТЕЛЯМИ — ЗАЛОГ УСПЕШНОЙ ПОДГОТОВКИ ВОСТРЕБОВАННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ»

О современном состоянии, целях, задачах, достижениях и перспективах развития Иркутского ГАУ рассказал ректор университета доктор сельскохозяйственных наук Н.Н. Дмитриев.

— Николай Николаевич, в 2024 году руководимому вами Иркутскому государственно-му аграрному университету имени А.А. Ежевского (Иркутскому ГАУ), одному из ведущих образовательных центров Приангарья, единственному на территории Иркутской области и Забайкальского края вузу аграрного профиля, исполнилось 90 лет. Чем порадовал юбилейный год?

— Прежде всего хотелось бы отметить, что сегодня Иркутский ГАУ — это региональный образовательный и научно-исследовательский центр развития сельского хозяйства, где обучаются 80% студентов Иркутской области по отрасли «Сельское хозяйство и сельскохозяйственные науки» (и 100% — по филиалу в Забайкальском крае). На текущий момент общее число студентов вуза достигло 10 тысяч. Университет добился значительного прогресса, поднявшись на 42 позиции в рейтинге «Интерфакса» и заняв в нем 270–271-е место. Привлекательность вуза повышается за счет создания новых фирменных аудиторий при поддержке промышленных партнеров, увеличения доходов, превысивших на сегодняшний день миллиард рублей, и вступления в Университет ШОС. Наша глобальная, основополагающая цель — успешное выполнение миссии по подготовке высококвалифицированных кадров для агропромышленного комплекса региона. Что касается юбилейного года, то одним из его важнейших достижений стало развитие собственных учебно-опытных хозяйств (это позволило нам совместно с промышленным партнером начать реализацию через торговые сети



товаров собственного производства — картофеля и мяса), а ключевым событием — укрепление сотрудничества с правительством Иркутской области и областным Министерством сельского хозяйства, открывшим новые возможности для подготовки высококвалифицированных кадров. Так, с 2024 года был запущен новый механизм целевого обучения, предоставляющий выпускникам, особенно из сельской местности, гарантированное трудоустройство после получения высшего аграрного образования, и в этом же году были трудоустроены 87% выпускников, из них 65% — на предприятия АПК и смежных отраслей. В рамках программы «Комплексное развитие сельских территорий» (КРСТ) практику в профильных организациях прошли 264 студента. Подчеркну: наши студенты проходят практику на ведущих предприятиях региона СХАО «Белореченское», ООО «Саянский бройлер», АО «Железнодорожник», СПК «Усольский свинокомплекс» и ряде других (они активно участвуют в разработке учебных программ, обеспечивая соответствие подготовки специалистов требованиям рынка труда). Говоря о минувшем годе, отдельно стоит отметить студенческий отряд «Айболиты»: участники студотряда оказали неоценимую помощь в ликвидации ЧС на территории Иркутской области, связанной с обнаружением очагов заразного узелкового дерматита у сельскохозяйственных животных, проведя вакцинацию более 10 тысяч сельскохозяйственных





— **Расскажите, пожалуйста, о наиболее значимых достижениях Иркутского ГАУ последних лет, о стратегии, целях и приоритетных задачах, стоящих перед вузом.**

— Среди основных достижений в научной деятельности университета я хотел бы выделить открытие Научно-испытательного центра, Центра агробиотехнологий, лабораторий ПЦР-диагностики и микроклонального размножения картофеля. Помимо этого, отмечу, что за последние пять лет учеными вуза получены 79 патентов на изобретения, 22 свидетельства о государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин. В Иркутском ГАУ проводится работа по селекции яровой мягкой пшеницы (в минувшем году на ГСИ передан сорт яровой пшеницы Молодежная 24) и высокопродуктивных среднеранних сортов картофеля, районированных к условиям Восточной Сибири. Два сорта картофеля селекции ученых университета включены в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в Российской Федерации, в том числе в 2023 году сорт Бабр. В 2024 году подана заявка на проведение ГСИ сорта Молодежный, три сорта переданы на оценку на рако- и нематодоустойчивость. Участие ученых Иркутского ГАУ в комплексном научно-техническом проекте (КНТП) Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы позволило в 2021 году ввести в эксплуатацию лабораторию микроклонального размножения картофеля на 50 тысяч микрорастений, в 2022-м — запустить аэропонную установку для производства 10 тысяч мини-клубней в год. В 2025 году промышленному партнеру на размножение переданы 15 тысяч микрорастений и 8000 мини-клубней. Войдя в 2021 году (в рамках интеграции с научными, образовательными организациями и промышленными партнерами) в состав Межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня «Байкал» (включающего 22 научных и образовательных учреждения и более 20 предприятий различных отраслей экономики Иркутской области и Республики Бурятия), Иркутский ГАУ проводит работу в соответствии с

приоритетами научно-технологического развития России в области перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработки и внедрения систем рационального применения средств химической и биозащиты сельскохозяйственных растений и животных, хранения и эффективной переработки сельхозпродукции, создания безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания. Перечислю и другие достижения. Так, учеными университета за четыре года поданы 205 заявок на гранты и конкурсы различных уровней и, как результат, привлечены более 35 миллионов рублей. С 2020 по 2024 год аспирантами и соискателями Иркутского ГАУ защищены 20 диссертаций. В течение пяти лет на базе нашего вуза проведены 50 научно-практических конференций. За это же время изданы (по результатам выполненных научно-исследовательских работ) 58 монографий. Опубликовано 6578 научных статей, зарегистрированных в системе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), 270 статей — в журналах, индексируемых в международной базе Scopus, 51 статья — в Web of Science, 974 статьи — в изданиях из списка ВАК (при этом сам вуз издает два научных журнала, один из которых включен в Перечень ВАК). Кроме того, за последние три года Иркутским ГАУ заключены 98 договоров на проведение научно-исследовательских работ, оказание информационно-консультационных услуг, экспертиз с организациями разных форм собственности на сумму 34 миллиона рублей. Достижения университета за последние пять лет были представлены на 62 выставках и 53 конкурсах. По их итогам получены 16 медалей и 64 диплома. Среди свершений — победы в конкурсе «Старт-1» в рамках федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» и двух научных групп в конкурсном отборе Российского научного фонда «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами». Выделю и победы студентов — в конкурсе «Студенческий стартап» и во Всероссийском конкурсе молодежных проектов среди физических лиц

«Росмолодежь». В 2024 году была защищена концепция развития университета. Определены три основных направления специализации: селекция и семеноводство зерновых, картофеля, кормовых культур и рапса, агробиотехнологии в обеспечении населения качественной и безопасной пищевой продукцией, рациональные приемы природопользования, лесовосстановление и аквакультура. Эта концепция станет основой для дальнейшего развития вуза и его вклада в продовольственную безопасность региона. Стратегическая цель Иркутского ГАУ, согласно Программе развития вуза до 2030 года, — формирование на базе университета лидирующего образовательного, научно-исследовательского и инновационного центра в Байкальском регионе и на Дальнем Востоке.

— **Какие образовательные направления, специальности сейчас «в топе» у абитуриентов, а какие, на ваш взгляд, будут востребованы в перспективе?**

— Российский АПК сегодня активно цифровизируется, что отражается на предпочтениях абитуриентов. Востребованы специальности на стыке агрономии, биотехнологии, IT и инженерии. Так, в Иркутском ГАУ наиболее востребованы агроинженерия, ветеринария, зоотехния, ландшафтная архитектура, лесное дело и прикладная информатика. По мнению экспертов вуза, среди перспективных (на ближайшие 5–15 лет) направлений агропромышленного комплекса — клеточное сельское хозяйство (технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, новый профиль, связанный с выращиванием мяса в лабораториях, синтезом белка), климатическая адаптация (агрономия), агробиотехнологии (агрономия), управление агродронами и AI (агроинженерия — открытие нового профиля), регенеративное сельское хозяйство (агрохимия и агропочвоведение, профиль «Агроэкология»).

— **Цифровизация сферы АПК отразилась на образовательных программах университета?**

— Разумеется. Иркутский ГАУ оперативно реагирует на вызовы времени. Мы предлагаем абитуриентам актуальные образовательные программы и специальности, востребованные в цифровизирующемся АПК региона. Сегодня все образовательные программы высшего образования включают компетенции по цифровой трансформации отраслей экономики. Наши преподаватели ежегодно повышают квалификацию в области цифровых технологий. Университет ведет подготовку бакалавров и магистрантов по направлению «прикладная информатика» со специализацией в применении информационных и математических методов в АПК. В вузе активно внедряется автоматизация документооборота на основе «1С: Университет.ПРОФ». Повышается эффективность взаимодействия информационных систем Иркутского ГАУ с государственными и федеральными системами. Важным шагом стало



приобретение суперкомпьютера на средства гранта, позволяющего использовать нейронные сети для прогнозирования урожая, мониторинга данных и оптимизации производства аграрной продукции, в том числе с применением беспилотных авиационных систем и спутниковых данных. Благодаря сотрудничеству с Иркутским филиалом МГТУ ГА стало возможным применение систем дистанционного зондирования земли и леса. Наш университет активно развивает дистанционные образовательные программы и осуществляет цифровую трансформацию образовательной и научной деятельности.

— **Куда в основном трудоустраиваются ваши выпускники? Помогает ли университет им с трудоустройством? Как вуз взаимодействует с работодателями — государственными и бизнес-структурами?**

— Сегодня Иркутский ГАУ — кузница кадров для агропромышленного комплекса региона — успешно решает задачу обеспечения отрасли квалифицированными специалистами. Наши выпускники находят применение своим знаниям в ключевых секторах регионального АПК. Местные агрохолдинги и фермерские хозяйства, такие отраслевые лидеры, как ООО «Саянский бройлер», СХПК «Усольский свинополь», СХАО «Белореченское» (где наши студенты, как я сказал, проходят практику), охотно принимают специалистов с дипломом Иркутского ГАУ на позиции агрономов, ветеринарных врачей, зоотехников, инженеров и технологов пищевой промышленности. Востребованы наши выпускники и на предприятиях перерабатывающей промышленности (АО «Каравай» и ООО «Иркутский масложиркомбинат» — примеры их успешного трудоустройства в качестве технологов, инженеров и специалистов по контролю качества), и в компаниях, специализирующихся на обслуживании и ремонте сельхозтехники. Многие из наших дипломированных специалистов вносят вклад в развитие отечественной науки, работая в области селекции, разрабатывая новые технологии в научно-исследовательских институтах и лабораториях. Таким образом, благодаря сотрудничеству с предприятиями



и организациями области Иркутский ГАУ успешно формирует кадровый потенциал для ее агропромышленного комплекса, выпуская востребованных и готовых к работе в реальных производственных условиях специалистов. Подчеркну, университет открыт для дальнейшего сотрудничества и приглашает к совместным проектам, направленным на развитие сельского хозяйства региона. Вузом реализуется комплекс мер, направленных на повышение конкурентоспособности выпускников на рынке труда, среди них — организация ярмарок вакансий, консультаций по трудоустройству, помощь в составлении резюме и подготовке к собеседованиям. Мы ежегодно проводим свыше 20 мероприятий с участием более 50 предприятий, участвуем в городских и федеральных мероприятиях, направленных на содействие трудоустройству молодежи, в том числе во Всероссийской ярмарке трудоустройства «Работа России». Иркутский ГАУ, обеспечивая тесную связь теории с практикой, организует совместные проекты и оплачиваемые практические занятия на предприятиях-партнерах, в том числе по программе «Комплексное развитие сельских территорий». Более 1000 предприятий являются партнерами университета в организации практик. Как результат, предложения о трудоустройстве получают свыше 70% успешно прошедших практику студентов. Наши выпускники, благодаря налаженной системе информирования, организованной специалистом по трудоустройству, оперативно получают информацию о новых вакансиях. В вузе активно развивается система целевого обучения, гарантирующая трудоустройство после окончания учебы. Например, в 2024 году были заключены 113 целевых договоров. Наиболее востребованно целевое обучение по специальностям «агрономия», «зоотехния» и «ветеринария». Студентам, обучающимся по целевым договорам, предприятиями АПК предоставляются стипендии и льготы. Уверен, эффективное взаимодействие с работодателями — залог успешной подготовки востребованных специалистов. Мы выстраиваем партнерские отношения и с государственными, и с бизнес-структурами. Так, на сегодняшний день нами заключены свыше 200

договоров о сотрудничестве с предприятиями различных форм собственности. Представители работодателей участвуют в учебном процессе, делятся опытом и знаниями со студентами. Учебные программы университета разрабатываются совместно с опытными специалистами АПК, что позволяет сформировать у выпускников востребованные компетенции и обеспечить их успешное трудоустройство. Крайне важно, на мой взгляд, и взаимодействие с органами власти. Нами налажено сотрудничество с Минсельхозом региона и администрациями муниципальных образований с целью совместного решения задач, связанных с развитием сельского хозяйства и обеспечением кадрами сельских территорий. Подчеркну, Иркутский ГАУ — надежный партнер в обеспечении кадрами регионального АПК, ориентированный на подготовку компетентных специалистов, готовых к решению задач, стоящих перед отраслью.

— Какой процент выпускников поступают в аспирантуру и посвящают себя в дальнейшем научной деятельности — аграрной науке? В том числе в стенах родного вуза.

— Ежегодно около 10% выпускников после освоения образовательных программ магистратуры и специалитета продолжают обучение по программам подготовки кадров высшей квалификации. На сегодня численность аспирантов — 109 человек. Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Иркутского ГАУ осуществляется по естественным, сельскохозяйственным, социальным и гуманитарным областям наук и шести группам научных специальностей: компьютерные науки и информатика, биологические науки, агрономия, лесное и водное хозяйство, ветеринария и зоотехния, агроинженерия и пищевые технологии, экономика).

— Как с учетом новых реалий современной геополитической ситуации осуществляются международная деятельность Иркутского ГАУ, сотрудничество с иностранными вузами, зарубежными партнерами?

— Конечно, геополитическая обстановка и реалии современного мира не могут не оказывать влияния на формирование международной политики вуза. Приходится перенастраивать вектор сотрудничества на новые направления, искать свою нишу на новых образовательных рынках. Международное сотрудничество университета с зарубежными партнерами — это планомерный и во многом инерционный процесс, который формируется в течение нескольких лет и имеет активный жизненный цикл от трех до пяти лет. Наша текущая «пятилетка», с одной стороны, ориентирована на активное сотрудничество с Китаем и странами СНГ, а с другой — формирует задел на следующий этап — сотрудничество со странами Африки. Сегодня университет является базовой площадкой подготовки кадров для АПК стран СНГ: Узбекистана,

Таджикистана, Киргизии. С министерствами сельского хозяйства этих государств заключены соответствующие меморандумы о сотрудничестве. Ежегодно более 100 наших выпускников из этих стран трудоустраиваются на родине, а некоторые получают гражданство и остаются в РФ. Наш вуз становится всё более привлекательным для представителей дружественных зарубежных стран. Неизменно растёт количество обращений иностранных граждан, желающих пройти в нем обучение, а также заинтересованных в сотрудничестве учебных заведений. На текущий момент мы имеем около 90 соглашений с зарубежными партнерами. Новые условия диктуют необходимость поиска новых форм сотрудничества. Сегодня это сетевое взаимодействие, двухдипломные англоязычные программы магистратуры, летние школы. За последние годы заметно изменилась география иностранных студентов: помимо ставших уже традиционными стран СНГ, Монголии и Китая, появились студенты из африканских стран, Индонезии, Лаоса и КНДР. Всего в университете сейчас обучаются около 850 студентов из 25 стран мира. Отрадно, что растёт число наших студентов и преподавателей, выезжающих за границу, тем более что зарубежные партнеры предоставляют им всё больше возможностей: участие в научных проектах, семинарах и конференциях, образовательные стажировки и гранты на обучение, программы культурного и академического обмена. В настоящий момент Иркутский ГАУ работает над несколькими научно-образовательными проектами с Китаем, в том числе формирует заявки на гранты Российского научного фонда и Китайского фонда естественных наук. Сегодня с уверенностью можно сказать, что университет имеет свое имя, которое работает на него. При непосредственном участии зарубежных партнеров пополняется материальная база вуза, открываются фирменные учебные классы. Имея своей главной задачей всемерное улучшение качества подготовки специалистов, Иркутский ГАУ находится в постоянном поиске новых возможностей и форм международной деятельности. Руководящим документом для этого является Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития России на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», предусматривающий достижения Россией 500 тысяч иностранных обучающихся к 2030 году. Это наша общая задача. Чем активнее мы будем заявлять о себе и продвигать интересы своего вуза на международном рынке образовательных услуг, тем престижнее и комфортнее будет учиться и работать в нашем университете и развивать экспорт образования.

— Каковы планы университета на ближайшее время?

— Иркутский ГАУ смотрит в будущее с уверенностью и ставит перед собой амбициозные цели и задачи. Наши планы охватывают широкий спектр направлений деятельности — от науки и производства до развития инфраструктуры (модернизации



учебных корпусов) и международного сотрудничества. В сфере науки мы сосредоточимся на таких направлениях, как селекция картофеля и яровой пшеницы с целью выведения новых высокопродуктивных сортов и гибридов, адаптированных к местным климатическим условиям, и разработка элементов технологии возделывания сельхозкультур, где планируем активно внедрять инновационные подходы, включая использование беспилотных авиационных систем, для повышения эффективности и экологичности производства, а также на разработке элементов технологии получения саженцев сосны с закрытой корневой системой, имеющей важное значение для лесовосстановления и сохранения природных ресурсов региона. Помимо этого, мы продолжим работу над воспроизводством аборигенных видов рыб в условиях замкнутого водоснабжения, что позволит снизить нагрузку на природные популяции и обеспечить население качественной рыбной продукцией. И разработку рационов кормления крупного и мелкого рогатого скота (здесь наша задача — создание оптимальных рационов, обеспечивающих высокую продуктивность и здоровье животных). В области производства мы планируем развивать: семеноводство зерновых и зернобобовых культур, картофеля, чтобы обеспечить сельхозпроизводителей региона качественным посевным материалом, являющимся залогом высоких урожаев; мясное животноводство, где намереваемся, используя современные технологии и лучшие практики, увеличить объемы производства высококачественной говядины и баранины. В наших планах и расширение производства саженцев сосны с закрытой корневой системой для удовлетворения потребностей лесовосстановительных предприятий. Разумеется, мы намерены и далее активно развивать связи с ведущими университетами и научными центрами мира для обмена опытом и реализации совместных проектов.

*Интервью подготовили
М. Тренина и Ю. Седова*

ИСТОРИЯ СНАБЖЕНИЯ ВЕТЕРИНАРИИ В РОССИИ В XVIII–XX ВВ.

В данной статье приведены исторические данные и материалы фамильного дела московских промышленников и купцов С. Трындина и Ф. Швабе, внесших большой вклад в развитие отечественного предпринимательства и промышленного производства в области механики, оптических и лабораторных приборов, медицинских и ветеринарных инструментов в России с XVIII по XX в.

Зарождением ветеринарного снабжения еще во времена царской России можно считать 30-е годы XVIII столетия. В 1733 году, то есть более 290 лет тому назад, впервые (в России, в Москве на Остоженке, недалеко от Конюшенного двора) была создана первая аптека, которую называли конской. После пожара в мае 1737 г. аптеку разместили на Потешном дворе, и состояла она при Конюшенном ведомстве. Возглавлял эту аптеку иноземец Петер Бове (Peter Beauvais). Коновалов в те времена готовили специальные школы, в основном для нужд кавалерии. Позднее была создана еще одна аптека, в Сибири. Производства ветеринарных препаратов и лекарственных средств в стране практически не было. Коновалы и первые ветеринарные врачи и фельдшеры пользовались препаратами для лечения животных из медицинских аптек.

Инструменты были самодельные или импортные. Уже позже для нужд военных, земских ветеринарных врачей и фельдшеров в Российской империи ветеринарными инструментами обеспечивали три известные в те времена московские фирмы: «Е.С. Трындина С-вей», «Ф. Швабе» и «П.И. Махин и Ко».

Одним из главных производителей и поставщиков ветеринарного инструментария в Россию в тот исторический период времени являлась фирма «Хауптнер» (Hauptner) в Германии. Компания была основана в 1857 г. в Берлине предпринимателем Х. Хауптнером (24.10.1823 — 08.04.1901), а уже в 1916 г. фирма объединилась с компанией Herberholz. В настоящее время штаб-квартира компании и производственное предприятие находятся в г. Золингене (Западная Германия), рядом с центром металлургической промышленности Рургебит. Фирма «Хауптнер» производит ветеринарные и зоотехнические инструменты для практических ветеринарных врачей и зоотехников уже более 160 лет.

Высокое качество бренда «Хауптнер» известно во всём мире, в том числе и в России, с XIX по XXI в. Фирма работала, еще когда в России действовало крепостное право. Первые каталоги ветеринарных инструментов фирмы «Хауптнер» были выпущены уже в 1857 г. и переиздавались практически ежегодно до 1907 г. Продукты «Хауптнер» были награждены призами на многих международных выставках.



Каталог фирмы «Хауптнер»

Через некоторое время после создания фирма стала поставлять продукцию своему представителю в России — фирме «Ф. Швабе». Данная фирма была основана в Москве в 1837 г. швейцарским гражданином Ф.Б. Швабе в виде небольшого магазина (продажа исключительно очков, пенсне и других мелких оптических принадлежностей, получаемых из-за границы). Фёдор (Теодор) Швабе родился в Швейцарии в 1814 г., затем некоторое время жил в Берлине и наконец переехал в Россию, где и организовал свое коммерческое предприятие.



Ф.Б. Швабе



Наружный вид фабрики на Стромынькѣ, близъ Соколыняго парка.

Фабрика фирмы «Ф. Швабе» в Стромыньском переулке в Москве

Первое упоминание о Фёдоре Швабе имеется в «Адресе-календаре жителей Москвы» за 1851 г.: «Швабе Теодор, 3-й гильдии купец, а уже в 1853 г. — купец 2-й гильдии, по Мясницкой части на Кузнецком мосту, № 16, дом князя Голицына» (сейчас на этом месте располагается новое здание ФСБ).

Ф. Швабе, поняв, что России необходимо собственное производство оптических и физических инструментов, увеличивает объем продукции и расширяет номенклатуру изделий. К концу 1850-х г. работники фирмы уже умели собирать почти все оптические приборы того времени: лупы, зрительные трубы, микроскопы, бинокли и др. На свои изделия Швабе ставит собственное клеймо и разворачивает активную продажу инструментов государственным учреждениям и институтам.

В последующие годы промышленник Ф. Швабе представлял покупателям Российской империи, помимо прочих товаров, богатый выбор ветеринарных инструментов и принадлежностей для лечения домашних животных и скота по каталогу и ценам фирмы «Хауптнер» в Берлине с прибавкой лишь пошлины и затрат на доставку их из Берлина до Москвы, а также с учетом стоимости упаковки фабриканта. Кроме инструментов фирмы «Хауптнер», в каталог «Ф. Швабе» входили многие другие инструменты немецких, французских, английских и американских моделей.

Ввиду того что в ветеринарной практике применяются многие хирургические инструменты, используемые и в медицинской практике, эти инструменты предлагались и медицинской службе, врачам и лекарям для лечения людей. Ветеринарные инструменты

продавались в специальных магазинах и аптеках г. Москвы и в Сибири (г. Иркутск). Фирма «Ф. Швабе» являлась представителем в России еще двух германских фирм — Georg Buttenchop и Sartorius.

Начиная с 1859 г. фабрика фирмы помещалась во дворе дома князя Голицына по Кузнецкому мосту, в котором находился и магазин фирмы. С 1872 года в фирме «Ф. Швабе» начинает работать баварский подданный Давид-Альберт Гамбургер (на русский лад Альберт Иванович), племянник основателя фирмы. Благодаря своей трудоспособности и энергии Давид Иванович вскоре становится компаньоном своего дяди. 18 июля 1873 года фирма «Ф. Швабе» преобразовывается в Торговый дом «Ф. Швабе», учредителями которой стали Ф.Б. Швабе и А.И. Гамбургер. В 1880 году Ф. Швабе выходит из торгового дома и передает свои права на фирму «Ф. Швабе» Гамбургеру.

Альберт Иванович в течение следующих 30 лет работы в фирме занимался ее развитием. В 1884 году «Ф. Швабе» в г. Москве было даровано высокое почетное звание за заслуги перед Российской империей «Поставщик Двора Его Императорского Величества». Этот статус был фактически золотым билетом. Снабжать товарами и услугами монарших особ было весьма выгодно. Некоторые историки утверждают, что на подобные закупки выделялись значительные суммы средств, а в случае



А.И. Гамбургер



Обложка систематического каталога фирмы «Ф. Швабе»



Витрина фабрики Ф. Швабе, из Москвы. (Группа II).

Витрина фабрики «Ф. Швабе»

успеха сотрудничество становилось стабильным и многолетним. Удостоенные этой чести бренды считались лучшими из лучших и имели право изображать на упаковке, вывесках, визитках и рекламе государственный герб Российской империи.

Кроме собственного производства лабораторных приборов, медицинских и ветеринарных инструментов, покупателям представлялись высококачественные товары иностранного производства из Германии.

Стоимость каталога инструментов «Ф. Швабе» оценивалась в 3 рубля, при заказе инструментария на сумму более 10 рублей каталог высылался бесплатно. Земским, городским управам, больницам, а также врачам каталоги по инструментам и приборам высылались тоже бесплатно. Первый

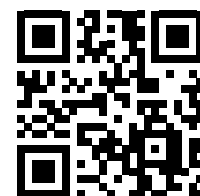


«Ф. Швабе» (холдинг), Госкорпорация «Ростех»

каталог ветеринарных инструментов фирмой «Ф. Швабе» был выпущен в 1878 г. и назывался «Полный систематический, иллюстрированный каталог ветеринарных инструментов и приборов».

На современном этапе в Российской Федерации имеются продолжатели дела Ф. Швабе: «Ф. Швабе» (холдинг), Госкорпорация «Ростех». Основными направлениями деятельности холдинга являются разработка и серийное производство оптических и лазерных систем и комплексов, современных оптических материалов и технологий, наукоемкой медицинской техники, систем аэрокосмического мониторинга и дистанционного зондирования Земли, приборов для научных исследований, энергосберегающей светотехники, наномеханики, а также другой высокотехнологичной продукции. Номенклатура продукции, выпускаемой на предприятиях холдинга, превышает 6500 единиц.

Ведущим представителем фирмы «Хауптнер» в современной России ветеринарных инструментов для лечения животных с 2004 года по настоящее время является ГК ВИК.



Трындины и их вклад в развитие промышленности в России

Основателем рода Трындиных в Москве и семейной фирмы является крестьянин-старообрядец Сергей Фёдорович Трындин, пришедший в Москву из Владимирской губернии. Родина Трындиных — местность Баглачево Владимирского уезда, куда входили несколько деревень, в 15 км от Владимира, за рекой Клязьмой, в сторону г. Судогды. Судя по источникам XIX в., С.Ф. Трындин прошел первоначальное обучение изготовлению физических приборов в физическом кабинете Императорского Московского университета.

Начало семейного дела можно датировать серединой 1780-х гг., когда С.Ф. Трындин после курса обучения специальности механика открыл в Москве мастерскую по изготовлению и ремонту физических и математических инструментов и приборов.



Сын С.Ф. Трындына
Е.С. Трындин



Магазин Трындиных на Лубянке. г. Москва



В 1809 году производство новых инструментов и приборов было налажено в таком объеме, что Трындины основали первый в России оптический магазин при мастерской (ныне — Кузнецкий мост, д. 16). Этот год официально считается годом основания фирмы Трындиных. В 1869 году была учреждена фирма «Е.С. Трындин С-вья» в Москве. В мае 1883 года Его Высочество князь Черногогорский Николай I, входивший в Императорский дом, пожаловал Трындиным «звание Придворных Поставщиков». В 1884 году владельцы фирмы приступили к строительству первой в России «паровой» фабрики физических приборов и хирургических инструментов.

Торжественная закладка фабрики состоялась 6 мая 1884 года и была приурочена ко дню совершеннолетия наследника Николая Александровича, о чем Трындины уведомили телеграммой министра Императорского двора графа И.И. Воронцова-Дашкова. В ответной телеграмме от 8 мая 1884 года братьям Трындиным была выражена «Высочайшая Его Императорского Величества благодарность за сооружение первой паровой физико-хирургической фабрики». Отмечая в 1885 г. 100-летний юбилей «Правильной организации ремесленного сословия», московская пресса писала: «В 1785 г., когда императрица Екатерина II даровала самостоятельные права ремесленному сословию и ввела цеховое деление, предки Трындиных были первыми и единственными русскими оптиками, имевшими свою мастерскую в России, и, таким образом, они невольно стали первыми представителями этого производства».

К началу XX в. члены семьи Трындиных стали одними из крупнейших землевладельцев г. Москвы. Им принадлежали более 150 земельных участков и строений в разных районах города. В проектировании и строительстве этих зданий принимали участие ведущие архитекторы Москвы А.Е. Вебер, В.Ф. Жигардлович, С.Ф. Кулагин, И.И. Поздеев и др.

Особенно много земельных участков принадлежало семье Сергея Егоровича. Но самым значимым для всех «Трындиных С-вей» было владение по улице Большая Лубянка, которое считали «родовой» собственностью. Изделия фабрики «Трындин С-вей» участвовали во многих российских выставках и удостоены высших наград, в том

числе двух государственных гербов, «За долголетнее существование фирмы при постоянном расширении производства и очень хорошие хирургические инструменты», на Международной выставке в Париже в 1904 г. им была присуждена высшая награда — Grand Prix. Участие фирмы в первой выставке проходило в Москве в 1831 г., в залах Российского благородного собрания на Большой Дмитровке.

Как же уживались однопрофильные фирмы Трындиных и «Ф. Швабе» в России и Москве? История фирм показывает: так как фирма «Ф. Швабе» была создана в 1837 г., а фирма Трындиных намного раньше, в 1809 г., то первые 30 лет никакой конкуренции не было, а в дальнейшем это уже были жесточайшие конкуренты, территориально расположенные почти рядом, в самом центре Москвы.

Причем в разные периоды времени вперед выходила то одна фирма, то другая. В 1868–1880 годах фирма «Ф. Швабе» доминировала, так как в декабре 1868 г. умер Егор Сергеевич Трындин и к руководству фирмой пришли его сыновья — Сергей и Пётр (Сергею в то время был 21 год, а Петру — меньше 17). Они начали перестраивать производство и торговлю, поэтому не участвовали в Политехнической выставке 1872 г. В 1884 году Трындины построили первую (и крупнейшую в России) паровую фабрику физических приборов и на много лет вышли вперед по объемам производства. Фирма «Ф. Швабе» только в 1908 г. построила в Сокольниках (на Стромынке) свою фабрику, которая занимала четырехэтажное здание, а до этого мастерская фирмы продолжала находиться на Кузнецком мосту, где было очень тесно.

В дореволюционные годы в районах Лубянки, Рождественки и Кузнецкого моста в Москве находились почти все фирмы, выпускавшие научные и медицинские приборы и инструменты, в том числе и ветеринарные: Трындины — на Лубянке, Швабе — на Кузнецком мосту (там же находились фирмы Кони и Ф. Зегера), на Рождественке — фирмы П.И. Махина, Разумова и Шиллера. Фирма «П.И. Махин и Ко», кроме медицинских инструментов, выпускала и продавала и ветеринарные инструменты. На I съезде ветеринарных врачей в 1903 г. в Санкт-Петербурге она демонстрировала свои ветеринарные инструменты, а в 1904-м принимала участие на выставке в Париже.

Для «наглядного ознакомления» с изделиями, изготавливаемыми на собственной фабрике и «выписываемыми из-за границы», фирма



Иллюстрированные каталоги продукции «Трындиных С-вей»

«Е.С. Трындина С-вей» с конца 1870-х гг. приступила к изданию иллюстрированных каталогов по всем отраслям деятельности, включая медицинское и ветеринарное направления и периодически обновляя их. В самом раннем из найденных каталогов фирмы Трындиных — «Медицинском каталоге 1881 г.» — сказано, что среди прочих медицинских инструментов для покупателей ветеринаров имеется «Каталог ветеринарных инструментов и снарядов». Первый выявленный каталог фабрикантов «Е.С. Трындина С-вей» для медицины назывался «Полный иллюстрированный каталог хирургических медицинских инструментов и аппаратов перевязочных материалов, принадлежностей для ухода за больными и ранеными, ортопедических аппаратов и искусственных конечностей».

В 1881–1886 годах было объявлено, что магазин на Лубянке в собственном доме имеет каталог ветеринарных инструментов и снарядов. В 1892–1893 годах и 1896 г. были выпущены отдельные каталоги ветеринарных инструментов. В 1898 году было его переиздание. В 1903–1906 годах и 1914 г. были выпущены новые каталоги ветеринарных инструментов от фирмы Трындиных. Все эти каталоги составлял заведующий отделением медицинских и ветеринарных инструментов Василий Николаевич Иванов (1865–?). Он же неоднократно устраивал выставки ветеринарных

Выставки, на которых Трындины экспонировали ветеринарные инструменты для животных:

1880 г. — Казанская сельскохозяйственная и промышленная выставка (бронзовая медаль).

1881 г. — Сельскохозяйственная выставка в г. Козлове («похвального отзыва» были удостоены ветеринарные инструменты собственного производства Трындиных).

1882 г. — Всероссийская промышленно-художественная выставка в Москве (среди прочего были выставлены ветеринарные инструменты). В отзывах о фирме Трындиных сказано следующее: «Особенно обращают на себя внимание по ветеринарным инструментам наборы ветеринарные фельдшерские и лекарские, наборы анатомических и трепанационных инструментов и др. Все эти приборы отличаются изящной отделкой и умеренными ценами». Награда — золотая медаль.

1896 г. — Всероссийская промышленная и художественная выставка в Нижнем Новгороде. Помимо всего прочего, было представлено большое количество различных ветеринарных инструментов. Решение комитета выставки: «За долговременное существование фирмы при постоянном расширении производства, за весьма удовлетворительно исполненные приборы по физике и очень хорошие хирургические инструменты, а равно за хорошую постановку обучения учеников мастерству наградить повторно правом изображения Государственного Герба».

инструментов на съездах ветеринарных врачей в Петербурге, Москве и Харькове. Неоднократно был командирован в Германию.

После октябрьского переворота 1917 года фирма Трындиных, как и многие небольшие частные предприятия, не была сразу полностью национализирована: руководство производственной частью так называемого торгово-промышленного товарищества «Е.С. Трындина С-вей» осуществлялось совместно правлением и фабрично-заводским комитетом под контролем землемерно-технического отдела Наркомзема РСФСР. За Петром Петровичем Трындиным, владевшим в тот период семейной фирмой, было закреплено техническое руководство предприятием. Торговая же часть фирмы управлялась комитетом служащих и комиссаром, назначенным Наркомздравом.

Техническая школа, которая работала при фабрике с 1884 г. и успешно готовила специалистов, была закрыта. Фабрика Торгового дома Трындиных в Большом Кисельном переулке, д. 12, была названа «Государственный завод экспериментальных и измерительных приборов «Метрон»», который с 1 января 1921 года вошел в Трест точной механики. Этот трест был утвержден 3 апреля 1922 года постановлением Президиума ВСНХ и объединил такие национализированные предприятия, как «Геофизика» (бывшая фирма «Ф. Швабе»), «Метрон» (бывшая фирма «Е.С. Трындина С-вей»),

«Невское оптическое общество», «Геоприбор» (бывшая фирма «Таубер и Цветкова АО»), «Авиаприбор» (бывшая фабрика «Рейнина»). Контора треста находилась в помещении бывшей фирмы «Ф. Швабе» по адресу: Кузнецкий мост, д. 16. Заводы треста изготавливали геофизические, медицинские, оптические и химические приборы, хирургические инструменты, стерилизаторы, автоклавы, камеры дезинфекционные, предметы для ухода за больными, медицинскую обстановку, часы настенные, будильники, ходики, оптику и т. п. Завод «Метрон» был занят производством и ремонтом измерительных, хирургических и ортопедических приборов (буссолей, нивелиров, стетоскопов, термометров, зондов хирургических, бандажей) и других инструментов.

Уже в XXI в. (в 2011 г.) внук П.П. Трындына Евгений Николаевич проделал колоссальную работу по сбору материалов и воссозданию истории своего знаменитого рода и фирмы «Е.С. Трындына С-вей». Им был подготовлен и выпущен в печать большой энциклопедический труд «История рода и фирмы Трындиных» (Москва, 2011; 256: илл.). Соавтором книги стала сотрудник Московского политехнического музея С.Г. Морозова. В экспозиции музея хранятся множество приборов, выпущенных фирмой Трындиных, которыми может с успехом гордиться Россия. В 2024 году исполнилось 215 лет со дня основания фирмы «Е.С.Трындына С-вей».

В Москве, в разных частях города, сохранились дома, принадлежавшие в свое время выдающемуся купеческому роду. Сегодня большинство из них отданы государственным организациям (в частности, красивое здание на ул. Большая Лубянка принадлежит Центральному клубу МВД).

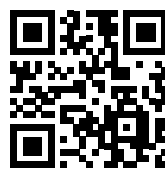
Что касается современной истории фирмы Трындиных, то это современное предприятие — Уральский приборостроительный завод (УПЗ) в г. Екатеринбурге. АО «Уральский

приборостроительный завод» — одно из уникальных и ведущих предприятий России по изготовлению и ремонту сложнейших гироскопических приборов и оборудования авиационного назначения, применяемого в навигационных и пилотажных системах, а также контрольно-поверочного оборудования, разработке и серийному производству медицинской техники. Сейчас УПЗ входит в концерн «КРЭТ» и, соответственно, в ГК «Ростех». Концерн «КРЭТ» является разработчиком авионики для ведущих образцов российской военной авиации, в том числе для Су-35С, Ка-52 «Аллигатор», Ми-171А2, Як-130, МиГ-29К/КУБ, Ил-476, Ту-204СМ, а также для пилотируемого космического корабля «Союз-ТМА» № 709.

В настоящее время, по сведениям Е.Н. Трындына, в Москве и Подмосковье проживают 22 потомка рода Трындиных, в США — 4, в Болгарии — 6. Сколько человек род Трындиных насчитывает с начала зарождения и по сей день, ответить трудно. Только на Рогожском старообрядческом кладбище до революции были похоронены 75 человек, а всего — сказать пока невозможно.

П.Г. Белоглазов, ветеринарный врач ГК ВИК
Е.Н. Трындин, историк, потомок рода Трындиных

Компания ВИК благодарит Евгения Николаевича Трындына (прямого потомка рода Трындиных) за предоставление исторических материалов к изданию данной статьи об обеспечении российской ветеринарной службы инструментами и приборами с XIX по XX в.



Ветприбор



ГК ВИК

Исторические каталоги
фирм Hauptner, Ф. Швабе
и Е. С. Трындына



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный архив Владимирской области (ГАВО). Ф. 301. Оп. 5. Д. 100. Л. 113–113 об.
2. Российский государственный архив экономики (РГАЭ). Фонд 719. Опись 1. Дело 263. Лист 5.
3. Российский государственный исторический архив (РГИА). Ф. 472. Оп. 38 (413, 1933). Д. 25. Л. 2.
4. Центральный исторический архив Москвы (ЦИАМ). Ф. 3. Оп. 2. Д. 556. Л. 75–77.
5. Всероссийская промышленная и художественная выставка 1896 года в Нижнем Новгороде. Список экспонентов, удостоенных похвальных наград. Санкт-Петербург, 1897.
6. Ефрон А.А. Всемирная выставка и русские экспоненты (на Всемирной выставке 1885 г. в Антверпене) с указателем фабрик и заводов. Санкт-Петербург, 1886.
7. Полный иллюстрированный каталог хирургических медицинских инструментов и аппаратов, перевязочных материалов, принадлежностей для ухода за больными и ранеными, ортопедических аппаратов и искусственных конечностей с разделом хирургических инструментов, употребляемых в войсках и военно-врачебных учреждениях по образцам, утвержденным военным министром. Москва. 1881; 190: илл.
8. Справочная книга о лицах, получивших на 1885 год купеческие свидетельства по 1-й и 2-й гильдиям в Москве. М.: Типография А.Н. Иванова. 1885.
9. Трындин Е.Н., Морозова С.Г. Фирма Трындиных: «...прилагать все старания к успеху и процветанию» / Политехнический музей. Москва. 2011; 256: илл.
10. Трындин Е.Н. Оптико-механические фирмы России XIX — начала XX в. Москва. 2019; 330: илл.
11. Челюканов А. Краткий очерк фирмы «Е.С. Трындына С-вей» по случаю 85-летия существования фирмы и 25-летия деятельности ее представителей — братьев С.Е. и П.Е. Трындиных. Москва, 1894.
12. Jacobson Jacob. Jüdische Traungen in Berlin: 1759–1813 (Mit Ergänzungen f.d.J. von 1723 bis 1759). Berlin. 1968; 668.
13. Каталог ветеринарных инструментов фирмы Трындиных. 1914.

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ ПО РАЗДЕЛАМ:

ОТ РЕДАКТОРА

34–39 стр.

ВЕТЕРИНАРИЯ

40–59 стр.

ЗООТЕХНИЯ

60–100 стр.

АГРОНОМИЯ

101–147 стр.

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

148–161 стр.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ АПК

162–175 стр.



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



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

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

Индексация журнала «Аграрная наука»

Префикс DOI: 10.32634

eLIBRARY.RU: да

РИНЦ: да

Ядро РИНЦ: да

Перечень ВАК РФ: да

Категория в Перечне ВАК РФ: 2

«Белый список»: да

Уровень в «Белом списке»: 4

CrossRef: да

RSCI: да

Базы данных: AGRIS, РИНЦ, DOI, EBSCO

DOAJ: нет

ESCI: нет

Web of Science: нет

Scopus: нет

УДК: 002.63

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39

М.Б. Ребезов^{1, 2} ✉

Б.В. Виолин³

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

²Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

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

✉ agrovetpress@inbox.ru

Поступила в редакцию: 02.04.2025

Одобрена после рецензирования: 08.05.2025

Принята к публикации: 22.05.2025

© Ребезов М.Б., Виолин Б.В.

Short communications



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39

Maksim B. Rebezov^{1, 2} ✉

Boris V. Violin³

¹Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

²Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

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

✉ agrovetpress@inbox.ru

Received by the editorial office: 02.04.2025

Accepted in revised: 08.05.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

© Rebezov M.B., Violin B.V.

Публикационная активность в инфографике (часть 3)

РЕЗЮМЕ

Изучены рейтинговые наукометрические показатели журнала «Аграрная наука»: средний индекс Хирша авторов публикации — 11,98; средний возраст авторов публикаций — 50 лет; число уникальных авторов — 638; число новых авторов — 383.

Наилучшие наукометрические показатели журнала «Аграрная наука» зафиксированы по индикатору «Средний индекс Хирша авторов» и соответствует рекомендациям РИНЦ, ВАК, Российскому центру научной информации, WOS, Scopus, входит в число лучших 25% журналов по каждой референтной группе, представленной на сайте <https://www.elibrary.ru/>

Представлена статистическая информация по «Топ-10 авторов» журнала «Аграрная наука», которая ранжировалась по: числу статей за 5 лет; числу цитирований в РИНЦ статей за 5 лет; числу цитирований в ядре РИНЦ статей за 5 лет; индексу Хирша в РИНЦ; индексу Хирша по ядру РИНЦ; общему числу статей в РИНЦ; общему числу статей в ядре РИНЦ; общему числу цитирований статей в РИНЦ; общему числу цитирований статей в ядре РИНЦ.

Ключевые слова: публикационная активность журнала, научные издания, научные публикации, статистический анализ, индекс Хирша, авторы

Для цитирования: Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 3). *Аграрная наука*. 2025; 395 (06): 34–39. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39>

Publication activity in infographics (part 3)

ABSTRACT

The rating scientometric indicators of the journal “Agrarian Science” were studied: the average Hirsch index of the publication authors is 11.98; the average age of the publication authors is 50 years; the number of unique authors is 638; the number of new authors is 383.

The best scientometric indicators of the journal “Agrarian Science” are recorded according to the indicator “Average Hirsch index of authors” and complies with the recommendations of the Russian Research Center for Scientific Information, the Higher Attestation Commission, the Russian Center for Scientific Information, WOS, Scopus, and is among the top 25% of journals for each reference group presented on the website. <https://www.elibrary.ru/>

Statistical information on the “Top 10 authors” of the journal “Agrarian Science” is presented, which was ranked by: the number of articles in 5 years; the number of citations in the RSCI articles in 5 years; the number of citations in the core of the RSCI articles in 5 years; the Hirsch index in the RSCI; the Hirsch index for the core of the RSCI; the total number of articles in RSCI; the total number of articles in the core of the RSCI; the total number of citations of articles in the RSCI; the total number of citations of articles in the core of the RSCI.

Key words: publication activity of the journal, editorial policy, scientific publications, scientific publications, statistical analysis, h-index, authors

For citation: Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 3). *Agrarian science*. 2025; 395 (06): 34–39 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-34-39>

Введение/Introduction

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

Продолжаем цикл публикаций по оценке публикационной активности и рейтингов журнала «Аграрная наука» [1, 2]. Для оценки научных журналов используют различные методики, например подсчет цитирований, расчет импакт-фактора, оценку по рейтингу журналов [3–7].

Авторами выполнен анализ публикационной активности журнала «Аграрная наука» с 2008 по 2023 г.

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 2023 г.

Материалы для исследования — статистические данные, представленные в научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU⁴. Полученные данные анализировали с применением проблемно-тематического и системного анализа.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

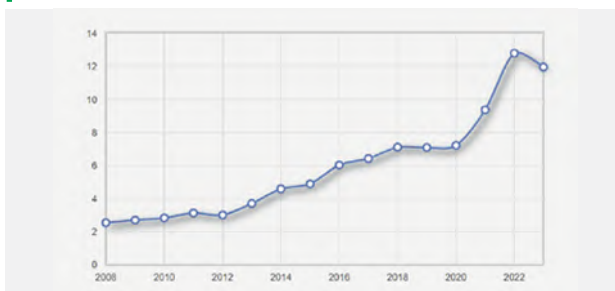
Продолжение исследований. Первая часть опубликована в № 4, 5 журнала «Аграрная наука» за 2025 г. [1, 2].

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

- средний индекс Хирша авторов публикации⁵,
- средний возраст авторов публикаций⁶,
- число уникальных авторов⁷,
- число новых авторов⁸.

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 49,96 до 49,00).

Рис. 1. Хронологическое распределение информации об авторах, опубликовавших исследования в журнале «Аграрная наука»
Fig. 1. Chronological distribution of information about authors who published research in the journal «Agrarian Science»



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



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

¹ <https://agris.fao.org/>

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

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

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

⁵ Средний индекс Хирша авторов определяется для каждой публикации, а затем усредняется для статей текущего года.

⁶ Средний возраст авторов определяется для каждой публикации, а затем усредняется для статей текущего года. Учитываются только идентифицированные авторы, зарегистрированные в системе Science Index.

⁷ Учитываются идентифицированные авторы, опубликовавшие в текущем году хотя бы одну статью в журнале.

⁸ Учитываются только авторы, первый раз опубликовавшие статью в данном журнале в этом году.

Число уникальных авторов в журнале растет непрерывно с 2020 г. — с 304 до 638, новых авторов — по 383 (в 2022 г. и 2023 г.).

Показатель «Средний индекс Хирша авторов»⁹ журнала составляет 11,98 и может быть сопоставлен с соответствующими значениями показателей других журналов в пределах выбранной референтной группы. Возможно выбрать не только референтную группу, в которую данный журнал входит, но и любую другую¹⁰.

Показатель «Средний индекс Хирша авторов» журнала на линейных индикаторах представлен на рисунке 2.

Отмечаем, что журнал «Аграрная наука» находится в наилучшей (самой светлой) зоне линейного индикатора:

- по группе российских журналов, входящих в ядро РИНЦ (выборка из 1480 журналов);
- по группе российских журналов, входящих в RSCI (выборка из 1019 журналов) по группе

российских журналов, входящих в «Белый список» (уровень 4) (выборка из 368 журналов);

- по группе журналов, входящих в список ВАК (выборка из 3735 журналов);

- по группе журналов, входящих в список ВАК (категория 2) (выборка из 1482 журналов);

- по группе российских журналов, входящих в список Scopus (квартиль 4) (выборка из 304 журналов).

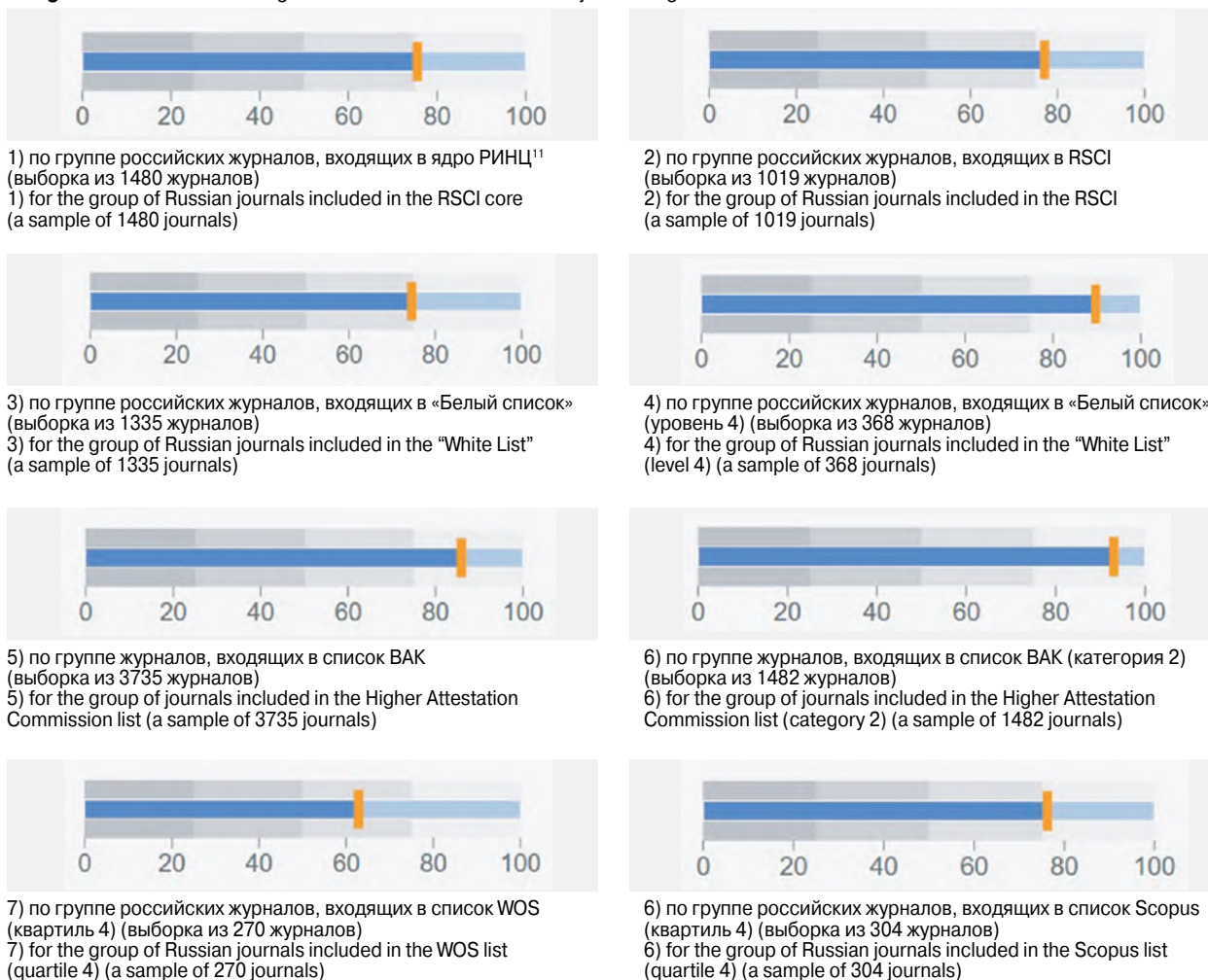
По данному показателю журнал входит в число лучших 25% журналов в данной референтной группе.

Журнал «Аграрная наука» входит в число лучших 50% журналов в референтных группах:

- по группе российских журналов, входящих в «Белый список» (выборка из 1335 журналов);
- по группе российских журналов, входящих в список WOS (квартиль 4) (выборка из 270 журналов).

Рис. 2. Показатель «Средний индекс Хирша авторов» журнала «Аграрная наука» на линейных индикаторах

Fig. 2. The indicator "Average Hirsch index of authors" of the journal "Agrarian Science" on linear indicators

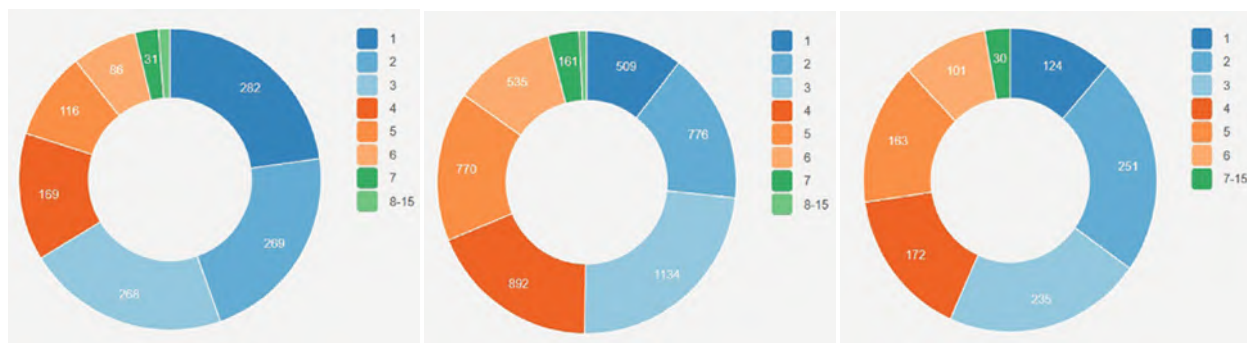


⁹ Рассчитывается средний индекс Хирша авторов каждой статьи, затем берется среднее значение по всем статьям в журнале за год.

¹⁰ 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.

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



1) Распределение по числу публикаций
 1) Distribution by number of publications

2) Распределение по числу цитирований в РИНЦ
 2) Distribution by the number of citations in the RSC

3) Распределение по числу цитирований в ядре РИНЦ
 3) Distribution by the number of citations in the core Russian Science Citation Index

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

- распределение по числу публикаций¹²,
- распределение по числу цитирований в РИНЦ¹³,
- распределение по числу цитирований в ядре РИНЦ¹⁴.

Представленные результаты (рис. 3) свидетельствуют:

- единолично опубликованных статей — 282 (22,8%) в общем количестве статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.), соответственно, 2 соавтора — 269 статей (21,8%), 3 соавтора — 268 статей (цитирований (21,7%), минимальное количество статей — 15 (1,2%) опубликованы в соавторстве более 8 человек;
- 509 цитирований (10,6%) в РИНЦ, статья-ми с единоличным авторством, в общем количестве цитирований в РИНЦ статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.), соответственно, 2 соавтора — 776 цитирований (16,1%), 3 соавтора — 1134 цитирования (23,5%), минимальное количество цитирований — 39 (0,8%) — опубликованы в соавторстве более 8 человек;

- 124 цитирования (11,5%) в ядре РИНЦ, полученных работ с единоличным авторством, в общем количестве цитирований в РИНЦ статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.), соответственно, 2 соавтора — 251 цитирование (23,3%), 3 соавтора — 235 цитирований (21,8%), минимальное количество цитирований — 30 (2,8%) опубликованы в соавторстве более 7 человек.

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

- по числу статей за 5 лет¹⁵;
- по числу цитирований в РИНЦ статей за 5 лет¹⁶;
- по числу цитирований в ядре РИНЦ статей за 5 лет¹⁷;
- по индексу Хирша в РИНЦ¹⁸;
- по индексу Хирша по ядру РИНЦ¹⁹;
- по общему числу статей в РИНЦ²⁰;
- по общему числу статей в ядре РИНЦ²¹;
- по общему числу цитирований статей в РИНЦ²²;
- по общему числу цитирований статей в ядре РИНЦ²³.

¹² Размер сегмента диаграммы отражает долю статей с указанным в легенде числом соавторов в общем количестве статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.).

¹³ 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.).

¹⁴ 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.).

¹⁵ Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество статей в данном журнале за 5 лет (2019–2023 гг.). Сортировка — по числу статей (в порядке убывания).

¹⁶ Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество цитирований в РИНЦ статей в данном журнале за 5 лет (2019–2023 гг.). Сортировка — по числу цитирований статей в РИНЦ (в порядке убывания).

¹⁷ Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество цитирований из ядра РИНЦ статей в данном журнале за 5 лет (2019–2023 гг.). Сортировка — по числу цитирований статей из ядра РИНЦ (в порядке убывания).

¹⁸ Выводится список из 10 авторов, имеющих самые высокие значения индекса Хирша в РИНЦ. Индекс Хирша рассчитывается по всем публикациям автора, входящим в РИНЦ.

¹⁹ 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.

²⁰ Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество статей в РИНЦ. В список включаются авторы, имеющие хотя бы одну статью в данном журнале. Учитываются и публикации, извлеченные из списков цитируемой литературы.

²¹ Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество статей в ядре РИНЦ. В список включаются авторы, имеющие хотя бы одну статью в данном журнале. Учитываются и публикации, извлеченные из списков цитируемой литературы.

²² Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество цитирований в РИНЦ. В список включаются авторы, имеющие хотя бы одну статью в данном журнале. Учитываются все цитирования данного автора.

²³ Выводится список из 10 авторов, имеющих наибольшее количество цитирований из ядра РИНЦ. В список включаются авторы, имеющие хотя бы одну статью в данном журнале. Учитываются все цитирования данного автора.

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



1) По числу статей за 5 лет

1) By number of articles over 5 years

2) По числу цитирований в РИНЦ за 5 лет

2) By the number of citations in the RSCI for 5 years

3) по числу цитирований в ядре РИНЦ статей за 5 лет

3) by the number of citations in the core Russian Scientific Citation Index of articles for 5 years



4) по индексу Хирша в РИНЦ

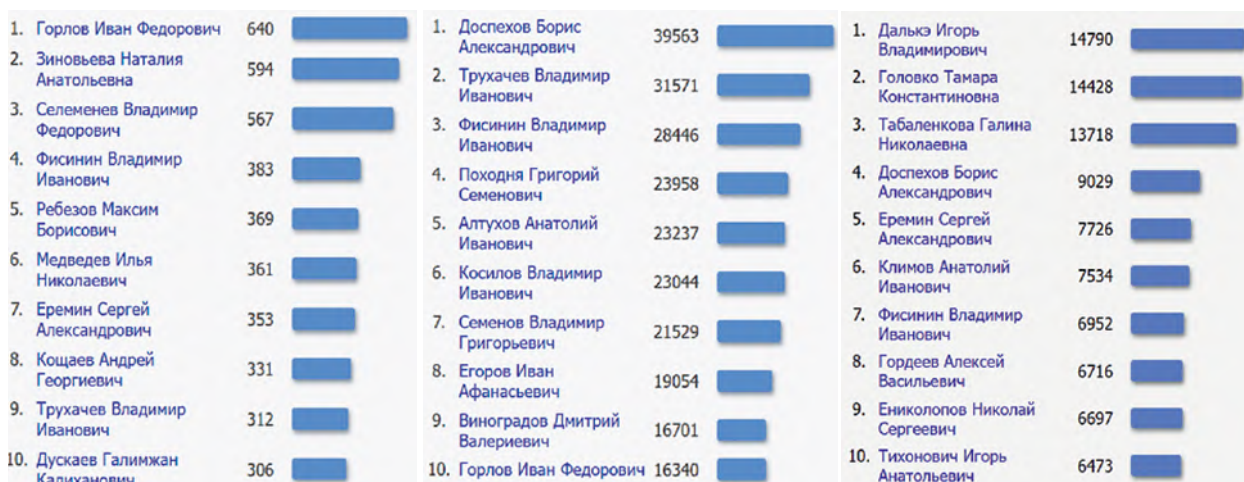
4) by the Hirsch index in the RSCI

5) по индексу Хирша по ядру РИНЦ

5) by the Hirsch index in the core RSCI

6) по общему числу статей в РИНЦ

6) by the total number of articles in the RSCI



7) по общему числу статей в ядре РИНЦ

7) by the total number of articles in the core Russian Science Citation Index

8) по общему числу цитирований статей в РИНЦ

8) by the total number of citations of articles in the RSCI

9) по общему числу цитирований статей в ядре РИНЦ

9) by the total number of citations of articles in the core Russian Science Citation Index

Анализ представленной информации (рис. 4) свидетельствует о привлечении научно-педагогических сотрудников наивысшей категории для публикации исследований на страницах журнала «Аграрная наука».

Выводы/Conclusions

На заседании редакционного совета рассмотрен анализ ранжирования и публи-

кационной активности журнала за 2008–2023 гг.

По результатам обсуждения предложен план мероприятий, направленных на повышение наукометрических показателей издания, включая оптимизацию редакционной политики, привлечение высокоцитируемых авторов и увеличение международного представительства публикаций.

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 1). *Аграрная наука*. 2025; 393(04): 22–27. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-22-27>
2. Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 2). *Аграрная наука*. 2025; (5): 25–30. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30>
3. Шепелев Г.В. Об оценке результативности научных исследований. *Управление наукой: теория и практика*. 2021; 3(4): 123–145. <https://doi.org/10.19181/smt.2021.3.4.15>
4. 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>
5. Лазарев В.С. Из истории наукометрических классификаций цитирования. Первые две работы и русскоязычные публикации. Часть 2. *Управление наукой: теория и практика*. 2025; 7(1): 133–145. <https://doi.org/10.19181/smt.2025.7.1.9>
6. 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>
7. Гуськов А.Е., Ермаков А.А., Малышева А.В., Селиванова И.В. Наукометрический анализ научного сотрудничества в регионах Сибирского федерального округа. *Научные и технические библиотеки*. 2025; (3): 33–58. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2025-3-83-110>

ОБ АВТОРАХ

Максим Борисович Ребезов^{1,2}

- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник¹;
- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов²

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Борис Викторович Виолин³

кандидат ветеринарных наук
agrovetpress@inbox.ru

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

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

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

REFERENCES

1. Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 1). *Agrarian science*. 2025; 393(04): 22–27 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-22-27>
2. Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 2). *Agrarian science*. 2025; (5): 25–30 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30>
3. Shepelev G.V. On the Evaluation of the Effectiveness of Scientific Research. *Science Management: Theory and Practice*. 2021; 3(4): 123–145 (in Russian). <https://doi.org/10.19181/smt.2021.3.4.15>
4. 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>
5. Lazarev V.S. From the history of scientometric citation classifications. The first two works and russophone publications. Part 2. *Science Management: Theory and Practice*. 2021; 3(4): 123–145 (in Russian). <https://doi.org/10.19181/smt.2025.7.1.9>
6. 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>
7. Guskov A.E., Ermakov A.A., Malysheva A.V., Selivanova I.V. Scientometrical analysis of research collaborations in Siberian federal district regions. *Scientific and Technical Libraries*. 2025; (3): 33–58 (in Russian). <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2025-3-83-110>

ABOUT THE AUTHORS

Maksim Borisovich Rebezov^{1,2}

- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher¹;
- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products²

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Boris Viktorovich Violin³

Candidate of Veterinary Sciences
agrovetpress@inbox.ru

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

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

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

УДК: 619:579.618.14-002.636.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-40-47

В.И. Луцай¹

П.А. Руденко^{1,2} ✉

В.Д. Сибирцев¹

А.М. Нефедов¹

¹Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

²Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

✉ pavelrudenko76@yandex.ru

Поступила в редакцию: 12.04.2025

Одобрена после рецензирования: 08.05.2025

Принята к публикации: 22.05.2025

© Луцай В.И., Руденко П.А., Сибирцев В.Д., Нефедов А.М.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-40-47

Vladimir I. Lutsay¹

Pavel A. Rudenko^{1,2} ✉

Vladimir D. Sibirtsev¹

Anton M. Nefedov¹

¹Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

²Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

✉ pavelrudenko76@yandex.ru

Received by the editorial office: 12.04.2025

Accepted in revised: 08.05.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

© Lutsay V.I., Rudenko P.A., Sibirtsev V.D., Nefedov A.M.

Динамика показателей антиоксидантной системы и продуктов перекисного окисления липидов у коров при коморбидном течении акушерско-гинекологической и ортопедической патологии

РЕЗЮМЕ

В настоящей рукописи проведен прооксидантно-антиоксидантный контроль эффективности лечения различными схемами высокопродуктивных коров при коморбидном течении послеродового острого гнойно-катарального эндометрита и гнойно-некротического заболевания в области пальца.

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее эффективным комплексным лечением высокопродуктивных коров при коморбидном течении послеродового эндометрита и ортопедической патологии оказалась схема I опытной группы, о чем говорит общее состояние опытных животных, а также положительная динамика роста количества показателей антиоксидантных ферментов на фоне снижения уровня количества продуктов липопероксидации в сыворотке крови. Установлено, что комплексное лечение высокопродуктивных коров по схеме I способствует более быстрому общему клиническому улучшению уже на 9,42 ± 0,25-й день (***), наступлению половой охоты на 52,00 ± 0,88-й день (***), отсутствию осложнений при сравнении с базовым лечением животных IV опытной группы. Следует отметить, что в пробах сыворотки крови животных I опытной группы значительно быстрее снижается уровень показателей продуктов ПОЛ (ДК, МДА, МСМ) на фоне увеличения показателей системы АОС (СОД, КТ, ГЛП, ОАОА) при сравнении с другими опытными группами, достигая референсных значений.

Ключевые слова: высокопродуктивные коровы, репродуктивный цикл, эндометрит, гнойно-некротические поражения конечностей, коморбидное течение, терапия

Для цитирования: Луцай В.И., Руденко П.А., Сибирцев В.Д., Нефедов А.М. Динамика показателей антиоксидантной системы и продуктов перекисного окисления липидов у коров при коморбидном течении акушерско-гинекологической и ортопедической патологии. *Аграрная наука*. 2025; 395 (06): 40–47.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-40-47>

Dynamics of antioxidant system indices and lipid peroxidation products in cows with comorbid obstetric-gynecological and orthopedic pathology

ABSTRACT

In this manuscript, a pro-oxidant-antioxidant control of the effectiveness of treatment with various schemes of highly productive cows in the comorbid course of postpartum acute purulent-catarrhal endometritis and purulent-necrotic disease in the finger area was carried out.

As a result of the conducted studies, it was found that the most effective complex treatment for highly productive cows with comorbid course of postpartum endometritis and orthopedic pathology turned out to be scheme I of the experimental group, as evidenced by the general condition of the experimental animals, as well as the positive dynamics of the increase in the number of antioxidant enzymes against the background of a decrease in the amount of lipoperoxidation products in the blood serum. It was found that the complex treatment of highly productive cows according to scheme I contributes to a faster overall clinical improvement already on day 9.42±0.25 (***), the onset of sexual hunting on day 52.00±0.88 (***), and the absence of complications when compared with the basic treatment of animals of the IV experimental group. It should be noted that in blood serum samples of animals of the First experimental group, the level of POL products (DC, MDA, MSM) decreases significantly faster against the background of an increase in the AOS system (SOD, CT, GLP, OAOA) compared with other experimental groups, reaching reference values.

Key words: highly productive cows, reproductive cycle, endometritis, purulent-necrotic lesions of the extremities, comorbid course, therapy

For citation: Lutsay V.I., Rudenko P.A., Sibirtsev V.D., Nefedov A.M. Dynamics of antioxidant system indices and lipid peroxidation products in cows with comorbid obstetric-gynecological and orthopedic pathology. *Agrarian science*. 2025; 395 (06): 40–47 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-40-47>

Введение/Introduction

В ветеринарной практике существует проблема сочетанного течения различных заболеваний у коров, которые вызваны ассоциациями условно-патогенной микрофлоры, присутствующей в фермерских биоценозах [1–4]. Эти заболевания представляют собой группу факторных инфекций, включающихся в функционирование искусственно созданных фермерских биогеоценозов [5, 6]. Коморбидное течение гинекологических и ортопедических патологий у коров наносит значительный экономический ущерб, что связано с уменьшением молочной продуктивности и увеличением расходов на диагностику, лечение и профилактику ветеринарных мероприятий [7–10]. В связи с этим необходимо искать эффективные и патогенетически обоснованные методы терапевтического воздействия при клинической манифестации множественной патологии у высокопродуктивных животных.

Все биохимические, иммунологические, эндокринные и другие процессы в организме имеют прямую или косвенную связь со структурой и функцией клеточной стенки [8, 11, 12]. В связи с этим повреждения клеточной стенки являются одним из основных триггеров, которые способствуют возникновению большинства гнойно-воспалительных и инфекционных патологий.

Основой повреждения клеточных мембран является процесс пероксидации, или перекисного свободнорадикального окисления липидов (ПОЛ). Продукты липопероксидации, особенно в комплексе с другими токсинами и медиаторами воспаления, могут наносить значительные, а в некоторых случаях необратимые повреждения клеток органов и тканей [13–16]. Антиоксидантная система (АОС) служит одним из индикаторов изменений в организме. При накоплении активных форм кислорода или нарушении работы антиоксидантной системы усиливаются процессы перекисного окисления липидов, окислительной модификации белков и нуклеиновых кислот, что негативно сказывается как на состоянии клеток, так и всего организма [17–20]. Авторами не найдено данных об изучении баланса систем ПОЛ-АОС при коморбидном течении акушерско-гинекологической и ортопедической патологии.

Цель исследования — проведение прооксидантно-антиоксидантного контроля для оценки эффективности различных схем терапии высокопродуктивных коров с коморбидным течением послеродового острого гнойно-катарального эндометрита и гнойно-некротических заболеваний в области пальца.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования были проведены в 2024 году на базе АО «Воскресенское» (Воскресенский р-н, Московская обл., Российская Федерация) на 47 высокопродуктивных коровах с полиморбидной патологией послеродового острого гнойно-катарального эндометрита и гнойно-некротических заболеваний в области пальцев. Эксперимент получил одобрение биоэтической комиссии кафедры ветеринарной медицины «РОСБИОТЕХ» в отношении гуманного обращения с подопытными животными, соответствующего международным биоэтическим стандартам¹.

В ходе ортопедической диспансеризации оценивали степень и характер деформаций, интенсивность разрушения копытного рога, а также динамику течения заболеваний копытцев у коров.

Особое внимание уделяли состоянию копытца (наличию деформаций) и копытцевого рога (наличию карманов, раковин, расслоений и трещин), а также правильной постановке грудных и тазовых конечностей. У животных с гнойно-некротическими поражениями пальцев в послеродовом периоде проводили акушерско-гинекологическую диспансеризацию по клиническому проявлению с использованием трансректальной пальпации и ультразвукового сканирования половых органов с помощью портативного аппарата УЗИ (Falco, Испания) с частотой 8 МГц согласно методикам, принятым в ветеринарной репродуктологии².

В процессе исследования определяли размеры и эхоплотность тканей, их однородность, а также эхохарактер функциональных и патологических структур.

Выявленных при обследовании животных с коморбидным течением акушерско-гинекологической и ортопедической патологии рандомизированно методом конвертов разделили на 4 группы:

I опытная группа (n = 14);

II опытная группа (n = 11);

III опытная группа (n = 11);

IV опытная группа (базовая терапия) (n = 11).

Местное лечение у животных всех опытных групп было идентичным. До начала терапии животным всех опытных групп однократно проводили ортопедическую обработку пораженной области пальцев, которая заключалась в расчистке копытцев от излишнего, травмированного и видоизмененного копытного рога. На пораженный участок накладывали марлевую салфетку, пропитанную мазью «Экзеконт» (АО «Ветеринарные препараты», Россия), трехкратно (с интервалом 48 часов), предварительно проведя хирургическую обработку поверхности копытца. Кроме этого, больным коровам

¹ Положения IV Европейской конвенции «О защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей» (ETS 123, 1986).

² Баймишев Х.Б., Землянкин В.В., Баймишев М.Х. Практикум по акушерству и гинекологии: учебное пособие. 2-е изд. (перераб. и доп.). Самара: РИЦ СГСХА. 2012; 300.

двукратно (с интервалом 24 часа) применяли внутриматочно два суппозитория «Сепранол» (ООО «Нита-Фарм», Россия), предварительно осуществив санитарную обработку наружных половых органов и корня хвоста.

Общая терапия у животных различных опытных групп имела различия. Животным I опытной группы применяли препарат группы фторхинолонов «Кобактан» (Intervet International, Германия) по 2 мл / 50 кг массы тела внутримышечно (1 раз в сутки) трехкратно; а также 10%-ный раствор «Эмидонол» (ООО «Агроветзащита», Россия) по 1 мл / 50 кг внутримышечно (1 раз в сутки) пятикратно. Опытным животным II группы применяли лишь антибактериальный препарат «Кобактан» (Intervet International, Германия), согласно инструкции производителя, коровам III опытной группы — лишь антиоксидантный, антигипоксический и мембранопротекторный препарат «Эмидонол» (ООО «Агроветзащита», Россия), согласно инструкции производителя. Животным IV опытной группы применяли базовую терапию, которая включала лишь местное лечение: однократную ортопедическую обработку пораженных конечностей, трехкратную хирургическую обработку (с интервалом 48 часов) перед наложением мази «Экзеконт» (АО «Ветеринарные препараты», Россия) на пораженный участок, а также коровам IV группы двукратно (с интервалом 24 часа) применяли внутриматочно два суппозитория «Сепранол» (ООО «Нита-Фарм», Россия) после санитарной обработки наружных половых органов и корня хвоста.

В утренние часы до кормления у больных животных I, II и III опытных групп проводили забор крови из яремной вены в стерильные пробирки для проведения биохимических исследований общепринятыми методами³. При этом определяли в пробах сыворотки крови количество антиоксидантных ферментов: супероксиддисмутазы (СОД, ед/л), каталазы (КТ, ед/л), глутатионпероксидазы (ГЛП, ед/л). Определена концентрация общей антиоксидантной активности сыворотки крови (ОАОА, ммоль/л), а также уровень продуктов перекисного окисления липидов: диеновых конъюгатов (ДК, ед/мл), малонового диальдегида (МДА, мкмоль/л) и молекул средней массы (МСМ, у. е.).

Статистические расчеты выполняли при помощи программы Statistica 7.0. (StatSoft, USA)⁴. При этом проводили оценку нормальности распределения с помощью ANOVA-теста. Рассчитывали среднюю арифметическую (Mean), среднеквадратическую ошибку (SE) и стандартное отклонение (SD). Определяли достоверность разницы полученных анализов разных групп: * ($p < 0,05$), ** ($p < 0,01$), *** ($p < 0,001$) (критерий Вилкоксона); ◊ ($p < 0,05$), ◊◊ ($p < 0,01$), ◊◊◊ ($p < 0,001$) — достоверность разницы между I и II группами (критерий Манна — Уитни); † ($p < 0,05$), †† ($p < 0,01$), ††† ($p < 0,001$) — достоверность разницы между

показателями коров I и III групп (критерий Манна — Уитни); ‡ ($p < 0,05$), ‡‡ ($p < 0,01$), ‡‡‡ ($p < 0,001$) — достоверность разницы между показателями коров I и IV групп (критерий Манна — Уитни).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты предыдущих исследований помогли выявить системные изменения и общие патогенетические механизмы воспаления матки и гнойно-некротических процессов в области пальцев, которые возникают у коров после родов.

Было установлено, что наличие ортопедической патологии у коров значительно усугубляет клинические проявления послеродового эндометрита [8]. В связи с этим на основании изучения патогенетических особенностей коморбидного течения послеродового метрита и гнойно-некротических поражений конечностей у высокопродуктивных коров была разработана схема комплексного лечения.

При анализе клинической манифестации у опытных животных коморбидного течения патологии, а также динамики их выздоровления установлено, что наиболее эффективной схемой терапии коров с послеродовым острым гнойно-катаральным эндометритом и гнойно-некротическими поражениями в области пальцев является лечение коров I опытной группы. Об этом свидетельствуют отсутствие осложнений, более быстрое общее клиническое улучшение на 8,67 сут. ($p < 0,001$) и возникновение половой охоты на 37,2 сут. ($p < 0,001$) раньше при сравнении с базовым лечением.

Нормальное функционирование организма невозможно без сложной многоуровневой системы регуляции и координации различных его функций, которые обеспечиваются специальными веществами — биорегуляторами. Среди биорегуляторов, способствующих повышению защитных и адаптивных возможностей организма, важную роль играют противоокислительные вещества, известные как антиоксиданты.

У клинически здоровых животных в условиях физиологической нормы антиоксидантная система (АОС) защищает клеточные липиды от избыточного перекисления, что делает ее важным показателем гомеостаза. Даже кратковременные нарушения в работе АОС могут привести к значительным сбоям в гомеостатических процессах, а длительное присутствие свободных радикалов в кровотоке способно вызвать необратимые повреждения органоидов клеток и тканей. Динамика изменений активности ферментов антиоксидантной защиты в сыворотке крови коров с коморбидным течением эндометрита и гнойно-некротическими заболеваниями копыт у высокопродуктивных коров в процессе их лечения представлена в таблице 1.

Таблица 1. Динамика изменений активности ферментов антиоксидантной защиты в сыворотке крови коров в процессе их терапии

Table 1. Dynamics of changes in the activity of antioxidant defense enzymes in the blood serum of cows during their therapy

Показатель	Здоровые коровы (n = 23)	Схема	До терапии	В процессе лечения		Тест Фридмана
				7 день	14 день	
СОД, ед/л	76,9 ± 13,7	I (n = 14)	34,5 ± 10,6	60,6 ± 11,7***	74,4 ± 14,4***	p < 0,001
		II (n = 11)	29,4 ± 5,6	56,9 ± 4,8***	65,3 ± 14,8***	p < 0,001
		III (n = 11)	34,5 ± 4,2	60,8 ± 8,4***	66,7 ± 13,9***	p < 0,001
		IV (n = 11)	36,8 ± 5,7	39,6 ± 3,9***	50,1 ± 20,8***	p < 0,05
КТ, ед/л	1,0 ± 0,2	I (n = 14)	0,4 ± 0,1	0,9 ± 0,2***	1,1 ± 0,3***	p < 0,001
		II (n = 11)	0,4 ± 0,1	0,8 ± 0,2***	0,9 ± 0,2***	p < 0,001
		III (n = 11)	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,3**	0,8 ± 0,2***	p < 0,001
		IV (n = 11)	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,2**	0,7 ± 0,2***	p < 0,05
ГЛП, ед/л	3,6 ± 0,8	I (n = 14)	1,9 ± 0,3	2,7 ± 0,4***	3,8 ± 0,7***	p < 0,001
		II (n = 11)	2,0 ± 0,2	2,0 ± 0,5**	2,9 ± 0,5***	p < 0,001
		III (n = 11)	1,9 ± 0,4	1,8 ± 0,6**	3,0 ± 0,7***	p < 0,001
		IV (n = 11)	1,9 ± 0,4	1,8 ± 0,5***	2,6 ± 0,6***	p < 0,01

Оценка по методу Фридмана динамики изменений активности ферментов антиоксидантной защиты в сыворотке крови коров (табл. 1) продемонстрировала высокую статистическую значимость. Важно акцентировать внимание, что по сравнению с исходными данными на 7-й день терапии отмечено статистически значимое повышение активности супероксиддисмутазы в сыворотках крови коров, которых лечили по схеме I (p < 0,001), II (p < 0,001), III (p < 0,001; критерий Вилкоксона). Аналогично на 14-й день по сравнению со временем момента старта терапии установлено статистически значимое повышение сывороточной активности супероксиддисмутазы у коров I группы (p < 0,001), II группы (p < 0,001), III группы (p < 0,001), IV группы (p < 0,01; критерий Вилкоксона). Следует добавить, что на 7-й день оценки эффективности проводимой терапии отмечено статистически значимое повышение активности супероксиддисмутазы в сыворотке крови коров, которых лечили по схемам I и IV (p < 0,001). На 14-й день контроля проводимой эффективности терапии идентифицировано статистически значимое повышение активности супероксиддисмутазы в сыворотке крови у коров, которых лечили по схемам I и IV (p < 0,001).

Установлено, что по сравнению с исходными данными на 7-й день терапии отмечено статистически значимое повышение активности каталазы в сыворотках крови коров, которых лечили по схемам I (p < 0,001), II (p < 0,001), III (p < 0,01; критерий Вилкоксона). Аналогично на 14-й день по сравнению со временем момента старта терапии установлено статистически значимое повышение сывороточной активности каталазы у коров I группы (p < 0,001), II группы (p < 0,001), III группы (p < 0,001). В IV группе коров изменений активности каталазы в сыворотке крови не происходило ни на 7-й, ни на 14-й день.

Следует указать, что на 7-е сутки данного исследования наблюдали статистически значимое увеличение уровня каталазы в сыворотке крови животных, которых лечили по схемам I и II

(p < 0,01), I и III (p < 0,01), I и IV (p < 0,001). На 14-й день контроля эффективности проводимой эффективности терапии идентифицировано статистически значимое повышение активности каталазы в сыворотке крови у коров, которых лечили по схемам I и II (p < 0,01), I и III (p < 0,05), I и IV (p < 0,01). Установлено, что по сравнению с исходными данными на 7-й день терапии отмечено статистически значимое повышение активности каталазы в сыворотках крови коров, которых лечили по схемам I (p < 0,001), II (p < 0,001), III (p < 0,01; критерий Вилкоксона).

Аналогично на 14-й день по сравнению со временем момента старта терапии установлено статистически значимое повышение сывороточной активности каталазы у коров I группы (p < 0,001), II группы (p < 0,001), III группы (p < 0,001). В IV группе коров изменений активности каталазы в сыворотке крови не происходило ни на 7-й, ни на 14-й день.

Следует добавить, что на 7-е сутки оценки эффективности проводимой терапии отмечено достоверное увеличение активности показателя каталазы в сыворотке крови коров, которых лечили по схемам I и II (p < 0,01), I и III (p < 0,01), I и IV (p < 0,001; критерий Манна — Уитни). На 14-й день контроля эффективности проводимой эффективности терапии идентифицировано статистически значимое повышение активности каталазы в сыворотке крови у коров, которых лечили по схемам I и IV (p < 0,05; критерий Манна — Уитни).

Подчеркнем, что по сравнению с исходными данными на 7-й день терапии не отмечено статистически значимого изменения активности глутатионпероксидазы в сыворотках крови коров, которых лечили по схемам I–IV. В противоположность на 14-й день по сравнению со временем момента старта терапии установлено статистически значимое повышение сывороточной активности глутатионпероксидазы у коров I группы (p < 0,001), II группы (p < 0,001), III группы (p < 0,001).

Следует добавить, что в течение всего периода наблюдения в IV группе коров изменений активности глутатионпероксидазы в сыворотке крови не происходило. Отметим, что на 7-й день оценки эффективности проводимой терапии отмечено статистически значимое повышение активности глутатионпероксидазы в сыворотке крови коров, которых лечили по схемам I и II (p < 0,01), I и III (p < 0,01), I и IV (p < 0,001; критерий Манна — Уитни). На 14-й день контроля проводимой эффективности терапии идентифицировано статистически значимое повышение активности глутатионпероксидазы в сыворотке крови у коров, которых

лечили по схемам I и II ($p < 0,01$), I и III ($p < 0,05$), I и IV ($p < 0,01$; критерий Манна — Уитни).

Общая антиоксидантная активность сыворотки крови является интегральным показателем, который свидетельствует об уровне суммарной защиты организма от токсичных продуктов окислительного стресса. Методом Фридмана установлена высокая статистическая значимость динамики изменений общей антиоксидантной активности сыворотки крови у больных коров в процессе их терапии по схемам I–IV (рис. 1).

Установлено, что по сравнению с исходными данными на 7-й день терапии отмечено статистически значимое снижение показателя ОАОА в сыворотках крови коров, которых лечили по схемам I ($p < 0,001$), II ($p < 0,001$), III ($p < 0,01$), IV ($p < 0,001$; критерий Вилкоксона). Аналогично на 14-й день по сравнению со временем момента старта терапии установлено статистически значимое снижение общей антиоксидантной активности у коров I группы ($p < 0,001$), II группы ($p < 0,01$), III группы ($p < 0,001$), IV группы ($p < 0,001$; критерий Вилкоксона). Следует указать, что не установлено межгрупповых различий в отношении изменений общей антиоксидантной активности у коров в процессе терапии.

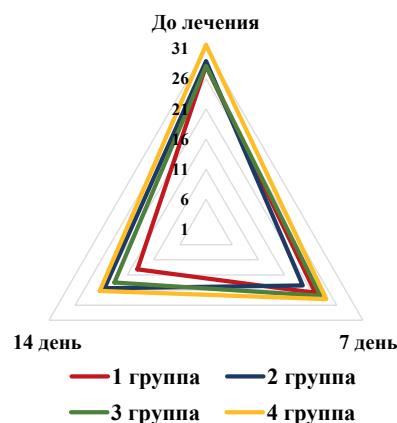
Известно, что воздействие на организм различных неблагоприятных факторов химического и физического характера, биологических стрессоров, а также возникновение патологических состояний и проявление инфекционных заболеваний приводят к значительному усилению процессов свободнорадикального окисления. Поскольку липиды являются неотъемлемым компонентом клеточных мембран, повреждение клеточной стенки (а именно фосфолипидного комплекса) является одним из пусковых механизмов развития многих патологических процессов [8, 11, 20].

Методом Фридмана была проведена оценка динамики изменений концентрации показателей, характеризующих перекисное окисление липидов у больных коров в процессе их терапии, результаты которой приведены в таблице 2. В отношении сывороточной концентрации диеновых конъюгатов, малонового диальдегида, молекул средней массы продемонстрирована высокая статистическая значимость.

Важно акцентировать внимание, что по сравнению с исходными данными на 7-й день терапии отмечено статистически значимое снижение концентрации диеновых конъюгатов в сыворотках крови коров, которых лечили по схемам I ($p < 0,001$), II ($p < 0,001$),

Рис. 1. Уровень общей антиоксидантной активности сыворотки крови у коров в процессе их терапии

Fig. 1. The level of total antioxidant activity of blood serum in cows during their therapy



III ($p < 0,001$; критерий Вилкоксона). Аналогично на 14-й день по сравнению со временем момента старта терапии установлено статистически значимое снижение сывороточной концентрации диеновых конъюгатов у коров I группы ($p < 0,001$), II группы ($p < 0,001$), III группы ($p < 0,001$; критерий Вилкоксона).

В течение всего периода наблюдения не отмечено изменений в концентрации диеновых конъюгатов в группе животных, которых лечили согласно IV схеме. На 7-й день оценки эффективности проводимой терапии не отмечено статистически значимых изменений концентрации диеновых конъюгатов при проведении межгруппового сравнения. Тем не менее на 14-й день контроля проводимой эффективности терапии идентифицировано статистически значимое снижение концентрации диеновых конъюгатов в сыворотке крови у коров, которых лечили по схемам I и II ($p < 0,01$), I и III ($p < 0,001$; критерий Манна — Уитни).

По сравнению с исходными данными на 7-й день терапии отмечено статистически значимое снижение концентрации уровня малонового диальдегида в сыворотках крови коров, которых лечили

Таблица 2. Динамика изменений концентрации в сыворотке крови продуктов ПОЛ у коров в процессе их терапии

Table 2. Dynamics of changes in the concentration of lipid peroxidation products in the blood serum of cows during their therapy

Показатель	Здоровые коровы (n = 23)	Схема	До терапии	В процессе лечения		Тест Фридмана
				7-й день	14-й день	
ДК, ед/мл	1,85 ± 0,27	I (n = 14)	3,3 ± 0,4	2,4 ± 0,6***	1,7 ± 0,2***	$p < 0,001$
		II (n = 11)	3,3 ± 0,3	2,2 ± 0,2***	2,1 ± 0,4***	$p < 0,001$
		III (n = 11)	3,3 ± 0,4	2,6 ± 0,3***	2,7 ± 0,3***	$p < 0,001$
		IV (n = 11)	3,3 ± 0,2	2,4 ± 0,6	2,8 ± 0,6§§§	$p < 0,01$
МДА, мкмоль/л	1,45 ± 0,49	I (n = 14)	3,4 ± 0,3	2,0 ± 0,3***	1,4 ± 0,4***	$p < 0,001$
		II (n = 11)	3,4 ± 0,3	2,2 ± 0,2***	2,1 ± 0,4***	$p < 0,001$
		III (n = 11)	3,4 ± 0,3	2,3 ± 0,5***	1,8 ± 0,5***	$p < 0,001$
		IV (n = 11)	3,3 ± 0,4	2,5 ± 0,6§	2,3 ± 0,8§	$p < 0,01$
МСМ, у. е.	0,27 ± 0,03	I (n = 14)	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1**	$p < 0,01$
		II (n = 11)	0,4 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,3 ± 0,03*∅	$p < 0,001$
		III (n = 11)	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1***	$p < 0,5$
		IV (n = 11)	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1§§§	$p < 0,5$

по схемам I ($p < 0,001$), II ($p < 0,001$), III ($p < 0,001$; критерий Вилкоксона). На 14-й день по сравнению с нулевым днем установлено статистически значимое снижение сывороточной концентрации малонового диальдегида у коров I группы ($p < 0,001$), II группы ($p < 0,001$), III группы ($p < 0,001$; критерий Вилкоксона). В течение всего периода наблюдения не отмечено изменений в концентрации малонового диальдегида в группе животных, которых лечили по IV схеме.

На 7-е сутки исследования эффективности проводимой терапии установлен существенный сдвиг концентрации уровня МДА в сыворотке крови у коров, которых лечили по схемам I и IV ($p < 0,05$; критерий Манна — Уитни). На 14-й день контроля проводимой эффективности терапии установлено статистически значимое снижение концентрации малонового диальдегида в сыворотке крови у коров, которых лечили по схемам I и IV ($p < 0,05$; критерий Манна — Уитни).

Следует отметить, что на 7-й день терапии по сравнению с исходными данными не отмечено статистически значимых изменений концентрации молекул средней массы в сыворотках крови коров, которых лечили по схемам I–IV. На 14-й день по сравнению с нулевым днем установлено статистически значимое снижение сывороточной концентрации молекул средней массы у коров только I ($p < 0,01$) и II ($p < 0,05$) групп; критерий Вилкоксона).

В течение всего периода наблюдения не отмечено изменений в концентрации молекул средней массы в группе животных, которых лечили по III и IV схемам. На 14-й день контроля проводимой эффективности терапии выявлено статистически значимое снижение концентрации молекул средней массы в сыворотке крови у коров, которых лечили по схемам I и II ($p < 0,05$), I и III ($p < 0,001$), I и IV ($p < 0,001$; критерий Манна — Уитни).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что наиболее эффективным комплексным лечением высокопродуктивных коров при коморбидном течении послеродового эндометрита и ортопедической патологии оказалась схема I опытной группы. Общеклинические наблюдения за опытными животными, а также положительная динамика увеличения уровня показателей антиоксидантной защиты на фоне снижения количества продуктов перекисного окисления

липидов в образцах сыворотки крови наглядно подтверждают результативность терапевтической схемы I группы.

Выводы/Conclusions

Реакции перекисного окисления липидов являются свободнорадикальными и постоянно происходят в организме даже в пределах физиологической нормы. Свободнорадикальное окисление нарушает структуру многих молекул в организме, особенно при развитии тяжелых патологических состояний. Для большинства заболеваний окислительный стресс является следствием основной патологии. Неконтролируемое распространение токсичных свободных радикалов вызывает больше клеточных повреждений, чем основное заболевание.

Комплексное лечение высокопродуктивных коров с коморбидным течением послеродового острого гнойно-катарального эндометрита и гнойно-некротическими поражениями конечностей, включающее однократную ортопедическую обработку пораженной области пальцев и трехкратную хирургическую обработку (с интервалом 48 часов) перед наложением мази «Экзеконт», а также двукратное внутриматочное введение суппозиторий «Сепранол» (с интервалом 24 часа) на фоне внутримышечного применения «Кобактана» и «Эмидонола», продемонстрировало наибольшую эффективность. Это подтверждается анализом результатов общеклинического мониторинга и динамикой восстановления показателей антиоксидантной защиты на фоне снижения продуктов ПОЛ в сыворотках крови опытных животных в процессе их терапии.

Установлено, что комплексное лечение высокопродуктивных коров по схеме I способствует более быстрому общему клиническому улучшению уже на $9,42 \pm 0,25$ -й день (***), наступлению половой охоты на $52,00 \pm 0,88$ -й день (***), отсутствию осложнений при сравнении с базовым лечением животных IV опытной группы.

Следует отметить, что в пробах сыворотки крови животных I опытной группы значительно быстрее снижается уровень показателей продуктов ПОЛ (ДК, МДА, МСМ) на фоне увеличения показателей системы АОС (СОД, КТ, ГЛП, ОАОА) при сравнении с другими опытными группами, достигая референсных значений.

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

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00172.
<https://rscf.ru/project/24-26-00172/>

FUNDING

The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-26-00172.
<https://rscf.ru/project/24-26-00172/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Badura R., Buczek A., Samborski Z., Szymonis-Szymanowski W., Twardon J. Einfluß technopathiebedingter Streßfaktoren auf die Fruchtbarkeit des Rinde. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*. 1992; 99(5): 193–194.
2. Hernandez J., Shearer J.K., Webb D.W. Effect of lameness on the calving-to-conception interval in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2001; 218(10): 1611–1614. <https://doi.org/10.2460/javma.2001.218.1611>
3. Луцай В.И., Солошенко Н.Ю., Неведов А.М., Сибирцев В.Д., Руденко А.А., Руденко П.А. Микробный пейзаж при послеродовом остром гнойно-катаральном эндометрите у коров. *Аграрная наука*. 2024; (3): 66–71. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-66-71>
4. Rezac D.J., Thomson D.U., Siemens M.G., Prouty F.L., Reinhardt C.D., Bartle S.J. A survey of gross pathologic conditions in cull cows at slaughter in the Great Lakes region of the United States. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(7): 4227–4235. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7636>
5. Rudenko A., Glamazdin I., Lutsay V., Sysoeva N., Tresnitskiy S., Rudenko P. Parasitocenoses in cattle and their circulation in small farms. *E3S Web of Conferences*. 2022; 363: 03029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236303029>
6. Vatinikov Y. et al. Research on the antibacterial and antimycotic effect of the phytopreparation Farnesol on biofilm-forming microorganisms in veterinary medicine. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12(S2): 1481–1492. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.SP2.164>
7. Földi J. et al. Bacterial complications of postpartum uterine involution in cattle. *Animal Reproduction Science*. 2006; 96(3–4): 265–281. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.08.006>
8. Луцай В.И., Сибирцев В.Д., Неведов А.М., Руденко П.А. Уровень прооксидантно-антиоксидантного статуса у высокопродуктивных коров при коморбидном течении акушерско-гинекологической и ортопедической патологии. *Аграрная наука*. 2024; (9): 34–39. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-34-39>
9. Liu Z. et al. Application of Flow Cytometry in the Diagnosis of Bovine Epidemic Disease. *Viruses*. 2023; 15(6): 1378. <https://doi.org/10.3390/v15061378>
10. Skovorodin E., Bogolyuk S., Yurina A. Clinical, laboratory, and morphological diagnosis of diseases in the oviducts and paraovarian structures of cows. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 2022; 86(3): 194–202.
11. Руденко П.А. Интенсивность перекисного окисления липидов и активность антиоксидантной системы кошек при гнойно-воспалительных процессах. *Ветеринария*. 2016; (10): 45–48. <https://www.elibrary.ru/wzixjh>
12. Spagnuolo M.S., Sarubbi F., Rossetti C., Grazioli G., Di Meo G.P., Iannuzzi L. Effect of dioxin exposure on several indices of blood redox status in lactating buffalo cows. *Journal of Dairy Research*. 2011; 78(2): 154–159. <https://doi.org/10.1017/S0022029911000021>
13. Takahashi M. Oxidative Stress and Redox Regulation on *In Vitro* Development of Mammalian Embryos. *Journal of Reproduction and Development*. 2012; 58(1): 1–9. <https://doi.org/10.1262/jrd.11-138n>
14. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox Biology*. 2015; 4: 180–183. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002>
15. Van Breusegem F., Remacle C. Oxidative stress responses in plants. *Free Radical Biology and Medicine*. 2023; 204: 394. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2023.05.012>
16. Zhao B. et al. Supplementation with kaempferol relieves oxidative stress and enhances development of early bovine embryos *in vitro*. *Reproduction in Domestic Animals*. 2022; 57(9): 1007–1015. <https://doi.org/10.1111/rda.14167>
17. Abeyta M.A. et al. Effects of dietary antioxidant supplementation on metabolism and inflammatory biomarkers in heat-stressed dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(2): 1441–1452. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22338>
18. Lashkari S., Habibian M., Jensen S.K. A Review on the Role of Chromium Supplementation in Ruminant Nutrition-Effects on Productive Performance, Blood Metabolites, Antioxidant Status, and Immunocompetence. *Biological Trace Element Research*. 2018; 186(2): 305–321. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1310-5>
19. Gomes da Silva G. et al. Feeding reduced levels of trace minerals in proteinate form and selenium-yeast to transition cows: Performance, trace minerals, and antioxidant status, peripheral neutrophil activity, and oocyte quality. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(4): 3023–3042. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21939>

REFERENCES

1. Badura R., Buczek A., Samborski Z., Szymonis-Szymanowski W., Twardon J. The effect of technopathologically limited stress factors on the fertility of cattle. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*. 1992; 99(5): 193–194 (in German).
2. Hernandez J., Shearer J.K., Webb D.W. Effect of lameness on the calving-to-conception interval in dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2001; 218(10): 1611–1614. <https://doi.org/10.2460/javma.2001.218.1611>
3. Lutsay V.I., Soloshenko N.Yu., Nefedov A.M., Sibirtsev V.D., Rudenko A.A., Rudenko P.A. Microbial landscape in acute purulent-catarhal postpartum endometritis in cows. *Agrarian science*. 2024; (3): 66–71 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-66-71>
4. Rezac D.J., Thomson D.U., Siemens M.G., Prouty F.L., Reinhardt C.D., Bartle S.J. A survey of gross pathologic conditions in cull cows at slaughter in the Great Lakes region of the United States. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(7): 4227–4235. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7636>
5. Rudenko A., Glamazdin I., Lutsay V., Sysoeva N., Tresnitskiy S., Rudenko P. Parasitocenoses in cattle and their circulation in small farms. *E3S Web of Conferences*. 2022; 363: 03029. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202236303029>
6. Vatinikov Y. et al. Research on the antibacterial and antimycotic effect of the phytopreparation Farnesol on biofilm-forming microorganisms in veterinary medicine. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020; 12(S2): 1481–1492. <https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.SP2.164>
7. Földi J. et al. Bacterial complications of postpartum uterine involution in cattle. *Animal Reproduction Science*. 2006; 96(3–4): 265–281. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.08.006>
8. Lutsay V.I., Sibirtsev V.D., Nefedov A.M., Rudenko P.A. Level of prooxidant-antioxidant status in highly productive cows with comorbid obstetric, gynecological and orthopedic pathology. *Agrarian science*. 2024; (9): 34–39 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-34-39>
9. Liu Z. et al. Application of Flow Cytometry in the Diagnosis of Bovine Epidemic Disease. *Viruses*. 2023; 15(6): 1378. <https://doi.org/10.3390/v15061378>
10. Skovorodin E., Bogolyuk S., Yurina A. Clinical, laboratory, and morphological diagnosis of diseases in the oviducts and paraovarian structures of cows. *Canadian Journal of Veterinary Research*. 2022; 86(3): 194–202.
11. Rudenko P.A. Lipid peroxidation and antioxidant system activity in cats with inflammatory processes. *Veterinary medicine*. 2016; (10): 45–48 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wzixjh>
12. Spagnuolo M.S., Sarubbi F., Rossetti C., Grazioli G., Di Meo G.P., Iannuzzi L. Effect of dioxin exposure on several indices of blood redox status in lactating buffalo cows. *Journal of Dairy Research*. 2011; 78(2): 154–159. <https://doi.org/10.1017/S0022029911000021>
13. Takahashi M. Oxidative Stress and Redox Regulation on *In Vitro* Development of Mammalian Embryos. *Journal of Reproduction and Development*. 2012; 58(1): 1–9. <https://doi.org/10.1262/jrd.11-138n>
14. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox Biology*. 2015; 4: 180–183. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2015.01.002>
15. Van Breusegem F., Remacle C. Oxidative stress responses in plants. *Free Radical Biology and Medicine*. 2023; 204: 394. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2023.05.012>
16. Zhao B. et al. Supplementation with kaempferol relieves oxidative stress and enhances development of early bovine embryos *in vitro*. *Reproduction in Domestic Animals*. 2022; 57(9): 1007–1015. <https://doi.org/10.1111/rda.14167>
17. Abeyta M.A. et al. Effects of dietary antioxidant supplementation on metabolism and inflammatory biomarkers in heat-stressed dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(2): 1441–1452. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22338>
18. Lashkari S., Habibian M., Jensen S.K. A Review on the Role of Chromium Supplementation in Ruminant Nutrition-Effects on Productive Performance, Blood Metabolites, Antioxidant Status, and Immunocompetence. *Biological Trace Element Research*. 2018; 186(2): 305–321. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1310-5>
19. Gomes da Silva G. et al. Feeding reduced levels of trace minerals in proteinate form and selenium-yeast to transition cows: Performance, trace minerals, and antioxidant status, peripheral neutrophil activity, and oocyte quality. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(4): 3023–3042. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21939>

20. Puppel K., Kapusta A., Kuczyńska B. The etiology of oxidative stress in the various species of animals, a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(11): 2179–2184. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7015>

ОБ АВТОРАХ

Владимир Иванович Луцай¹

доктор ветеринарных наук, заведующий кафедрой ветеринарной медицины
recaro21@bk.ru

<https://orcid.org/0009-0003-4668-2545>

Павел Анатольевич Руденко^{1,2}

доктор ветеринарных наук, профессор кафедры ветеринарной медицины¹; профессор департамента ветеринарной медицины²
pavelrudenko76@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0418-9918>

Владимир Дмитриевич Сибирцев¹

аспирант кафедры ветеринарной медицины
sibircev_vd@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-5302-3321>

Антон Максимович Неведов¹

аспирант кафедры ветеринарной медицины
goose322@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-6908-2895>

¹Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Волоколамское шоссе, 11, Москва, 125080, Россия

²Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 117198, Россия

20. Puppel K., Kapusta A., Kuczyńska B. The etiology of oxidative stress in the various species of animals, a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(11): 2179–2184. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7015>

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir Ivanovich Lutsay¹

Doctor of Veterinary Sciences, Head of the Department of Veterinary Medicine
recaro21@bk.ru

<https://orcid.org/0009-0003-4668-2545>

Pavel Anatolievich Rudenko^{1,2}

Doctor of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Veterinary Medicine¹; Professor of the Department of Veterinary Medicine²
pavelrudenko76@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0418-9918>

Vladimir Dmitrievich Sibirtsev¹

Postgraduate Student of the Department of Veterinary Medicine
sibircev_vd@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-5302-3321>

Anton Maksimovich Nefedov¹

Postgraduate Student of the Department of Veterinary Medicine
goose322@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0002-6908-2895>

¹Russian Biotechnological University, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russia

²Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maclay Str., Moscow, 117198, Russia



Достойное вознаграждение за привлеченную рекламу от ИД «Аграрная наука»

Вы



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

Мы гарантируем

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

Звоните +7 (916) 616-05-31

Реклама

Д.Л. Никифоров-Никишин¹Н.И. Кочетков¹ ✉К.В. Гаврилин²С.В. Смородинская¹В.М. Гаффарова¹

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

²Национальный фонд экологической защиты и развития Крайнего Севера и приравненных к ним местностей, Якутск, Россия

✉ samatrixs@gmail.com

Поступила в редакцию: 17.02.2025

Одобрена после рецензирования: 08.05.2025

Принята к публикации: 22.05.2025

© Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Гаврилин К.В., Смородинская С.В., Гаффарова В.М.

Dmitry L. Nikiforov-Nikishin¹Nikita I. Kochetkov¹ ✉Kirill V. Gavrilin²Svetlana V. Smorodinskaya¹Victoria M. Gaffarova¹

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

²National Fund for Environmental Protection and Development of the Far North and Equivalent Areas, Yakutsk, Russia

✉ samatrixs@gmail.com

Received by the editorial office: 17.02.2025

Accepted in revised: 08.05.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

© Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I., Gavrilin K.V., Smorodinskaya S.V., Gaffarova V.M.

Системные патологические нарушения у молоди радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) при заболевании ихтиофтириозом (*Ichthyophthirius multifiliis*)

РЕЗЮМЕ

В статье представлены результаты комплексного исследования системных патологических нарушений у молоди радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) при спонтанной инвазии *Ichthyophthirius multifiliis*. Интенсивность инвазии (ИИ) ихтиофтириозом составила $7,0 \pm 3,4$ экз / п. з. м. и $24 \pm 8,9$ экз / п. з. м. на поверхности тела и жабр соответственно. Из печени инвазированных рыб выделен комплекс грамотрицательных бактерий: *Enterobacter* sp. (20%), *Citrobacter freundii* (60%), *Acinetobacter calcoaceticus* (20%), что свидетельствует о развитии вторичной бактериальной инфекции. Гематологические исследования выявили снижение количества эритроцитов (до $1,05 \pm 0,06 \times 10^6$ кл/мкл) и повышение числа лейкоцитов (до $3,87 \pm 0,51 \times 10^4$ кл/мкл), лейкопению и нейтрофилию ($38,45 \pm 0,97\%$). Биохимический анализ сыворотки крови показал существенное увеличение активности АСТ ($750,9 \pm 147,7$ У/л), АЛТ ($39,4 \pm 6,7$ У/л), щелочной фосфатазы ($467,8 \pm 72,6$ У/л), ЛДГ ($2557,3 \pm 245,1$ У/л), концентрации общего белка ($43,83 \pm 5,31$ г/л), альбумина ($24,12 \pm 2,2$ г/л) и глюкозы ($3,11 \pm 0,13$ ммоль/л), а также мочевины ($3,23 \pm 0,62$ ммоль/л). Гистологический анализ выявил повреждения жабрного эпителия, дегенерацию почечных телец, вакуолизацию и некроз гепатоцитов, а также гипотрофию ретикулярно-эндотелиальных клеток селезенки. Полученные данные свидетельствуют, что ихтиофтириоз является системным заболеванием, приводящим к полиорганным нарушениям у радужной форели, и протекает в форме ассоциативного протозойно-бактериального заболевания.

Ключевые слова: паразитология, протозойные заболевания, аквакультура, гистопатология, гематология, биохимия, *Ichthyophthirius multifiliis*

Для цитирования: Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Гаврилин К.В., Смородинская С.В., Гаффарова В.М. Системные патологические нарушения у молоди радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) при заболевании ихтиофтириозом (*Ichthyophthirius multifiliis*). *Аграрная наука*. 2025; 395 (06): 48–59.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-48-59>

Systemic Pathological Disorders in Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) During Ichthyophthiriosis (*Ichthyophthirius multifiliis*) Infestation

ABSTRACT

The article presents the results of a comprehensive study of systemic pathological disorders in young rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under spontaneous infestation with *Ichthyophthirius multifiliis*. The study included clinical examination, parasitological, microbiological, haematological, biochemical and histological analyses. The intensity of invasion (II) of ichthyophthiriosis was 7.0 ± 3.4 examples per microscopic field (body surface) and 24 ± 8.9 examples per microscopic field (gills). [Or define your abbreviation]. A complex of Gram-negative bacteria was isolated from the liver of infected fish: *Enterobacter* sp. (20%), *Citrobacter freundii* (60%), *Acinetobacter calcoaceticus* (20%), indicating the development of secondary bacterial infection. Haematological analysis revealed a decrease in erythrocyte count to $1.05 \pm 0.06 \times 10^6$ cells/ μ L and an increase in leucocyte count to $3.87 \pm 0.51 \times 10^4$ cells/ μ L, with a relative neutrophilia ($38.45 \pm 0.97\%$). Serum biochemical analysis showed a significant increase in AST activity (750.9 ± 147.7 U/L), ALT (39.4 ± 6.7 U/L), alkaline phosphatase (467.8 ± 72.6 U/L), LDH (2557.3 ± 245.1 U/L), total protein (43.83 ± 5.31 g/L), albumin (24.12 ± 2.2 g/L) and glucose (3.11 ± 0.13 μ mol/L), and urea (3.23 ± 0.62 μ mol/L) concentrations. Histological analysis revealed damage to the gill epithelium, degradation of renal tubules, vacuolisation and necrosis of hepatocytes, and hypotrophy of reticuloendothelial cells of the spleen. The obtained data indicate that ichthyophthiriosis is a systemic disease leading to multi-organ disorders in rainbow trout and manifests as an associative protozoal-bacterial disease.

Key words: parasitology, protozoal diseases, aquaculture, histopathology, haematology, biochemistry, *Ichthyophthirius multifiliis*

For citation: Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I., Gavrilin K.V., Smorodinskaya S.V., Gaffarova V.M. Systemic Pathological Disorders in Juvenile Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) During Ichthyophthiriosis (*Ichthyophthirius multifiliis*) Infestation. *Agrarian science*. 2025; 395 (06): 48–59 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-48-59>

Введение/Introduction

Протозойные заболевания рыб в условиях аквакультуры часто являются причиной массовой гибели молоди, а также приводят к снижению скорости роста и ухудшению физиологических показателей взрослых особей^{1, 2}. Многие паразитические инфузории, как и бактериальные инфекции, не обладают видовой специфичностью и могут поражать практически все культивируемые виды рыб в условиях прудового, садкового и бассейнового выращивания [1–3]. При высокой плотности посадки вероятность этих эпизоотий многократно возрастает по сравнению с естественными водоемами.

Одним из самых опасных и эпизоотически значимых протозойных заболеваний рыб является ихтиофтириоз [1, 4–6]. Он вызывается ресничной инфузурией *Ichthyophthirius multifiliis* (Fouquet, 1876) из отряда Tetrahymenida класса Hymenostomata. Согласно литературным данным, в тропических регионах таксономический состав отряда Tetrahymenida существенно богаче [7–9], однако на территории нашей страны распространен только *I. multifiliis*.

К этому заболеванию восприимчивы практически все виды пресноводных рыб независимо от возраста. Паразит наиболее опасен для молоди, но от ихтиофтириоза может погибнуть рыба любого размера в зависимости от интенсивности инвазии [1]. *I. multifiliis* способен развиваться в широком диапазоне температур. Неблагоприятные условия возникают только при температуре воды ниже 1,0–1,5 °C или выше 32 °C, когда инфузория меняет свой жизненный цикл [10]. Паразит может проникнуть в водоем с водой и рыбоводным инвентарем за счет покоящихся во внешней среде цист и активно плавающих бродяжек, нападающих на рыб [11, 12]. В естественных популяциях паразит редко вызывает эпизоотии, приводящие к массовой гибели рыб [13]. Напротив, за счет достижения динамического равновесия в системе «паразит — хозяин» формируются устойчивые резерваты инвазии.

Заболевание можно охарактеризовать как хорошо изученное, но только с точки зрения специалиста-паразитолога. Ихтиофтириоз достаточно легко диагностируется, так как зрелые формы паразита, выходя из покровных тканей, образуют характерные белые бугорки, а под микроскопом легко дифференцируются от других инфузурий благодаря крупным размерам и подковообразному ядру [1, 14]. С точки зрения ихтиопатолога, остаются несколько очевидных и практически значимых вопросов: каким образом эктопаразит, чье патогенное воздействие заключается преимущественно в лизисе клеток покровных тканей, приводит к гибели даже достаточно крупных рыб при отсутствии кровотечения и асфиксии? почему

правильно проведенные терапевтические мероприятия в одном случае дают ожидаемый эффект, а в другом — нет? как объяснить продолжающуюся (в ряде случаев) гибель рыб после подтвержденной паразитологическим исследованием элиминации паразитов? По сложившемуся мнению основными причинами гибели рыб при ихтиофтириозе являются нарушение целостности кожного покрова и разрушение респираторного эпителия, что приводит к нарушению осмотического баланса [1, 12, 15, 16], а также к развитию оппортунистической инфекции [17–19].

В настоящий момент существует большое количество сведений о гистопатологических изменениях в жабрах и коже рыб при заболевании ихтиофтириозом [13, 20–22]. Однако, насколько известно, данные о патологических изменениях в других органах и тканях при течении данного заболевания отсутствуют. Не поддается сомнению, что интенсивная инвазия *I. multifiliis* приводит к развитию системных защитных реакций и патологических явлений в организме рыб подобно другим инфекционным и паразитарным агентам [23, 24].

В литературе имеется значительное количество данных, указывающих на то, что протозойные инвазии часто сопровождаются вторичной бактериальной инфекцией [8, 19, 25, 26]. Следовательно, в ряде случаев на фоне ихтиофтириоза развивается ассоциативное протозойно-бактериальное заболевание, характеризующееся существенно более злокачественным течением и требующее особых подходов к терапии.

Таким образом, очевидно, что проблема ихтиофтириоза в аквакультуре далека от окончательного разрешения. В связи с этим был проведен комплекс исследований группы спонтанно инвазированных форелей, включающий комплексную характеристику патологического процесса.

Цель исследования — изучение системных патологических изменений гематологических, биохимических и гистологических показателей молоди радужной форели (*O. mykiss*) при спонтанной инвазии *I. multifiliis*.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Работы проводили с января по февраль 2025 года.

Радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) содержалась в бассейнах установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) объемом 3000 л с системами механической («Алмаз 402М», «Ейскполимер», Россия) и биологической фильтрации, оснащенных установками обеззараживания воды (УОВ-ПВ-15 исполнение 2A610H40US, «Александра-Плюс», Россия) с подменой 10% воды в сутки.

Рыбоводный комплекс находился на инфраструктурных ресурсах уникальной научной установки (УНУ) НТИ РФ (рег. № 3662433)

¹ Головина Н.А., Стрелков Ю.А., Воронин В.Н., Головин П.П., Евдокимова Е.Б., Юхименко Л.Н. Ихтиопатология. Мир. 2003; 448.

² Lio-Po G.D., Lavilla C.R., Cruz-Lacierda E.R. eds. Health Management in Aquaculture. Southeast Asian Fisheries Development Center. 2001; 187.

«Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» в центре «Аквакультуры» факультета биотехнологий и рыбного хозяйства МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ) (г. Москва, Россия).

Температура воды в рыбоводных емкостях составляла $15,5 \pm 0,4$ °C, водородный показатель — pH $7,7 \pm 0,1$, содержание растворенного кислорода не опускалось ниже 9 мг/л.

Содержание в воде азотистых метаболитов ($\text{NH}_4^+ = 0,1$ мг/л, $\text{NO}_2^- = 0,13$ мг/л и $\text{NO}_3^- = 15$ мг/л) и фосфатов ($\text{PO}_4^{3-} = 0,15$ мг/л) находилось в пределах нормы для данного вида рыб. Кормление производили (2% от биомассы рыбы) два раза в сутки кормами Veronesi (Verona Companies Register, Италия) размером 2 мм.

На момент диагностирования заболевания масса рыбы составляла $43,1 \pm 4,3$ г при длине $15,0 \pm 0,5$ см. В дальнейшем 20 особей с явными признаками заболевания отсаживали в отдельные емкости объемом 700 л с аналогичными гидрохимическими условиями. В основном бассейне рыба подвергалась лечению раствором органического красителя фиолетового К («Югреактив», Россия) в концентрации 0,4 мг/л в соответствии с общепринятыми подходами к лечению ихтиофтириоза у рыб.

В качестве контрольных особей использовали рыб ($n = 20$) такой же массы и размера, выращиваемых в другом рыбоводном бассейне, в котором признаков развития заболевания зафиксировано не было.

Для получения характерной картины ихтиофтириоза рыб выдерживали в отдельном бассейне в течение 12 суток.

После гибели первых трех особей были проведены комплекс ихтиопатологических исследований и отбор образцов крови и ткани у оставшихся пораженных особей, а также у контрольной рыбы из другого бассейна. Забор образцов производили после предварительной эвтаназии в растворе MS-222 в концентрации 100 мг/л в соответствии с этическими стандартами³.

Для паразитологического исследования случайным образом отобрали 10 экземпляров форели. При помощи ланцетовидного глазного скальпеля был произведен забор биоматериала рыб, слизи с поверхности тела и жабр таким образом, чтобы итоговое количество материала было примерно одинаковым и составляло ориентировочно 10 мкл в каждой пробе. При предварительных исследованиях количество материала не учитывали.

Из отобранного материала были изготовлены серии компрессионных препаратов, которые изучали на микроскопе Olympus BX53 (Olympus Corporation, Япония). Численность ихтиофтириусов определяли их количеством, обнаруженным в

одном поле зрения микроскопа (п. з. м.) при увеличении $\times 56$ и при исследовании не менее 10 п. з. м. на одном компрессионном препарате⁴. В качестве группового параметра, характеризующего инвазию, использовали ее интенсивность (ИИ, экз / п. з. м.) — среднеарифметическое число паразитов определенного вида, обнаруженных при исследовании инвазированных форелей [19].

Параллельно с целью исключить наличие других паразитических организмов было проведено их полное паразитологическое исследование, при котором других инвазионных агентов, кроме ихтиофтириусов, обнаружено не было.

Отбор биоматериала для микробиологического исследования проводили следующим образом. Рыб с соблюдением правил асептики вскрывали и иссекали около 300 мг ткани печени. Отобранный биоматериал растирали по поверхности агаризованных питательных сред ГРМ № 1 и «Эндо» (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия). Пробы воды из емкости, где содержали рыб, засевали по 50 мкл на те же среды.

Посевы инкубировали в термостате Binder 115 (Binder GmbH, Германия) при температуре 25 °C в течение 72 часов. В случае посевов воды колонии, выросшие на чашке Петри со средой, подсчитывали, и результат представляли в виде КОЕ/мл (колониеобразующие единицы в 1 мл воды). В случае посевов материала печени оценивали интенсивность роста микроорганизмов без их подсчета, так как материал печени засевали без его взвешивания и суспендирования.

В каждом исследуемом образце регистрировали представленные культурально-морфологические типы колоний и отбирали для дальнейшей идентификации несколько изолированных колоний каждого из типов. Исследуемые штаммы засевали на дифференциально-диагностический агар «Клиглера» (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия) и среду Гисса с глюкозой (ФБУН ГНЦ ПМБ, Россия). После 24-часовой инкубации культуру подвергали тесту на наличие фермента цитохром оксидазы при помощи соответствующего тест-набора (НИЦФ, Россия). Грамположительные и грамотрицательные бактерии дифференцировали при помощи теста с 3%-ным КОН. Образование индола регистрировали при помощи тест-полосок Indol Strips (Novamed, Израиль). Морфологические свойства бактериальных клеток изучали в мазках, окрашенных 1%-ным водным раствором метиленового синего.

Идентификацию микроорганизмов осуществляли согласно определителю бактерий Берджи⁵.

Забор проб крови производили после анестезии вплоть до седации MS-222 (0,2 мг/л). Образцы крови семи рыб из каждой группы были взяты из хвостовой вены в объеме 0,5 мл. Количество

³ National Research Council; Division on Earth and Life Studies; Institute for Laboratory Animal Research. Committee for the Update of the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. In Guide for the Care and Use of Laboratory Animals; The National Academies Press: Washington, DC, USA. 2011. ISBN 9780309386296

⁴ Определитель паразитов пресноводных рыб СССР. Т. I. Простейшие. Справочное пособие. Колос. 1984; 428.

⁵ Holt J.G. ed. Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 9th ed. Williams & Wilkins. 1994.

эритроцитов в крови определяли по методам, описанным Blaxhall и Daisley [27]. Аспартаминотрансферазу (АСТ), аланинаминотрансферазу (АЛТ), креатинин, мочевины, альбумин, общий белок, глюкозу, лактатдегидрогеназу (ЛДГ) и щелочную фосфатазу в сыворотке определяли при помощи биохимического анализатора CS-T240 (Dirui, Китай) с использованием готовых наборов реагентов, поставляемых компанией Dirui (Китай), следуя инструкциям производителя. Препараты крови исследуемых рыб изготавливали по стандартной методике⁶.

Для гистологического исследования отбирали ткани печени, почки, селезенки и жабр. Пробы ткани рыб фиксировали в растворе Дэвидсона в течение 24 часов. Для отбора тканей были использованы 6 особей радужной форели, от которых были получены 16 образцов ткани. Проводку, заливку (Citadel 2000, Thermo FS, США) и окраску гистологических препаратов (4 мкм, H&E) осуществляли согласно общепринятой методике⁷.

Полученные препараты изучали под световым микроскопом Olympus BX53 (Olympus Corporation, Япония, Токио) с окулярными насадками CarlZeiss ERc 5s (Zeiss, Германия, Оберкохен) и TouPCam 16.0 MP (TouPCam Photonics, Китай) с использованием программного обеспечения ZEN lite (Zeiss, Германия) и TouPCam view 16.0 (TouPCam Photonics, Китай).

Adobe Photoshop 2024 (Adobe Systems, Сан-Хосе, Калифорния, США) использовали для настройки таких параметров изображений, как яркость, контрастность и баланс освещенности. Элементы изображения не были каким-либо образом улучшены, перемещены или введены.

Данные сравнения анализируемых переменных представлены в виде средних $\pm$ SD. Статистическую достоверность определяли с использованием непараметрических тестов (U-тест Манна — Уитни) и параметрических тестов (t-критерия Уэлча) в зависимости от распределения данных и однородности вариаций (тесты Шапиро — Уилка и Левена). Значение $p < 0,05$ было принято как статистически достоверное.

Обработку статистических данных производили с использованием GraphPad Prism version 9.0 software (GraphPad, San Diego, CA, USA) и R v 4.4.1 и RStudio.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Первоначальными признаками развития паразитарной инфекции было изменение поведения рыбы, выраженное в снижении кормовой активности и длительном нахождении в районе водоподдачи. При более внимательном рассмотрении на рыбе можно было увидеть отдельные белые

бугорки размером около 1 мм, что является характерным признаком данного заболевания. Диагноз был подтвержден при микроскопии компрессионных препаратов слизи с поверхности тела и жабр (рис. 1).

Данных прижизненной микроскопии было достаточно для постановки окончательного диагноза. Первые случаи гибели рыб, помещенных в отдельный бассейн для более подробного изучения заболевания, наблюдали на 12-е сутки, после чего приступили к осуществлению вышеописанного комплекса исследований.

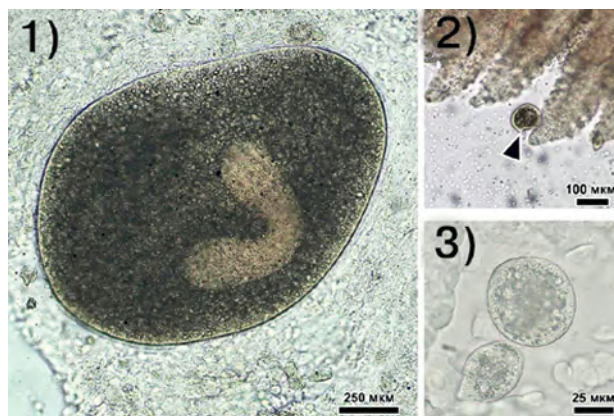
Гибель рыбы на 12-е сутки изоляции составила 20%.

В результате паразитологического исследования были установлены параметры инвазии: при экстенсивности инвазии (ЭИ) интенсивность инвазии составила $7,0 \pm 3,4$ экз / п. з. м. и $24 \pm 8,9$ экз / п. з. м. на поверхности тела и жабр соответственно.

При микробиологических исследованиях было установлено, что из печени всех обследованных рыб в существенном количестве выделен комплекс грамотрицательных бактерий, идентифицированных как *Enterobacter* sp. (20% от выделенной микрофлоры), *Citrobacter freundii* (60%), *Acinetobacter calcoaceticus* (20%). Посевы из печени контрольных особей не выявили присутствия бактерий. При этом исследование микробиоценоза воды выявило следующую картину: общее микробное число составило 6980 КОЕ/мл (из них 35% *Aeromonas* sp., 35% *Enterobacter* sp., 30% *Staphylococcus* sp.). Общее количество микроорганизмов в исследуемой емкости было существенно выше, чем в аналогичных по плотности посадки форели и рыбоводному режиму емкостях (около 3500 КОЕ/мл) (Жезмер и др., 1988 г.).

Рис. 1. Различные стадии развития икhtiофтириоза на прижизненных препаратах слизи (1, 2) и жаберных лепестков (3) пораженной радужной форели. Шкала масштаба 250 (1), 100 (2) и 25 (3) мкм

Fig. 1. Different stages in the development of ichthyophthiriosis on lifetime preparations of mucus (1, 2) and gill filaments (3) from affected rainbow trout. Scale bar 250 (1), 100 (2) and 25 (3) μ m



⁶ Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб: сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб. Легкая и пищевая промышленность. 1983; 283.

⁷ Suvarna S.K. Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques E-Book. Elsevier Health Sciences. 2018; 672.

Патологоанатомическое исследование больных экземпляров показало наличие поврежденных жаберных лепестков, которые были сильно ослизнены, гиперемизированы и имели признаки разрушения эпителия жаберных ламелл. На поверхности тела рыбы отмечены единичные бугорки белого цвета, локализованные в области спинного плавника и вблизи головы. Отмечали незначительные покраснения кожных покровов. Отдельные лучи хвостового, спинного и грудных плавников имели незначительные признаки некроза травматического характера, возможно, осложненные вторичными инфекциями.

После забора крови и паразитологического исследования производили вскрытие для оценки состояния внутренних органов, которое показало присутствие видимых патологических нарушений. Пилорические придатки, желудок и другие элементы ЖКТ не имели признаков повреждений, геморагии и воспаления. В просвете кишечника наблюдали остатки корма. Печень была несколько увеличена, имела более темный цвет, чем у здоровых особей. Селезенка всех больных особей имела темно-коричневый цвет и увеличенный размер по сравнению с контролем. В почке наблюдали признаки гиперемии, выраженные в увеличении размеров органа и появлении неравномерно окрашенных участков.

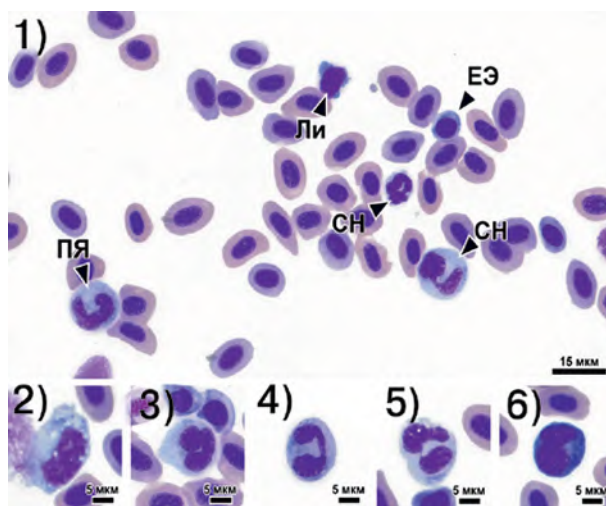
Изучение периферической крови радужной форели показало достоверное ($p < 0,05$) снижение количества эритроцитов (до $1,05 \text{ кл } 10^6/\text{мкл}$) и повышение числа лейкоцитов ($3,78 \text{ кл } 10^4/\text{мкл}$) больных особей по сравнению с контролем (табл. 2).

На мазках крови (рис. 2) было выявлено значимое ($p < 0,05$) увеличение относительного количества незрелых эритроцитов у больных особей.

Относительное количество лейкоцитов на препаратах крови не имело достоверных отличий. При этом наблюдали существенное ($p < 0,01$) уменьшение числа лимфоцитов (до 35,99%) у больных

Рис. 2. Мазки крови радужной форели, зараженной иктиофтириозом: (1) поле зрения мазка с отдельными клетками лейкоцитарного ряда, (2) моноцит, (3) палочкоядерный нейтрофил, (4, 5) сегментоядерный нейтрофил, (6) базофил. Сокращения: ПЯ — палочкоядерный нейтрофил, СН — сегментоядерный нейтрофил, Ли — лимфоцит, ЕЭ — незрелый эритроцит. Шкала масштаба — 15 (1) и 5 мкм (2 — 6)

Fig. 2. Blood smears of rainbow trout infected with ichthyophthiriosis: (1) visual field of a smear with individual leukocyte cells, (2) monocyte, (3) rod-shaped neutrophil, (4, 5) segmented neutrophil, (6) basophil. Abbreviations: PY — rod-shaped neutrophil, CH — segmented neutrophil, Li — lymphocyte, EE — immature erythrocyte. Scale scale — 15 (1) and 5 microns (2 — 6)



экземпляров по сравнению со здоровыми рыбами, где количество лимфоцитов составляло 95,31%. У больных рыб было выявлено значимое увеличение количества моноцитов, нейтрофилов (палочкоядерных и сегментоядерных форм), а также базофилов. Полученные результаты лейкоцитарной формулы указывают на наличие у больных рыб лейкопении и нейтрофилии. При этом изменения числа тромбоцитов зафиксировано не было.

Анализ ряда биохимических показателей сыворотки крови показал существенное изменение физиологического статуса больных особей. Наибольшие изменения наблюдали в активности аминотрансферазных ферментов (АСТ и АЛТ), щелочной фосфатазы и ЛДГ (табл. 3). Данные показатели превышали показатели здоровых особей до двух раз.

Концентрация мочевины была достоверно ($p < 0,05$) повышена у инфицированных рыб и достигала $3,23 \text{ мкмоль/л}$. При этом концентрация креатинина находилась на уровне здоровых особей. Концентрация общего белка, а также альбумина была существенно завышена и достигала значений, соответственно, $43,83 \text{ г/л}$ и $24,12 \text{ г/л}$ у зараженных особей. Достоверно более высокая концентрация глюкозы ($p < 0,05$) была зафиксирована у больных рыб, превышая показатель контроля на 11%. Подобные изменения биохимических показателей указывают на выраженное течение патологического процесса и существенное нарушение функций органов.

Таблица 1. Гематологические показатели здоровой радужной форели и группы рыб, зараженных иктиофтириозом

Table 1. Haematological parameters of healthy rainbow trout and the group of fish infected with ichthyophthiriasis

Показатель	Группа	
	контроль (здоровая)	иктиофтириоз
Эритроциты, $10^6/\text{мкл}$	$1,28 \pm 0,07$	$1,05 \pm 0,06^*$
Незрелые эритроциты, %	$2,14 \pm 0,04$	$3,01 \pm 0,16^*$
Лейкоциты, $10^4/\text{мкл}$	$2,01 \pm 0,28$	$3,87 \pm 0,51^*$
Лейкоциты, % от ОЧК	$3,69 \pm 0,27$	$4,08 \pm 0,33$
Лимфоциты, %	$95,31 \pm 0,41$	$35,99 \pm 1,22^*$
Моноциты, %	$1,55 \pm 0,22$	$15,57 \pm 0,40^*$
Палочкоядерные нейтрофилы, %	$1,72 \pm 0,12$	$13,84 \pm 0,36^*$
Сегментоядерные нейтрофилы, %	$0,83 \pm 0,16$	$24,61 \pm 0,63^*$
Сумма нейтрофилов, %	$2,56 \pm 0,25$	$38,45 \pm 0,97^*$
Базофилы, %	$0,83 \pm 0,13$	$9,99 \pm 0,53^*$
Тромбоциты, % от ОЧК	$0,90 \pm 0,08$	$0,74 \pm 0,07$

Примечание: * статистическая значимость ($p < 0,05$) из t-критерия Уэлча. Сокращения: ОЧК — общее число клеток.

Таблица 2. Биохимические показатели сыворотки крови здоровой радужной форели и группы рыб, больных ихтиофтириозом

Table 2. Biochemical parameters of blood serum from healthy rainbow trout and a group of fish with ichthyophthiriasis

Показатель	Контроль (здоровая)	Ихтиофтириоз
АСТ, У/л	360,52 ± 37,23	750,93 ± 147,72*
АЛТ, У/л	24,33 ± 1,63	39,43 ± 6,77*
Мочевина, мкмоль/л	1,6 ± 0,2	3,23 ± 0,62*
Креатинин, мкмоль/л	24,27 ± 1,51	22,87 ± 2,06
Общий белок, г/л	34,4 ± 1,27	43,83 ± 5,31*
Альбумин, г/л	17,68 ± 1,12	24,12 ± 2,2*
Глобулин, г/л	16,72 ± 1,86	19,72 ± 3,36
Щелочная фосфатаза, У/л	250,33 ± 37	467,83 ± 72,62*
Глюкоза, мкмоль/л	2,63 ± 0,14	3,11 ± 0,13*
ЛДГ, У/л	780 ± 107,73	2557,33 ± 245,17*

Примечание: * статистическая значимость ($p < 0,05$) из t-критерия Уэлча.

Так как в жабрах наблюдали наибольшую интенсивность инвазии по сравнению с кожными покровами, они были выбраны в качестве ткани, демонстрирующей изменения, вызываемые напрямую паразитом. При малом увеличении в ткани жабр больных особей обнаруживали участки повреждения вторичных жаберных ламелл, которые образовались в результате высвобождения зрелых трофантов (рис. 3(1)).

По всей площади среза жабр были обнаружены отдельные трофанты различных размеров. Паразит мог располагаться как в промежутках между вторичными ламеллами, так и у апикальной части первичных ламелл (рис. 3(2), 3(3)). У трофантов было четко различимо ядро, а также вакуоли, содержащие остатки ткани. Вокруг паразита наблюдали ареол из лизированных клеток жабр, содержащих различные клеточные остатки (рис. 3(3)). В области инвазии паразита наблюдали существенную гиперплазию эпителиальных клеток — базального эпителия жабр. На поверхности данных участков можно было наблюдать большое число мукоидных клеток.

Изучение участков ткани без присутствия паразитов показало наличие нарушений: гиперплазию мукоидных клеток (рис. 3(5)), расширение сосудов на кончиках вторичных ламелл — телеангиэктазию (рис. 3(6)), гиперплазию эпителия и бокаловидных клеток на кончиках ламелл (рис. 3(7)), а также гипертрофию хлоридных клеток (рис. 3(8)). Данные нарушения были распространены по всей площади срезов изученных рыб.

Исследование тканей туловищной почки показало присутствие ряда существенных нарушений в структуре почечных канальцев. Около половины всех проксимальных канальцев имели признаки некроза, выраженного в пикнозе ядер кубического эпителия, вакуолизации цитоплазмы и потери границ между клетками (рис. 4(1), 4(2)). При этом большая часть дистальных канальцев сохраняла нормальную структуру.

Рис. 3. Гистология жабр радужной форели, больной ихтиофтириозом. Сокращения: ПЛ — перфорация ламелл, Тр — трофонт, Эп — эпителий, КО — клеточные остатки, Ят — ядро трофонта, Ва — вакуоли, МК — мукоидные клетки, Те — телеангиэктазия, ХК — хлоридная клетка. Шкала масштаба — 100 (1, 2) и 25 (3 — 8) мкм

Fig. 3. Histology of gills of rainbow trout with ichthyophthiriasis. Abbreviations: PL — perforation of lamellae, Tr — trophont, Ep — epithelium, CO — cellular remains, Yt — trophont nucleus, Va — vacuoles, MK — mucoid cells, Te — telangiectasia, HC — chloride cell. Scale scale — 100 (1, 2) and 25 (3 — 8) microns

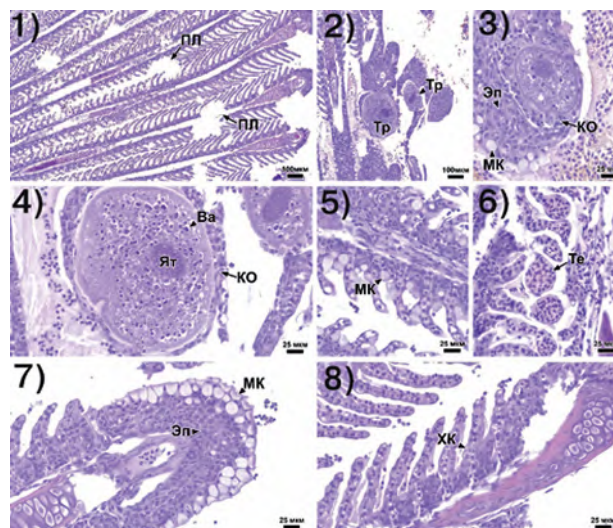
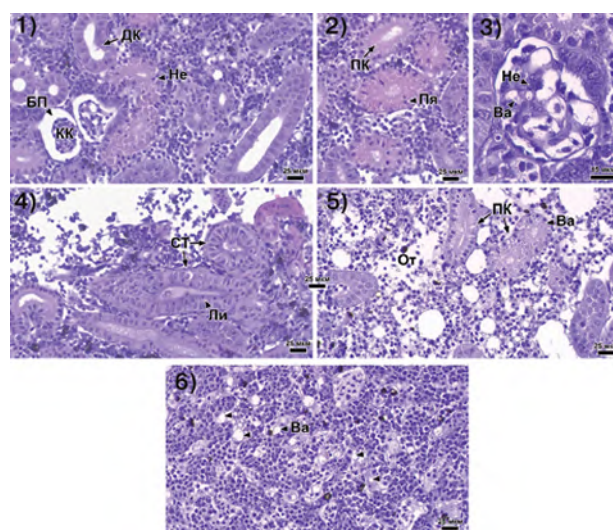


Рис. 4. Гистология почки радужной форели, больной ихтиофтириозом. Сокращения: БП — Боуменово пространство, КК — клубочек капилляров, ДК — дистальный каналец, Не — некроз, ПК — проксимальный каналец, Пя — пикнотические ядра, Ва — вакуолизация, СТ — собирательные трубочки, Ли — лимфоцит, От — отек. Шкала масштаба — 25 (1, 2, 4 — 6) и 15 (3) мкм

Fig. 4. Histology of the kidney of a rainbow trout with ichthyophthiriasis. Abbreviations: BP — Bowman's space, CC — glomerulus of capillaries, DC — distal tubule, Non — necrosis, PC — proximal tubule, P — pyknotic nuclei, Va — vacuolization, CT — collecting tubules, Li — lymphocyte, Ot — edema. Scale scale — 25 (1, 2, 4 — 6) and 15 (3) microns



Большая часть почечных телец имела признаки деградации, которые проявлялись в уменьшении площади клубочка капилляров, увеличении Боуменова пространства, а также некроза и вакуолизации мезангиальных клеток (рис. 4(1), 4(3)). Подобные патологические изменения в структуре

почечных телец наблюдали у всех исследованных рыб, зараженных иктиофтириозом.

В межклеточном пространстве эпителия собирательных трубочек было выявлено присутствие лимфоцитов (рис. 4(4)). Данное нарушение имело низкую распространенность. Нарушение циркуляции, выявленное на отдельных участках срезов, было выражено в отеке гемопоэтической ткани (рис. 4(5)). В данных участках обнаруживали как нормальные проксимальные почечные канальцы, так и канальцы с кубическим вакуолизированным эпителием. Изучение участков головной почки выявило присутствие в ткани большого числа вакуолизированных клеток (рис. 4(6)), которые, вероятнее всего, являются тканеспецифичными макрофагами. Других нарушений в структуре тканей почек выявлено не было.

Исследование гистологических срезов тканей печени показало наличие фокальных очагов вакуолизации клеток. Вакуоли имели неровную форму и приводили к смещению ядра гепатоцитов к периферии. На данных участках ткани было выявлено расширение синусоидных капилляров (рис. 5(1)). Дилатацию капилляров обнаруживали на участках ткани без признаков дистрофии (рис. 5(4)).

Были обнаружены отдельные очаги атрофии гепатоцитов печени, в которых клетки не имели четких границ цитоплазмы, ядра имели признаки полиморфизма, а количество клеток на единицу площади паренхимы было больше в сравнении с другими участками ткани (рис. 5(2)). У некоторых особей вакуолизация гепатоцитов имела менее выраженный характер: в цитоплазме гепатоцитов обнаруживали единичные округлые вакуоли (рис. 5(3)).

По всей площади среза печени встречали не крупные очаги воспаления, преимущественно расположенные вблизи капилляров и сосудов (рис. 5(4)). Более крупные участки имели выраженные пикнотические ядра и инфильтрат, включающий лимфоциты (рис. 5(5)).

Изучение срезов селезенки больных рыб показало отсутствие четкого разделения ткани органа на красную и белую пульпу. В строме органа были видны крупные сосуды и капилляры (рис. 6(2)). При большем увеличении можно было различить отдельные меланомacroфаги, имеющие характерную темно-оранжевую окраску (рис. 6(2)). Данные клетки не образовывали скоплений и встречались диффузно по всей площади срезов. Обычно в тканях селезенки радужной

форели присутствует большое количество эритроцитов на разной стадии дифференцировки. У больных особей кровенаполненность органа была существенно ниже, а видимые участки белой пульпы занимали значительно большую площадь.

На срезах органа были четко различимы трабекулы, образуемые ретикулярными клетками и соединительнотканым матриксом. Среди отклонений была выявлена существенная гипертрофия ретикулярно-эндотелиальных клеток на отдельных участках трабекул (рис. 6(3)), а также вблизи эллипсоидов (рис. 6(4)). Дополнительно рядом с

Рис. 5. Гистология печени радужной форели, больной иктиофтириозом. Сокращения: Си — синусоидный капилляр, Ва — вакуолизация, ЯГ — ядро гепатоцита, Во — воспаление, Не — некроз, Ли — лимфоцит. Шкала масштаба — 25 мкм

Fig. 5. Histology of the liver of rainbow trout with ichthyophthiriosis. Abbreviations: Si — sinusoidal capillary, Va — vacuolization, Y — hepatocyte nucleus, He — inflammation, Non — necrosis, Li — lymphocyte. Scale scale — 25 microns

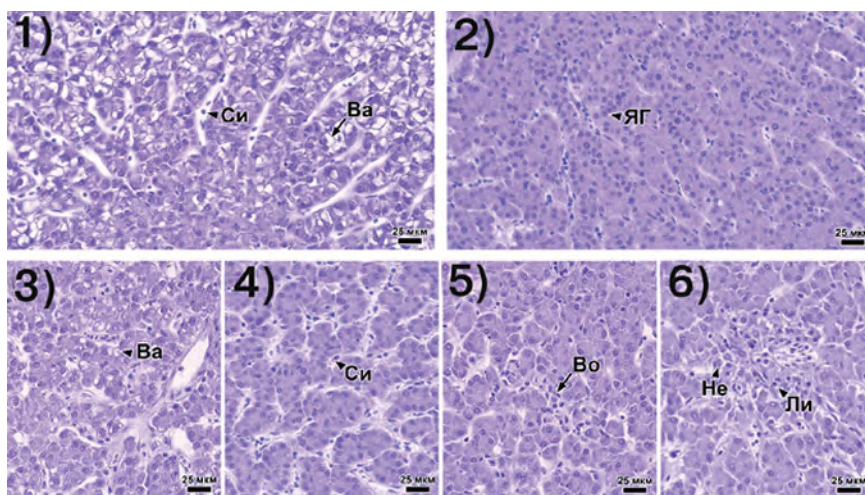
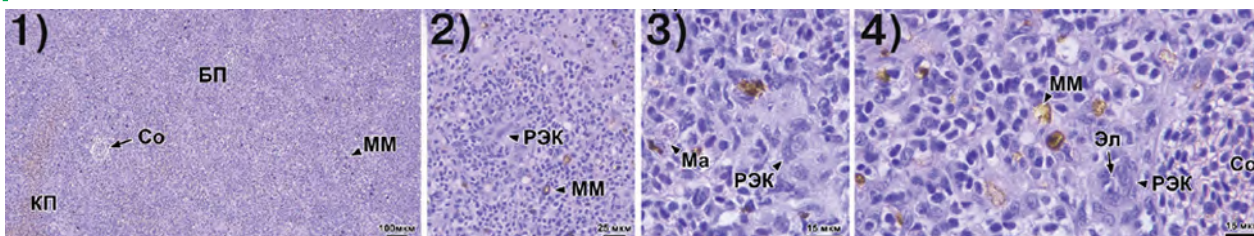


Рис. 6. Гистология селезенки радужной форели, больной иктиофтириозом. Сокращения: КП — красная пульпа, БП — белая пульпа, Со — сосуд, ММ — меланомacroфаг, РЭК — ретикулярно-эндотелиальная клетка, Ма — макрофаг, Эл — эллипсоид. Шкала масштаба — 100 (а), 25 (б), 15 (в, г) мкм

Fig. 6. Histology of the spleen of rainbow trout with ichthyophthiriosis. Abbreviations: KP — red pulp, BP — white pulp, Co — vessel, MM — melanomacrophage, REC — reticular-endothelial cell, Ma — macrophage, EI — ellipsoid. Scale scale — 100 (a), 25 (b), 15 (c, d) microns



данными зонами наблюдали наибольшее количество меланомакрофагов (рис. 6(4)).

Приступая к обсуждению полученных в ходе исследования результатов, в первую очередь необходимо отметить, что патогенез ихтиофтириоза является сложным и многофакторным процессом, оказывающим комплексное негативное воздействие на организм рыб. В рамках данного исследования была предпринята попытка выявления сопутствующих изменений в организме рыбы при спонтанном заражении ихтиофтириозом. Ранее в многочисленных литературных источниках были рассмотрены отдельные аспекты реакции организма рыбы на инвазию инфузорией [1, 11, 14, 15].

Первоначально теронт *I. multifiliis*, проникая в организм, разрушает покровные ткани рыбы и повреждает морфофункциональные элементы респираторной системы и кожи [10]. При росте трофонта данные процессы усугубляются последующим гистоллизом и повреждением прилегающих к паразиту тканей [28], при этом интенсивность инвазии увеличивается за счет созревания последующих поколений паразита. Интенсивные процессы деструкции явно превышают репаративные возможности организма, что, в частности, видно по местам перфорации в ткани жабр радужной форели. Описанные в настоящей работе гистопатологические нарушения в тканях жабр сходятся с данными, приведенными ранее для других видов рыб [15, 22–24].

В результате прогрессирования инвазии развивается ряд системных изменений, связанных с нарушениями осморегуляции и дыхания [3, 17, 18]. Это подтверждается данными, полученными в настоящем исследовании, где у больных рыб наблюдали нарушения в ткани жабр (гиперплазию базального эпителия, гипотрофию мукоидных и хлоридных клеток), а также деградацию почечного тельца (некроз, вакуолизацию). Прогрессивные нарушения в ткани жабр существенно снижают респираторную функцию органа, а нарушения в нефронах почек оказывают существенное влияние на выделительную функцию и осморегуляцию. Снижение выделительной функции почек проявлялось в увеличении концентрации мочевины в сыворотке крови.

Выявленные нарушения не всегда приводят к гибели рыб, но при высокой степени инвазии, вызванной массовым внедрением теронтов и высвобождением зрелых трофонтов, может развиться острая осморегуляторная дисфункция. Это в свою очередь способно привести к осмотическому шоку и летальному исходу [1, 29, 30]. В рамках рассматриваемого в исследовании случая подобной картины не наблюдалось ввиду низкой температуры среды и медленного развития инфузории.

Результаты микробиологического исследования печени позволяют утверждать, что относительно высокая степень интенсивности инвазии приводит к нарушению барьерной функции

слизистых оболочек, открывая ворота для условно-патогенной микрофлоры. Таким образом, можно было наблюдать неоднократно описанную картину развития бактериальной геморрагической септицемии (БГС) за счет проникновения во внутреннюю среду ослабленной рыбы наиболее потенциально агрессивных представителей водной микрофлоры. Данный биологический механизм, связанный с формированием ассоциативного протозойно-бактериального заболевания, был описан на примере выращиваемых и декоративных видов рыб [25].

В ряде исследований было описано развитие как вторичных бактериальных, так и вирусных инфекций при ихтиофтириозе [18, 26]. При этом развитие вторичной инфекции обусловлено высокой обсемененностью водной среды бассейнов выращивания, что было продемонстрировано в исследовании. Между обсемененностью воды в замкнутой аквасистеме и клиническим статусом содержащихся там рыб существует определенная взаимосвязь [19]. Инвазии и инфекции находящихся в аквасистеме рыб обуславливают более высокую бактериальную обсемененность воды, которая в свою очередь облегчает проникновение условно-патогенной микрофлоры во внутреннюю среду организма рыб.

Выявленные гистологические поражения в печени (некроз гепатоцитов и очаги воспаления), вероятнее всего, связаны с бактериальной обсемененностью внутренних органов и часто наблюдаются при БГС. Дистрофические изменения в печени, включая вакуолизацию гепатоцитов, и атрофические процессы могут быть обусловлены истощением организма и метаболическими нарушениями [11], ассоциированными с повреждением тканей и системным воспалительным ответом. Совокупность выявленных изменений в печени свидетельствует о развитии печеночной недостаточности у инвазированных рыб.

Необходимо заметить, что выявленные клинические и гистопатологические изменения у изучаемых особей радужной форели указывают на латентную стадию течения БГС, при которой характерные клинические признаки заболевания отсутствуют, однако происходят колонизация тканей возбудителем и первичная активация иммунной системы выделяемым эндотоксином.

У изученных особей радужной форели наблюдали картину в лейкоцитарной формуле, характерную для бактериальных [31, 32] и паразитарных инвазий [9, 33] с выраженной лейкопенией и нейтрофилией. В зарубежной литературе подробно описана реакция иммунной системы на внедрение *I. multifiliis* [10, 15, 28]. В частности, внедрение паразита приводит к активации как гуморального (система комплемента, ГКГС), так и клеточного иммунитета (В- и Т-лимфоциты, макрофаги, гранулоциты). При этом на начальных этапах инвазии у рыб наблюдается локальный иммунный ответ со стороны лимфоидных тканей,

ассоциированных со слизистыми, в частности кожи и жабр [15, 16, 30].

Отсутствие признаков воспаления в тканях жабр в данном исследовании можно объяснить отбором проб на позднем этапе течения болезни (12-е сутки), а также истощением рыбы и гистолизом паразитом иммунокомпетентных клеток [15]. Известно, что переболевшие ихтиофтириозом рыбы приобретают иммунитет к инфекции [1]. Выработка иммунитета подтверждается экспрессией и увеличением титра антител (преимущественно IgT и IgM) как в слизистых оболочках, так и в гемопоэтических органах [11, 34].

В настоящем исследовании были выявлены активация макрофагов и гипотрофия ретикулярно-эндотелиальных клеток в селезенке и головной почке радужной форели, что может быть опосредовано совместным развитием реакции иммунитета рыб на паразитарную инвазию и оппортунистическую инфекцию. Макрофаги в гемопоэтических органах рыб участвуют в фагоцитозе и регуляции иммунитета, выступая в качестве антигенпрезентирующих и сигнальных клеток [35].

Рост активности макрофагов может быть связан с гемолитической активностью оппортунистических бактерий и увеличением фагоцитирования поврежденных эритроцитов [36], что подтверждается отложением меланина в селезенке и уменьшением количества эритроцитов при увеличении числа незрелых форм клеток в крови. Важно заметить, что данный процесс приводит к дальнейшему прогрессированию нарушений в процессах дыхания, вызванных повреждением жабр, и, вероятно, возникновению анемии. Можно предположить, что иммунная реакция, наблюдаемая при протозойно-бактериальном заболевании (продолжительностью ориентировочно более 12 суток), могла привести к истощению функциональных резервов иммунной системы рыб. На это указывает малое развитие воспалительных процессов в печени и почках, а также отсутствие инфильтрации иммунными клетками мест прикрепления паразита.

Повреждение тканей радужной форели, индуцированное паразитом и оппортунистической инфекцией, привело к существенному изменению биохимических показателей крови, что выражалось в увеличении активности ферментов (АСТ, АЛТ, щелочной фосфатазы, ЛДГ) и росте концентрации белка в сыворотке крови. Подобные отклонения в биохимическом профиле крови отмечали ранее у рыб при действии различных поллютантов и инфекционных агентов [37, 38], в том числе ихтиофтириозе [5, 14].

Продemonстрированные гистопатологические нарушения в почечной ткани (некроз клубочка капилляров и проксимального отдела нефрона), вероятнее всего, вызваны высокой концентрацией белка и наличием токсических метаболитов в крови, которые приводят к метаболическим

нарушениям и повреждению почечных канальцев [39]. Первичное нарушение осморегуляции, индуцированное паразитическим поражением покровных тканей рыб, усиливается вторичной дисфункцией нефронов почек. Можно утверждать, что данные патофизиологические процессы носят синергетический характер, приводя к кумулятивному нарушению водно-солевого гомеостаза.

Установленные в настоящей работе клинические изменения органов, отклонения в лейкоцитарной формуле и биохимических показателях крови, а также гистопатологические нарушения в тканях показали, что ихтиофтириоз является системным заболеванием, приводящим к повреждению не только жабр и покровных тканей, но и целого ряда внутренних органов. Таким образом, исследования позволяют предположить, что основными причинами гибели радужной форели являются: (1) снижение респираторной функции жабр и гипоксия; (2) нарушение осморегуляции; (3) развитие геморрагической септицемии; (4) печеночная и почечная недостаточность и (5) прогрессирующее истощение иммунной системы.

Выводы/Conclusions

При спонтанной инвазии *I. multifiliis* у молоди радужной форели интенсивность инвазии на жабрах достигает $24 \pm 8,9$ экз / п. з. м., что сопровождается развитием вторичной бактериальной инфекции, вызванной комплексом грамотрицательных бактерий (*Enterobacter sp.* — 20%, *Acinetobacter calcoaceticus* — 20%, *Citrobacter freundii* — 60%).

Инвазия *I. multifiliis* приводит к развитию анемии у радужной форели, о чем свидетельствует снижение количества эритроцитов до $1,05 \pm 0,06 \times 10^6$ кл/мкл, а также лейкоцитозу ($3,87 \pm 0,51 \times 10^4$ кл/мкл) с выраженной нейтрофилией ($38,45 \pm 0,97\%$).

Биохимические изменения в сыворотке крови больных рыб характеризуются значительным повышением активности АСТ (до $750,9 \pm 147,7$ У/л) и АЛТ (до $39,4 \pm 6,7$ У/л), а также щелочной фосфатазы (до $467,8 \pm 72,6$ У/л) и ЛДГ (до $2557,3 \pm 245,1$ У/л), что указывает на повреждение ткани печени и почек.

Гистологические исследования выявили, что, помимо повреждений жаберного эпителия, у больных рыб наблюдали дегенерацию почечных телец (уменьшение площади клубочка, некроз мезангиальных клеток), а также некроз и вакуолизацию гепатоцитов печени, что свидетельствует о нарушении функций почек и печени.

В селезенке больных рыб обнаружены гипотрофия ретикулярно-эндотелиальных клеток и снижение кровенаполнения, при этом количество меланомакрофагов увеличено, что свидетельствует об активации иммунной системы и, возможно, истощении ее резервов на фоне сочетанного течения паразитарной инвазии и бактериальной инфекции.

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. Matthews R.A. *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet and Ichthyophthiriosis in Freshwater Teleosts. *Advances in Parasitology*. 2005; 59: 159–241. [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(05\)59003-1](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(05)59003-1)
2. Kim J.-H., Hayward C.J., Joh S.-J., Heo G.-J. Parasitic infections in live freshwater tropical fishes imported to Korea. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2002; 52(2): 169–173. <https://doi.org/10.3354/dao052169>
3. Жезмер В.Ю., Белякова Н.В., Заливака Л.В. Энтеробактерии в установках с замкнутым циклом водоснабжения. Филатов В.И. (ред.). *Индустриальные методы рыбоводства в замкнутых системах*. М.: ВНИИПРХ. 1988; 55: 84–88.
4. Li W.J., Lyu X.M., Nie P., Liu Y. Morphological, histopathological and molecular characterization of parasitic ciliate *Ichthyophthirius multifiliis* infecting an indigenous and endangered fish, *Schizothorax macropogon* (Cyprinidae: Schizothoracinae) in high plateau, Tibet, China. *Aquaculture Reports*. 2022; 25: 101192. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101192>
5. Azimzadeh K. Comparative Studies of Some Haematological and Serological Indices in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum., 1792) with Ichthyophthiriosis. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2016; 16(3): 617–627. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16_3_14
6. Heinecke R.D., Buchmann K. Inflammatory response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) larvae against *Ichthyophthirius multifiliis*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 34(2): 521–528. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.11.036>
7. Бауер О.Н., Юнчис О.Н. Новый род паразитических ресничных из тропических рыб. *Паразитология*. 2001; 35(2): 142–144.
8. Bassleer G. The new illustrated guide to fish diseases in ornamental tropical and pond fish. Westmeerbeec. 2005; 232.
9. Bassleer G. The new illustrated guide to fish diseases. Stationstraat. 2001; 232.
10. Dickerson H.W., Findly R.C. Immunity to *Ichthyophthirius* infections in fish: A synopsis. *Developmental & Comparative Immunology*. 2014; 43(2): 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2013.06.004>
11. Buchmann K. Immune response to *Ichthyophthirius multifiliis* and role of IgT. *Parasite Immunology*. 2020; 42(8): e12675. <https://doi.org/10.1111/pim.12675>
12. Пронина Г.И., Петрушин А.Б. Изменение физиолого-иммунологических показателей молоди сома обыкновенного *Silurus glanis* при поражении ихтиофтириозом. *Ветеринарная патология*. 2016; (2): 70–75. <https://elibrary.ru/yzarfd>
13. Yunus M., Wijaya A. Histopathological Changes in Gills of Wild Snakehead Murrel, *Channa striata* (Bloch, 1793) Infected with *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet, 1876 from Surabaya River. *Proceedings of the 9th International Seminar on Tropical Animal Production (ISTAP 2021)*. Atlantis Press. 2022; 269–272. <https://doi.org/10.2991/absr.k.220207.056>
14. Dickerson H.W. *Ichthyophthirius multifiliis*. Woo P.T.K., Buchmann K. (eds.). Fish parasites: pathobiology and protection. *CABI*. 2012; 55–72. <https://doi.org/10.1079/9781845938062.0055>
15. Wang Q., Yu Y., Zhang X., Xu Z. Immune responses of fish to *Ichthyophthirius multifiliis* (Ich): A model for understanding immunity against protozoan parasites. *Developmental & Comparative Immunology*. 2019; 93: 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2019.01.002>
16. Tumbol R.A., Powell M.D., Nowak B.F. Ionic Effects of Infection of *Ichthyophthirius multifiliis* in Goldfish. *Journal of Aquatic Animal Health*. 2001; 13(1): 20–26. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(2001\)013<0020:IEOIOI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(2001)013<0020:IEOIOI>2.0.CO;2)
17. Bush A.O., Lafferty K.D., Lotz J.M., Shostak A.W. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *The Journal of Parasitology*. 1997; 83(4): 575–583. <https://doi.org/10.2307/3284227>
18. Shoemaker C.A., Martins M.L., Xu D.-H., Klesius P.H. Effect of *Ichthyophthirius multifiliis* parasitism on the survival, hematology and bacterial load in channel catfish previously exposed to *Edwardsiella ictaluri*. *Parasitology Research*. 2012; 111(5): 2223–2228. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-2988-5>

REFERENCES

1. Matthews R.A. *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet and Ichthyophthiriosis in Freshwater Teleosts. *Advances in Parasitology*. 2005; 59: 159–241. [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(05\)59003-1](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(05)59003-1)
2. Kim J.-H., Hayward C.J., Joh S.-J., Heo G.-J. Parasitic infections in live freshwater tropical fishes imported to Korea. *Diseases of Aquatic Organisms*. 2002; 52(2): 169–173. <https://doi.org/10.3354/dao052169>
3. Zhezmer V.Yu., Belyakova N.V., Zalivaka L.V. Enterobacteria in recirculating aquaculture systems. Filatov V.I. (ed.). *Industrial methods of fish farming in closed systems*. Moscow: All-Union Scientific Research Institute of Freshwater Fisheries. 1988; 55: 84–88 (in Russian).
4. Li W.J., Lyu X.M., Nie P., Liu Y. Morphological, histopathological and molecular characterization of parasitic ciliate *Ichthyophthirius multifiliis* infecting an indigenous and endangered fish, *Schizothorax macropogon* (Cyprinidae: Schizothoracinae) in high plateau, Tibet, China. *Aquaculture Reports*. 2022; 25: 101192. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101192>
5. Azimzadeh K. Comparative Studies of Some Haematological and Serological Indices in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum., 1792) with Ichthyophthiriosis. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2016; 16(3): 617–627. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16_3_14
6. Heinecke R.D., Buchmann K. Inflammatory response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) larvae against *Ichthyophthirius multifiliis*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2013; 34(2): 521–528. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.11.036>
7. Bauer O.N., Yunchis O.N. A new genus of parasitic ciliata from tropical fishes. *Parazitologiya*. 2001; 35(2): 142–144 (in Russian).
8. Bassleer G. The new illustrated guide to fish diseases in ornamental tropical and pond fish. Westmeerbeec. 2005; 232.
9. Bassleer G. The new illustrated guide to fish diseases. Stationstraat. 2001; 232.
10. Dickerson H.W., Findly R.C. Immunity to *Ichthyophthirius* infections in fish: A synopsis. *Developmental & Comparative Immunology*. 2014; 43(2): 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2013.06.004>
11. Buchmann K. Immune response to *Ichthyophthirius multifiliis* and role of IgT. *Parasite Immunology*. 2020; 42(8): e12675. <https://doi.org/10.1111/pim.12675>
12. Pronina G.I., Petrushin A.B. Changing of the physiological and immunological indices of *Silurus glanis* at defeat by ichthyophthiriosis. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2016; (2): 70–75 (in Russian). <https://elibrary.ru/yzarfd>
13. Yunus M., Wijaya A. Histopathological Changes in Gills of Wild Snakehead Murrel, *Channa striata* (Bloch, 1793) Infected with *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet, 1876 from Surabaya River. *Proceedings of the 9th International Seminar on Tropical Animal Production (ISTAP 2021)*. Atlantis Press. 2022; 269–272. <https://doi.org/10.2991/absr.k.220207.056>
14. Dickerson H.W. *Ichthyophthirius multifiliis*. Woo P.T.K., Buchmann K. (eds.). Fish parasites: pathobiology and protection. *CABI*. 2012; 55–72. <https://doi.org/10.1079/9781845938062.0055>
15. Wang Q., Yu Y., Zhang X., Xu Z. Immune responses of fish to *Ichthyophthirius multifiliis* (Ich): A model for understanding immunity against protozoan parasites. *Developmental & Comparative Immunology*. 2019; 93: 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2019.01.002>
16. Tumbol R.A., Powell M.D., Nowak B. Ionic Effects of Infection of *Ichthyophthirius multifiliis* in Goldfish. *Journal of Aquatic Animal Health*. 2001; 13(1): 20–26. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(2001\)013<0020:IEOIOI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(2001)013<0020:IEOIOI>2.0.CO;2)
17. Bush A.O., Lafferty K.D., Lotz J.M., Shostak A.W. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *The Journal of Parasitology*. 1997; 83(4): 575–583. <https://doi.org/10.2307/3284227>
18. Shoemaker C.A., Martins M.L., Xu D.-H., Klesius P.H. Effect of *Ichthyophthirius multifiliis* parasitism on the survival, hematology and bacterial load in channel catfish previously exposed to *Edwardsiella ictaluri*. *Parasitology Research*. 2012; 111(5): 2223–2228. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-2988-5>

19. Юхименко Л.Н., Койдан Г.С., Бычкова Л.И., Гаврилин К.В. Этиологическая структура аэромонад и ее влияние на развитие эпизоотического процесса. *Аквакультура начала XXI века: истоки, состояние, стратегия развития. Материалы Международной научно-практической конференции.* М.: ВНИРО. 2002; 240–244.
20. Ma D.-Z. *et al.* The different pathology of *Gymnocypris przewalskii przewalskii* and *Schizopygopsis pylzovi* infected with *Ichthyophthirius multifiliis*. *Acta Hydrobiologica Sinica*. 2019; 43(5): 1081–1091 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.7541/2019.127>
21. Ventura M.T., Paperna I. Histopathology of *Ichthyophthirium multifiliis* infections in fishes. *Journal of Fish Biology*. 1985; 27(2): 185–203. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1985.tb04020.x>
22. Peyghan R., Rezaie A., Hassani F., Abyavi T. Histopathological study of gill and fish treatment in *Ichthyophthiriasis* of white skirt tetra (*Gymnocypris ternetzi*). *Iranian Veterinary Journal*. 2021; 17(1): 106–110. <https://doi.org/10.22055/I.VJ.2020.237783.2279>
23. Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Гаврилин К.В., Калита Т.Л., Никифоров-Никишин А.Л. Гистопатологические изменения в разных органах при микобактериозе рыб на примере тест-объектов — гуппи (*Poecilia reticulata*) и японской медаки (*Oryzias latipes*). *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2024; 18(7): 489–503. <https://doi.org/10.33920/sel-09-2407-05>
24. Никифоров-Никишин Д.Л., Гаврилин К.В., Кочетков Н.И., Головачева Н.А. Разработка экспериментальной модели аэромоноза рыб с использованием тест-объекта *Danio rerio*. *Вестник Керченского государственного морского технологического университета*. 2024; (2): 42–51. <https://elibrary.ru/khntut>
25. Гаврилин К.В., Мамыкина Г.А. Опыт лечения суперинфекции меченосцев. *Аквариум*. 2009; (5): 36–38.
26. Abu-Elala N.M., Attia M.M., Abd-El salam R.M., Gamal A., Younis N.A. Peracetic acid treatment of *Ichthyophthirius multifiliis* (Ciliophora: Ichthyophthiriidae) and *Trichodina spp.* reduces the infection by *Aeromonas hydrophila* and improves survival in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 2021; 538: 736591. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736591>
27. Blaxhall P.C., Daisley K.W. Routine haematological methods for use with fish blood. *Journal of Fish Biology*. 1973; 5(6): 771–781. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1973.tb04510.x>
28. von Gersdorff Jørgensen L. The fish parasite *Ichthyophthirius multifiliis* — Host immunology, vaccines and novel treatments. *Fish & Shellfish Immunology*. 2017; 67: 586–595. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.044>
29. Klein S., Feiden A., Boscolo W.R., Reidel A., Signor A., Signor A.A. Utilização de produtos químicos no controle de *Ichthyophthirius multifiliis*, Fouquet (1876) em alevinos de surubim do Iguaçu *Steindachneridion sp.*, Garavello (1991). *Semina: Ciências Agrárias*. 2004; 25(1): 51–58.
30. von Gersdorff Jørgensen L. The dynamics of neutrophils in zebrafish (*Danio rerio*) during infection with the parasite *Ichthyophthirius multifiliis*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2016; 55: 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.05.026>
31. Xu D.-H., Shoemaker C.A., Klesius P.H. *Ichthyophthirius multifiliis* as a potential vector of *Edwardsiella ictaluri* in channel catfish. *FEMS Microbiology Letters*. 2012; 329(2): 160–167. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2012.02518.x>
32. Tort L. Stress and immune modulation in fish. *Developmental & Comparative Immunology*. 2011; 35(12): 1366–1375. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.07.002>
33. Микряков Д.В., Пронина Г.И., Суворова Т.А., Петрушин А.Б. Некоторые показатели гуморального и клеточного иммунитета молоди сома обыкновенного, переболевшего иктиофтириозом. *Труды ВНИРО*. 2019; 175: 104–111. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2019-175-104-111>
34. von Gersdorff Jørgensen L., Heinecke R.D., Skjød K., Rasmussen K.J., Buchmann K. Experimental evidence for direct *in situ* binding of IgM and IgT to early trophonts of *Ichthyophthirius multifiliis* (Fouquet) in the gills of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Diseases*. 2011; 34(10): 749–755. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01291.x>
35. Mokhtar D.M., Zacccone G., Alesci A., Kuciel M., Hussein M.T., Sayed R.K. Main Components of Fish Immunity: An Overview of the Fish Immune System. *Fishes*. 2023; 8(2): 93. <https://doi.org/10.3390/fishes8020093>
36. Романова Н.Н., Мышкин А.В., Щелкунова Ю.П., Токарева С.Б., Сехина О.В., Кудинов П.В. Оценка эффективности применения комплекса антибактериальных препаратов для лечения бактериальной геморрагической септицемии у рыб. *Труды ВНИРО*. 2023; 194: 165–175. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-194-165-175>
19. Yukhimenko L.N., Koydan G.S., Bychkova L.I., Gavrilin K.V. Etiologic structure of aeromonads and its influence on development of epizootic process. *Aquaculture at the Beginning of the XXI Century: Origins, State, Development Strategy. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference.* Moscow: Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography. 2002; 240–244 (in Russian).
20. Ma D.-Z. *et al.* The different pathology of *Gymnocypris przewalskii przewalskii* and *Schizopygopsis pylzovi* infected with *Ichthyophthirius multifiliis*. *Acta Hydrobiologica Sinica*. 2019; 43(5): 1081–1091 (in Chinese). <https://doi.org/10.7541/2019.127>
21. Ventura M.T., Paperna I. Histopathologic changes in different organs during mycobacteriosis in guppy (*Poecilia reticulata*) and Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Fish breeding and fisheries*. 2024; 18(7): 489–503 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-09-2407-05>
24. Nikiforov-Nikishin D.L., Gavrilin K.V., Kochetkov N.I., Golovacheva N.A. Development of an experimental model of fish aeromonosis using *Danio rerio* test object. *Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2024; (2): 42–51 (in Russian). <https://elibrary.ru/khntut>
25. Gavrilin K.V., Mamykina G.A. Experience in the treatment of swordtail superinfection. *Akvarium*. 2009; (5): 36–38 (in Russian).
26. Abu-Elala N.M., Attia M.M., Abd-El salam R.M., Gamal A., Younis N.A. Peracetic acid treatment of *Ichthyophthirius multifiliis* (Ciliophora: Ichthyophthiriidae) and *Trichodina spp.* reduces the infection by *Aeromonas hydrophila* and improves survival in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 2021; 538: 736591. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736591>
27. Blaxhall P.C., Daisley K.W. Routine haematological methods for use with fish blood. *Journal of Fish Biology*. 1973; 5(6): 771–781. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1973.tb04510.x>
28. von Gersdorff Jørgensen L. The fish parasite *Ichthyophthirius multifiliis* — Host immunology, vaccines and novel treatments. *Fish & Shellfish Immunology*. 2017; 67: 586–595. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.06.044>
29. Klein S., Feiden A., Boscolo W.R., Reidel A., Signor A., Signor A.A. Chemical products for *Ichthyophthirius multifiliis*, Fouquet (1876) control in surubim do Iguaçu *Steindachneridion sp.*, Garavello (1991) Fingerlings. *Semina: Ciências Agrárias*. 2004; 25(1): 51–58 (in Portuguese).
30. von Gersdorff Jørgensen L. The dynamics of neutrophils in zebrafish (*Danio rerio*) during infection with the parasite *Ichthyophthirius multifiliis*. *Fish & Shellfish Immunology*. 2016; 55: 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.05.026>
31. Xu D.-H., Shoemaker C.A., Klesius P.H. *Ichthyophthirius multifiliis* as a potential vector of *Edwardsiella ictaluri* in channel catfish. *FEMS Microbiology Letters*. 2012; 329(2): 160–167. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2012.02518.x>
32. Tort L. Stress and immune modulation in fish. *Developmental & Comparative Immunology*. 2011; 35(12): 1366–1375. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2011.07.002>
33. Mikryakov D.V., Pronina G.I., Suvorova T.A., Petrushin A.B. Some indicators of humoral and cellular immunity of young catfish, who had ichthyophthiriasis. *Trudy VNIRO*. 2019; 175: 104–111 (in Russian). <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2019-175-104-111>
34. von Gersdorff Jørgensen L., Heinecke R.D., Skjød K., Rasmussen K.J., Buchmann K. Experimental evidence for direct *in situ* binding of IgM and IgT to early trophonts of *Ichthyophthirius multifiliis* (Fouquet) in the gills of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Journal of Fish Diseases*. 2011; 34(10): 749–755. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01291.x>
35. Mokhtar D.M., Zacccone G., Alesci A., Kuciel M., Hussein M.T., Sayed R.K. Main Components of Fish Immunity: An Overview of the Fish Immune System. *Fishes*. 2023; 8(2): 93. <https://doi.org/10.3390/fishes8020093>
36. Romanova N.N., Myshkin A.V., Shchelkunova Yu.P., Tokareva S.B., Sekhina O.V., Kudinov P.V. Evaluation of the effectiveness of the use of a complex of antibacterial drugs for the treatment of bacterial hemorrhagic septicemia in fish. *Trudy VNIRO*. 2023; 194: 165–175 (in Russian). <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-194-165-175>

37. Nørregaard R.D. *et al.* Element concentrations, histology and serum biochemistry of arctic char (*Salvelinus alpinus*) and shorthorn sculpins (*Myoxocephalus scorpius*) in northwest Greenland. *Environmental Research*. 2022; 208: 112742.
https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112742

38. Al-Otaibi A.M., Al-Balawi H.F.A., Ahmad Z., Suliman E.M. Toxicity bioassay and sub-lethal effects of diazinon on blood profile and histology of liver, gills and kidney of catfish, *Clarias gariepinus*. *Brazilian Journal of Biology*. 2019; 79(2): 326–336.
https://doi.org/10.1590/1519-6984.185408

39. Yancheva V., Velcheva I., Stoyanova S., Georgieva E. Histological biomarkers in fish as a tool in ecological risk assessment and monitoring programs: a review. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2016; 14(1): 47–75.
https://doi.org/10.15666/aer/1401_047075

ОБ АВТОРАХ

Дмитрий Львович Никифоров-Никишин¹

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
niknikdl@rambler.ru.

https://orcid.org/0000-0002-1715-057X

Никита Ильич Кочетков¹

кандидат биологических наук, младший научный сотрудник
samatrixs@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-2196-5421

Светлана Валерьевна Смородинская¹

кандидат технических наук, заведующая лабораторией
kler.smo@gmail.com

https://orcid.org/0000-0001-6490-0954

Кирилл Владимирович Гаврилин²

доктор биологических наук, директор по развитию проектов в области биотехнологии и аквакультуры
k.gavrilin@yandex.ru

https://orcid.org/0000-0004-1856-1047

Виктория Марсовна Гаффарова¹

заведующая лабораторией
gaff-vik@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-2226-4421

¹Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского (Первый казачий университет),
Земляной Вал, 73, Москва, 109004, Россия

²Национальный фонд экологической защиты и развития
Крайнего Севера и приравненных к ним местностей
«Якутия»,
ул. Октябрьская, 18, Якутск, 677027, Россия

37. Nørregaard R.D. *et al.* Element concentrations, histology and serum biochemistry of arctic char (*Salvelinus alpinus*) and shorthorn sculpins (*Myoxocephalus scorpius*) in northwest Greenland. *Environmental Research*. 2022; 208: 112742.
https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112742

38. Al-Otaibi A.M., Al-Balawi H.F.A., Ahmad Z., Suliman E.M. Toxicity bioassay and sub-lethal effects of diazinon on blood profile and histology of liver, gills and kidney of catfish, *Clarias gariepinus*. *Brazilian Journal of Biology*. 2019; 79(2): 326–336.
https://doi.org/10.1590/1519-6984.185408

39. Yancheva V., Velcheva I., Stoyanova S., Georgieva E. Histological biomarkers in fish as a tool in ecological risk assessment and monitoring programs: a review. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2016; 14(1): 47–75.
https://doi.org/10.15666/aer/1401_047075

ABOUT THE AUTHORS

Dmitry Lvovich Nikiforov-Nikishin¹

Candidate of Biology Sciences, Leading Researcher
niknikdl@rambler.ru

https://orcid.org/0000-0002-1715-057X

Nikita Ilyich Kochetkov¹

Candidate of Biology Sciences, Junior Researcher
samatrixs@gmail.com

https://orcid.org/0000-0002-2196-5421

Svetlana Valeryevna Smorodinskaya¹

Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory
kler.smo@gmail.com

https://orcid.org/0000-0001-6490-0954

Kirill Vladimirovich Gavrilin²

Doctor of Biology Sciences, Director
for Biotechnology and Aquaculture Project Development
k.gavrilin@yandex.ru

https://orcid.org/0000-0004-1856-1047

Victoria Marsovna Gaffarova¹

Head of Laboratory
gaff-vik@mail.ru

https://orcid.org/0000-0002-2226-4421

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

²National Fund for Environmental Protection
and Development of the Far North and Similar Territories
“Yakutia”,
18 Oktyabrskaya Str., Yakutsk, 677027, Russia



Подпишитесь на Telegram канал
ИД «Аграрная наука»



Еженедельно вы будете получать
свежие новости АПК
и сельского хозяйства,
анонсы отраслевых событий,
знакомьтесь с результатами
научных исследований,
репортажами и интервью.



Оформите подписку на информационные
e-mail рассылки



Дважды в неделю на ваш e-mail ящик
будут приходить уведомления
о топовых событиях АПК,
аналитика, прогнозы,
приглашения на выставки
и конференции.

Через наши рассылки вы можете познакомиться
со своими товарами и услугами
потенциальных клиентов.

Связаться с редакцией:
Тел. +7 (495) 777 67 67
(доб. 1453)
agrovetpress@inbox.ru

УДК 636.084:636.084.4

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-60-66

В.В. Гречкина^{1,3}

Е.В. Шейда^{1,2}

О.В. Кван^{1,2} ✉

Л.Ю. Топурия³

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

²Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

³Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

✉ kwan111@yandex.ru

Поступила в редакцию: 28.01.2025

Одобрена после рецензирования: 08.05.2025

Принята к публикации: 22.05.2025

© Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В., Топурия Л.Ю.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-60-66

Viktoria V. Grechkina^{1,3}

Elena V. Sheida^{1,2}

Olga V. Kvan^{1,2} ✉

Larisa Yu. Topuria³

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

²Orenburg State University, Orenburg, Russia

³Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

✉ kwan111@yandex.ru

Received by the editorial office: 28.01.2025

Accepted in revised: 08.05.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

© Grechkina V.V., Sheida E.V., Kvan O.V., Topuria L.Yu.

Влияние фермента липазы на метаболизм в рубце и усвояемость питательных веществ в организме бычков 14–15-месячного возраста

РЕЗЮМЕ

Липаза является ферментом, который отвечает за расщепление жиров на глицерин и свободные жирные кислоты. Эти продукты потом всасываются в желудочно-кишечном тракте животного и участвуют в образовании специфических веществ жирового состава для каждого вида, которые затем используются организмом как источник энергии или откладываются в подлежащих тканях и внутренних органах.

Цель исследования — изучить влияние экзофермента липазы в дозировках 25 г/т и 50 г/т на метаболизм в рубце и усвояемость питательных веществ в организме жвачных.

Объекты исследований — рубцовая жидкость (РЖ), полученная от бычков казахской белоловой породы средней массой 310–320 кг в возрасте 14–15 месяцев (4 гол. в каждой группе). Экзоферментный препарат: I опытная группа — липаза 25 г/т; II опытная группа — липаза 50 г/т.

При увеличении концентрации липазы в кормах повышается значительно уровень общего азота в рубцовом содержимом, во II опытной группе этот показатель составил 99,42 ммоль/л, что выше на 24,55% относительно I опытной группы и на 50,60% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем. Переваримость сухого вещества в I опытной группе была выше на 6,09% ($p \leq 0,05$), сырого протеина — на 5,22%, сырой клетчатки — на 6,10% ($p \leq 0,05$), а также уровню усвоения эссенциальных и макроэлементов относительно контрольной группы. Таким образом, липаза является мощным стимулятором пищеварения для животных. Это может сказываться на росте и развитии бычков и снижать стоимость кормов, так как эффективность использования жира, содержащегося в основном сырье рациона, значительно повышается.

Ключевые слова: экзоферменты, кормление, метаболизм рубца, летучие жирные кислоты, метаболиты азота, липаза, коэффициенты переваримости, элементный обмен

Для цитирования: Гречкина В.В., Шейда Е.В., Кван О.В., Топурия Л.Ю. Влияние фермента липазы на метаболизм в рубце и усвояемость питательных веществ в организме бычков 14–15-месячного возраста. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 60–66.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-60-66>

The effect of the lipase enzyme on rumen metabolism and nutrient absorption in bull calves aged 14–15 months

ABSTRACT

Lipase is an enzyme that is responsible for the breakdown of fats into glycerol and free fatty acids. These products are then absorbed into the gastrointestinal tract of the animal and are involved in the formation of specific fat compositions for each species, which are then used by the body as an energy source or deposited in the underlying tissues and internal organs.

The aim of the study was to study the effect of lipase exoenzyme in dosages of 25 g/t and 50 g/t on rumen metabolism and nutrient absorption in ruminants.

The objects of research are cicatricial fluid (RJ) obtained from Kazakh white-headed bull calves with an average weight of 310–320 kg at the age of 14–15 months (4 heads in each group). Exoenzyme preparation: experimental group I — lipase 25 g/t; experimental group II — lipase 50 g/t.

With an increase in the concentration of lipase in feed, the level of total nitrogen in the rumen content increases significantly, in the II experimental group this indicator was 99.42 mmol/l, which is 24.55% higher than in the I experimental group and 50.60% ($p < 0.05$) higher than in the control. The digestibility of dry matter in the first experimental group was higher by 6.09% ($p < 0.05$), crude protein — by 5.22%, crude fiber — by 6.10% ($p < 0.05$), as well as the level of assimilation of essential and macronutrients relative to the control group. Thus, lipase is a powerful digestive stimulant for animals. This can affect the growth and development of calves and reduce the cost of feed, as the efficiency of using fat, which is contained in the main raw materials of the diet, increases significantly.

Keywords: exoenzymes, feeding, rumen metabolism, volatile fatty acids, nitrogen metabolites, lipase, digestibility coefficients, elemental metabolism

For citation: Grechkina V.V., Sheida E.V., Kvan O.V., Topuria L.Yu. The effect of the lipase enzyme on rumen metabolism and nutrient absorption in bull calves aged 14–15 months. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 60–66 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-60-66>

Введение/Introduction

Формирование рационов питания зависит от специфических особенностей производственной цепочки в животноводстве и местных условий. Многогранный характер этих переменных постоянно ставит перед экспертами сложные задачи, направленные на снижение затрат и повышение рентабельности производства. Обычно решения достигаются путем изменения кормовых рационов, что требует постоянной адаптации рубцового пищеварения крупного рогатого скота к каждому нововведению [1].

В области разработки экзогенных ферментов для использования в животноводстве на сегодняшний день достигнуты значительные успехи. Внедрение ферментов в рационы питания может принести множество преимуществ, включая улучшение переваривания корма и увеличение продуктивности животных [2]. Более того, это может способствовать снижению выбросов парниковых газов. Ферменты способствуют эффективному усвоению питательных веществ, что приводит к заметному снижению объема метана, производимого животными. Эти белковые катализаторы помогают в ходе определенных химических реакций в желудочно-кишечном тракте, эффективно расщепляя сложные питательные вещества на легкоусвояемые элементы [3].

Переваривание жиров представляет собой процесс, в ходе которого жиры гидролизуются до глицерина и жирных кислот благодаря действию липаз — ферментов, вырабатываемых в желудке, тонком кишечнике, печени и поджелудочной железе. В желудке образуется небольшое количество липаз, которые способны расщеплять жиры, содержащие короткоцепочечные жирные кислоты [4]. Липаза расщепляет жиры, жирные кислоты и жирорастворимые витамины A, D, E, K, превращая их в энергию [5].

В то же время организм молодого животного не всегда способен в полной мере усваивать этот важный питательный элемент. Это объясняется недостатком эндогенных желчных кислот и ферментов, таких как липаза, которые вырабатывает организм. Для решения данной проблемы часто в рацион добавляют разнообразные эмульгаторы, среди которых лецитин занимает особое место [6]. Он помогает разбивать жировые капли на крайне мелкие частицы, что в свою очередь значительно увеличивает их поверхность взаимодействия с липазами. Липаза в свою очередь является ферментом, который отвечает за расщепление жиров на глицерин и свободные жирные кислоты. Эти продукты потом всасываются в желудочно-кишечном тракте животного и участвуют в образовании специфического жирового состава для каждого вида, которые затем используются организмом как источник энергии или откладываются в подлежащих тканях и внутренних органах [7].

Изначально предполагалось, что экзогенные ферменты меняют усвояемость корма у жвачных, воздействуя на корм до его употребления либо улучшая рубцовое и (или) послерубцовое переваривание. Воздействие экзогенных ферментов на корм может заключаться как в выделении растворимых углеводов, так и в комплексном действии — устранении структурных барьеров, которые ограничивают микробальное расщепление в рубце [8].

В самом рубце экзогенные ферменты могут воздействовать непосредственно на корм или косвенным образом стимулировать пищеварительную деятельность, действуя совместно с микроорганизмами рубца. Кроме того, они могут усиливать активность ферментов в помете, что способствует более быстрому разложению отходов. В конечном итоге цель использования любых ферментов — улучшить усвояемость корма у жвачных и снизить количество отходов, но механизм действия экзогенных ферментов в организмах жвачных однозначно сложен и еще недостаточно изучен [9].

В последнее время возрастают интерес и актуальность темы использования экзогенной кормовой липазы, которая способствует повышению эффективности усвоения жиров, содержащихся в корме, как у животных, так и у птиц. Это позволяет значительно улучшить экономические результаты за счет снижения расхода масла в рационе [10]. Высокий уровень фермента может означать, что у животного панкреатит, воспаление поджелудочной железы или другой тип заболевания поджелудочной железы [11, 12].

Цель исследования — изучить влияние экзофермента липазы в дозировках 25 г/т и 50 г/т на метаболизм в рубце и усвояемость питательных веществ в организме жвачных.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили с 2023 по 2024 г. 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» (г. Оренбург, Россия). Объект исследования — рубцовая жидкость (РЖ), полученная от бычков казахской белоголовой породы средней массой 310–320 кг в возрасте 14–15 месяцев (4 гол. в каждой группе).

Липаза (*Lipase*) — сухой ферментный препарат, полученный в результате культивирования секционированного штамма гриба *Aspergillus Niger*. Ферментная активность — 2 млн ед/г (производитель «Биопрепарат», г. Воронеж, Россия).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования осуществляли 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 образцов¹.

Отбор проб содержимого рубца производили спустя 12 часов после кормления через хроническую фистулу рубца (ANKOM, d = 80 мм) резиновым шлангом длиной 200 см и наружным диаметром 40 мм в термос объемом 3 л. Транспортировку осуществляли в термосах в течение 30 минут.

Исследования *in vivo* были проведены на бычках казахской белоголовой породы. Животные контрольной и опытных групп находились на основном сбалансированном рационе по рекомендациям А.П. Калашникова². В рацион бычкам опытной группы вносили липазу: I опытная — 25 г/т, II опытная — 50 г/т. Дозировка в эксперименте была выбрана на основании ранее полученных данных *in vitro*, где испытывался спектр дозировок липазы: 5, 10, 25 и 50 г/т. Лучшие результаты показали 25 г/т и 50 г/т.

Лабораторные исследования рубцовой жидкости проводили в ЦКП ФНЦ биологических систем и агротехнологий Российской академии наук. Уровень летучих жирных кислот (ЛЖК) в содержимом рубца определяли методом газовой хроматографии на хроматографе газовом «Кристаллюкс-4000М» (СКБ «Хроматек», Россия), определение форм азота — по ГОСТ 26180-84³. Переваримость определяли с помощью «искусственного рубца» KPL 01 и термостата электрического суховоздушного ТС-1/80 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия). Коэффициент переваримости сухого вещества *in vitro* вычисляли как разницу масс образца корма с мешочком до и после инкубации по следующей формуле²:

$$K = \frac{A - B}{C} \times 100\%,$$

где: K — коэффициент переваримости сухого вещества корма, %; A — исходная масса 1 (образец корма с мешочком), мг; B — масса после инкубации (образец корма с мешочком), мг; C — исходная масса 2 (образец корма без массы мешочка), мг.

Определение форм азота — по ГОСТ 26889-86⁵. Массовую долю сухого вещества определяли по ГОСТ 31640⁶, сырого протеина — по ГОСТ 13496.4⁷, сырого жира — по ГОСТ 13496.15⁸, сырой клетчатки — по ГОСТ 31675⁹, сырой золы — по ГОСТ 26226¹⁰.

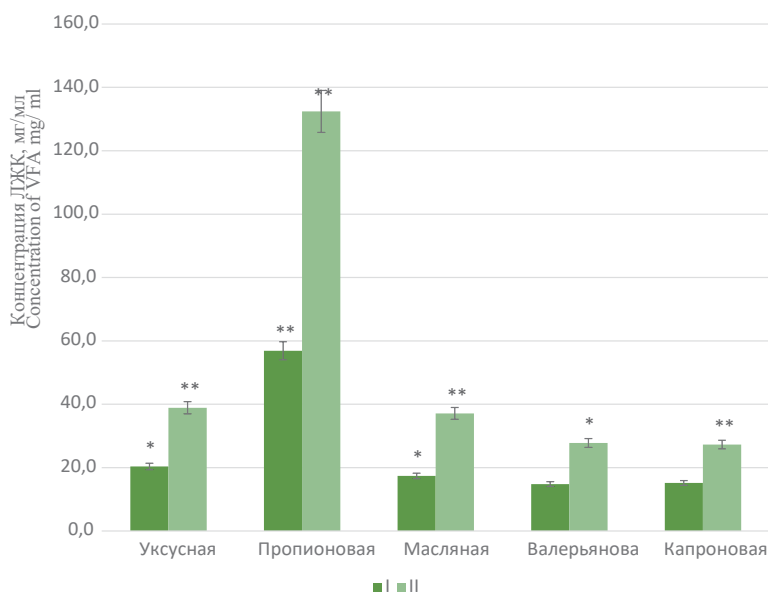
Оценку содержания элементов в рубцовой жидкости определяли на масс-спектрометре Elan 9000 (Perkin Elmer, США) и на атомно-эмиссионном спектрометре Optima 2000V (Perkin Elmer, США). Для озоления использовали микроволновую систему разложения Multiwave 3000 (Anton Paar, Австрия).

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

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Было установлено (рис. 1), что во II опытной группе животных из ЛЖК преобладала пропионовая кислота — ее концентрация была выше на 57,03% ($p \leq 0,01$). Уксусная кислота на 38,87%

Рис. 1. Концентрация ЛЖК в рубцовом содержимом относительно контроля, %
Fig. 2. The concentration of LVH in the scar content relative to the control, %



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

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

² Калашников А.П., Фисинин В.И., Щеглова В.В., Клейменова Н.И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие. 3-е изд., доп. и перераб. Москва. 2003; 456.

³ ГОСТ 26180-84 Корма. Методы определения аммиачного азота и активной кислотности (рН).

⁴ ГОСТ 24230-80 Корма растительные. Метод определения переваримости *in vitro*.

⁵ ГОСТ 26889-86 Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кельдаль.

⁶ ГОСТ 31640-2012 Межгосударственный стандарт корма. Методы определения содержания сухого вещества.

⁷ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

⁸ ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

⁹ ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

¹⁰ ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы.

($p \leq 0,05$) выше относительно контрольной группы. Масляная, валерьяновая и капроновая кислоты изменялись незначительно в опытных группах.

Основной функцией липазы в животноводстве является обеспечение энергией путем окисления. Энергия, которую она содержит, в 2,25 раза больше, чем у углеводов, что может удовлетворить потребности животных в более высокой концентрации энергии [13].

При увеличении концентрации липазы в кормах значительно повышается уровень общего азота в рубцовом содержимом, во II опытной группе этот показатель составил 99,42 ммоль/л, что выше на 24,55% относительно I опытной группы и на 50,60% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем (табл. 1).

Коэффициент переваримости питательных компонентов рациона был значительно выше в I опытной группе животных (табл. 2). Переваримость сухого вещества была выше на 6,09% ($p \leq 0,05$), сырого протеина — на 5,22%, сырой клетчатки — на 6,10% ($p \leq 0,05$) относительно контрольной группы. Во II опытной группе эти показатели были ниже по сравнению с другими исследуемыми группами, что может говорить о негативном влиянии высокой дозы липазы на организм.

Экзогенные ферменты могут оказывать различное воздействие как на микрофлору ЖКТ, так и на общее состояние жвачных животных [14, 15]. Следовательно, существует высокая вероятность, что физиологические реакции организма на действие экзогенных ферментов зависят от многих факторов [16].

Результаты по содержанию химических элементов в химусе рубца бычков представлены в таблице 3. Было установлено, что во II опытной группе бычков происходило накопление токсичных элементов в несколько раз больше по сравнению с контрольной группой и I опытной. Уровень *Pb* увеличивался на 43,90%, *As* — на 55,91%, *Cd* — на 24,32%, *Ni* — на 24,78% ($p \leq 0,05$).

Экзогенные ферменты могут оказывать различное воздействие как на микрофлору ЖКТ, так и на общее состояние жвачных животных [17]. Следовательно, существует высокая вероятность, что физиологические реакции организма на действие экзогенных ферментов зависят от многих факторов. Липазы являются ферментами, которые классически используются для того, чтобы провести гидролиз триацилглицеридов, сопровождающийся образованием свободных жирных кислот [18] (рис. 2).

Таблица 1. Концентрация общего и небелкового азота в рубцовом содержимом, ммоль/л

Table 1. Concentration of total and non-protein nitrogen in the scar content, mmol/l

Наименование показателей формы азота	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
Общий	49,12 ± 6,81	75,04 ± 7,54	99,42 ± 7,65*
Небелковый	8,41 ± 1,23	13,53 ± 2,03	15,42 ± 2,18
Белковый	40,72 ± 4,87	61,54 ± 4,07	84,06 ± 3,87
Аммиачный	0,001 ± 0,002	0,001 ± 0,002	0,004 ± 0,002
Мочевинный	3,41 ± 0,55	3,82 ± 0,53	6,04 ± 0,49

Примечание: * $p \leq 0,05$ по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 2. Коэффициенты переваримости питательных компонентов рациона при использовании фермента липазы, %

Table 2. Coefficients of digestibility of nutritional components of the diet when using the lipase enzyme, %

Наименование показателей	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
Сухое вещество	64,08 ± 1,12	69,05 ± 1,14*	68,07 ± 1,21
Сырой жир	73,41 ± 2,11	76,82 ± 1,99	79,42 ± 1,87*
Сырой протеин	56,31 ± 1,32	59,44 ± 1,11*	58,62 ± 1,24
Сырая клетчатка	50,83 ± 1,99	54,15 ± 1,87	52,73 ± 1,65
Сырая зола	72,41 ± 2,02	72,32 ± 1,98	69,94 ± 2,23

Примечание: * $p \leq 0,05$ по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 3. Содержание химических элементов в химусе рубца бычков при использовании в рационе фермента липазы, мг/кг

Table 3. The content of chemical elements in the chyme of the rumen of gobies when using the lipase enzyme in the diet, mg/kg

Элемент	Допустимые диапазоны элементов	Группа		
		контрольная	I опытная	II опытная
Li	1,24–2,08	1,95 ± 0,07	1,52 ± 0,10	1,64 ± 0,10
Be	0,0015–0,0055	0,0045 ± 0,0011	0,0020 ± 0,0015	0,0020 ± 0,003
B	25–56	31,93 ± 1,15	33,76 ± 1,59	34,90 ± 1,22
Na	4000–7000	6154,00 ± 258,00	5962,00 ± 274,00	6906,00 ± 352,00
Mg	400–1100	539,00 ± 23,00	679,00 ± 29,00*	579,00 ± 28,00
Al	140–200	158,86 ± 6,67	165,33 ± 7,94	170,23 ± 27,37
P	1500–3500	2328,00 ± 88,00	2978,00 ± 140,00	3313,00 ± 139,00
K	2000–5000	3666,00 ± 165,00	4058,00 ± 174,00	4088,00 ± 192,00
Ca	1500–3000	2467,00 ± 104,00	2106,00 ± 84,00	2632,00 ± 105,00*
Mn	40–60	58,95 ± 2,42	54,08 ± 2,54*	51,65 ± 2,38
Co	0,10–0,50	0,20 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,34 ± 0,02*
Ni	1,0–3,0	1,73 ± 0,07	1,43 ± 0,06	2,30 ± 0,09*
Cu	1,0–5,0	2,84 ± 0,14	3,44 ± 0,18	3,27 ± 0,17
Se	0,05–0,35	0,14 ± 0,01	0,09 ± 0,05*	0,19 ± 0,04
Br	1,10–1,90	1,34 ± 0,21	1,61 ± 0,13	1,51 ± 0,17
Sr	10,50–30,00	14,75 ± 0,66	13,75 ± 0,67	19,01 ± 0,91*
Mo	5–10	7,46 ± 0,33	7,85 ± 0,35	7,39 ± 0,27
Cd	0,005–0,050	0,028 ± 0,002	0,030 ± 0,004	0,037 ± 0,002*
Sn	0,010–0,050	0,026 ± 0,001	0,020 ± 0,001	0,035 ± 0,001
Sb	0,005–0,030	0,009 ± 0,001	0,012 ± 0,001	0,019 ± 0,001*
I	0,20–0,300	0,27 ± 0,02	0,243 ± 0,011*	0,267 ± 0,018
Ba	20–70	36,89 ± 1,66	47,66 ± 2,00	54,67 ± 2,19*
Hg	0,05–0,030	0,013 ± 0,001	0,016 ± 0,001	0,011 ± 0,001
Pb	0,15–0,50	0,23 ± 0,01	0,25 ± 0,012	0,11 ± 0,017*
Bi	0,010–0,090	0,085 ± 0,0006	0,010 ± 0,001*	0,015 ± 0,001
Cr	1,50–10,0	3,23 ± 0,10	1,77 ± 0,08	4,10 ± 0,14*
Fe	100–500	133,22 ± 4,13	160,04 ± 4,80	477,71 ± 15,29*
Zn	5–50	18,29 ± 0,73	20,25 ± 0,85	19,01 ± 0,74
As	0,05–0,0100	0,097 ± 0,004	0,012 ± 0,002*	0,022 ± 0,001

Усвоение Fe в опытных группах составила 100%, Ba — 99,8% относительно животных контрольной группы. Животные I опытной группы по усвояемости эссенциальных и макроэлементов в организме превосходили II опытную группу по таким элементам, как Zn (3,32%), Cr (6,01%), K (11,42%), Na (33,74%), Li (60,73%), Se (2,36%), на фоне снижения Cu (33,96%), Mo (15,43%), Ni (18,81%), Mn (7,56%) ($p \leq 0,05$).

В Оренбургской области проводили исследования на наличие тяжелых металлов в организме животных из разных районов. Оценивали концентрацию кадмия, свинца, меди и цинка в мышечной ткани и внутренних органах крупного рогатого скота. Обнаружено превышение Pb, Cd, Cu в мышцах, печени, сердце и почках крупного рогатого скота. Это объяснялось наличием в данной зоне Урала медных рудных месторождений, что отражалось на повышенном накоплении тяжелых металлов в организме животных [19]. В хозяйствах, находящихся вблизи от металлургических предприятий, телята вместе с молозивом получали Ni в 15,8 раза больше, Fe — в 32 раза, Pb — в 17,8 раза в сравнении с ПДК, что приводило к токсикозам и падежу телят [20].

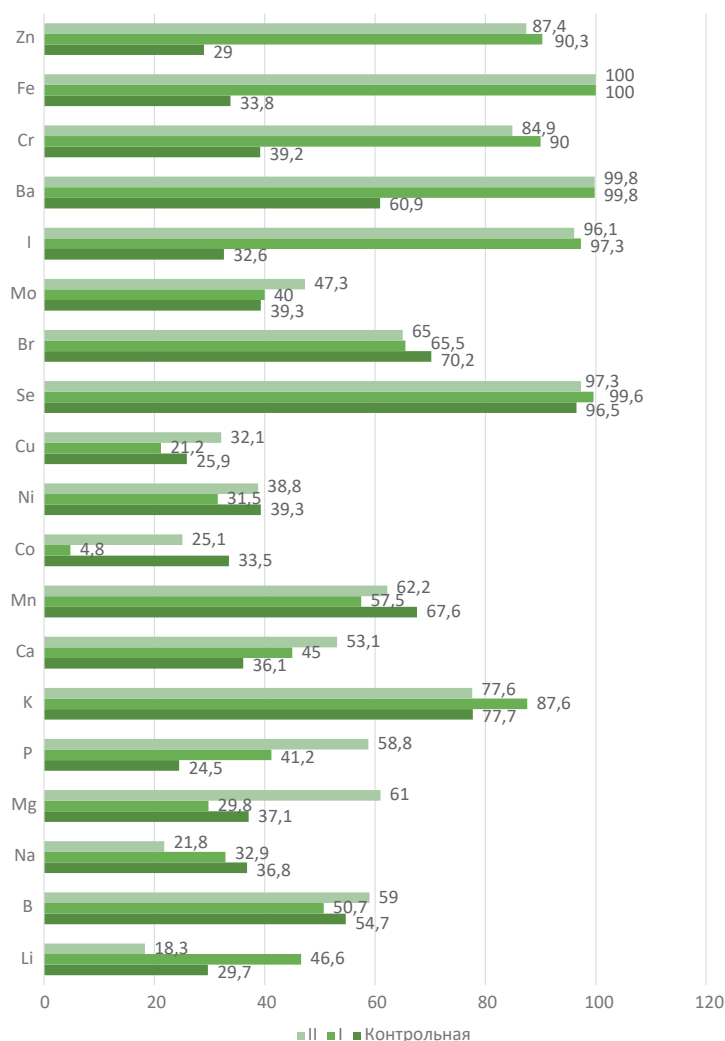
Таким образом, липаза участвует в процессе усвоения жиров, который связан с общими процессами метаболизма, где важную роль играют минеральные вещества. Это свидетельствует о том, что использование липазы обеспечивает снижение токсичных веществ на неблагоприятных экологических территориях, улучшение и ускорение пищеварительного процесса в организме животных, а также повышение интенсивности их роста [21].

Выводы/Conclusions

Результаты исследования показали, что при использовании липазы в дозировках 25 г/т и 50 г/т происходят изменения в метаболизме рубца и усвояемости питательных веществ животных. У бычков II опытной группы отмечен высокий

Рис. 2. Усвояемость эссенциальных и макроэлементов в организме опытных бычков, %

Fig. 2. The digestibility of essential and macronutrients in the body of experienced bulls, %



уровень летучих жирных кислот и метаболитов азота. Животные I опытной группы имели значительно выше показатели по переваримости питательных компонентов рациона, а также по уровню усвоения эссенциальных и макроэлементов.

Таким образом, липаза является мощным стимулятором пищеварения для животных. Это может сказаться на росте и развитии бычков и снижать стоимость кормов, так как эффективность использования жира, содержащегося в основном сырье рациона, значительно повышается.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00061.

FUNDING

The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 23-16-00061.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Dai Z. *et al.* Fermentation techniques in feed production. Bazer F.W., Lamb G.C., Wu G. (eds.). Animal Agriculture. Sustainability, Challenges and Innovations. *Academic Press*. 2020; 407–429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00024-0>
2. Bajpai P. Lignocellulosic Biomass in Biotechnology. *Elsevier*. 2021; xvi: 232. ISBN 978-0-12-821889-1 <https://doi.org/10.1016/C2019-0-04439-1>
3. Silva L.G. *et al.* Effects of flaxseed and chia seed on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and long-chain fatty acid flow in a dual-flow continuous culture system. *Journal of Animal Science*. 2016; 94(4): 1600–1609. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9750>
4. Wang C., Shi C., Zhang Y., Song D., Lu Z., Wang Y. Microbiota in fermented feed and swine gut. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2018; 102(7): 2941–2948. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8829-4>
5. Gündel S.d.S. *et al.* Nanoemulsions containing *Cymbopogon flexuosus* essential oil: Development, characterization, stability study and evaluation of antimicrobial and antibiofilm activities. *Microbial Pathogenesis*. 2018; 118: 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.03.043>
6. Liang J. *et al.* Promising biological conversion of lignocellulosic biomass to renewable energy with rumen microorganisms: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 134: 110335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110335>
7. Nagler M., Kozjek K., Etemadi M., Insam H., Podmirseg S.M. Simple yet effective: Microbial and biotechnological benefits of rumen liquid addition to lignocellulose-degrading biogas plants. *Journal of Biotechnology*. 2019; 300: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.004>
8. Chi C.-H., Cho S.-J. Improvement of bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus amyloliquefaciens* versus *Lactobacillus spp.* and *Saccharomyces cerevisiae*. *LWT – Food Science and Technology*. 2016; 68: 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.002>
9. Heath R.D., Cockerell C., Mankoo R., Ibdah J.A., Tahan V. Fecal microbiota transplantation and its potential therapeutic uses in gastro-intestinal disorders. *Northern Clinics of Istanbul*. 2018; 5(1): 79–88. <https://doi.org/10.14744/nci.2017.10692>
10. Kiesz M.E. Efektywność stosowania fermentowanej poekstrakcyjnej śruty sojowej lub (i) rzepakowej w żywieniu loch i warchlaków. Autoreferat pracy doktorskiej. Lublin. 2019; 28.
11. Ran T., Goma W.M.S., Shen Y.Z., Saleem A.M., Yang W.Z., McAllister T.A. Use of naturally sourced feed additives (lactobacillus fermentation products and enzymes) in growing and finishing steers: Effects on performance, carcass characteristics and blood metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2019; 254: 114190. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.05.013>
12. Nguyen L.N. *et al.* Application of rumen and anaerobic sludge microbes for bio harvesting from lignocellulosic biomass. *Chemosphere*. 2019; 228: 702–708. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.159>
13. Azlan P.M., Jahromi M.F., Ariff M.O., Ebrahimi M., Candyne S.C.L., Liang J.B. *Aspergillus terreus* treated rice straw suppresses methane production and enhances feed digestibility in goats. *Tropical Animal Health and Production*. 2018; 50(3): 565–571. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1470-x>
14. Шейда Е.В., Дускаев Г.К., Мирошников С.А., Мирошников И.С., Проскурин Д.А., Овечкин М.В. Проектирование и эксплуатация биореактора для переработки отходов растениеводства. *Животноводство и кормопроизводство*. 2023; 106(3): 179–189. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-179>
15. Allin K.H. *et al.* Aberrant intestinal microbiota in individuals with prediabetes. *Diabetologia*. 2018; 61(4): 810–820. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4550-1>
16. Meijnikman A.S., Gerdes V.E., Nieuwdorp M., Herrema H. Evaluating Causality of Gut Microbiota in Obesity and Diabetes in Humans. *Endocrine Reviews*. 2018; 39(2): 133–153. <https://doi.org/10.1210/er.2017-00192>
17. Liu B. *et al.* Response of Gut Microbiota to Dietary Fiber and Metabolic Interaction With SCFAs in Piglets. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2344. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02344>
18. Стурова Ю.Г., Гришкова А.В. Исследование активности pregastric липаз. *Ползуновский вестник*. 2019; (4): 29–33. <https://elibrary.ru/zvmnlt>
19. Сальникова Е.В., Мирошников А.М., Осипова Е.А., Кудакеев И.Р., Жоров Д.С., Кустова А.С. Тяжелые металлы в цепи «корм — животное — человек» на примере Оренбургской области. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2013; (6): 10–12. <https://elibrary.ru/raqosj>

REFERENCES

1. Dai Z. *et al.* Fermentation techniques in feed production. Bazer F.W., Lamb G.C., Wu G. (eds.). Animal Agriculture. Sustainability, Challenges and Innovations. *Academic Press*. 2020; 407–429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00024-0>
2. Bajpai P. Lignocellulosic Biomass in Biotechnology. *Elsevier*. 2021; xvi: 232. ISBN 978-0-12-821889-1 <https://doi.org/10.1016/C2019-0-04439-1>
3. Silva L.G. *et al.* Effects of flaxseed and chia seed on ruminal fermentation, nutrient digestibility, and long-chain fatty acid flow in a dual-flow continuous culture system. *Journal of Animal Science*. 2016; 94(4): 1600–1609. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9750>
4. Wang C., Shi C., Zhang Y., Song D., Lu Z., Wang Y. Microbiota in fermented feed and swine gut. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2018; 102(7): 2941–2948. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8829-4>
5. Gündel S.d.S. *et al.* Nanoemulsions containing *Cymbopogon flexuosus* essential oil: Development, characterization, stability study and evaluation of antimicrobial and antibiofilm activities. *Microbial Pathogenesis*. 2018; 118: 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.03.043>
6. Liang J. *et al.* Promising biological conversion of lignocellulosic biomass to renewable energy with rumen microorganisms: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020; 134: 110335. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110335>
7. Nagler M., Kozjek K., Etemadi M., Insam H., Podmirseg S.M. Simple yet effective: Microbial and biotechnological benefits of rumen liquid addition to lignocellulose-degrading biogas plants. *Journal of Biotechnology*. 2019; 300: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.05.004>
8. Chi C.-H., Cho S.-J. Improvement of bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus amyloliquefaciens* versus *Lactobacillus spp.* and *Saccharomyces cerevisiae*. *LWT – Food Science and Technology*. 2016; 68: 619–625. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.002>
9. Heath R.D., Cockerell C., Mankoo R., Ibdah J.A., Tahan V. Fecal microbiota transplantation and its potential therapeutic uses in gastro-intestinal disorders. *Northern Clinics of Istanbul*. 2018; 5(1): 79–88. <https://doi.org/10.14744/nci.2017.10692>
10. Kiesz M.E. The effectiveness of fermented soybean meal and (or) rapeseed meal in sows and weaners feeding. Summary of PhD thesis. Lublin. 2019; 28 (in Polish).
11. Ran T., Goma W.M.S., Shen Y.Z., Saleem A.M., Yang W.Z., McAllister T.A. Use of naturally sourced feed additives (lactobacillus fermentation products and enzymes) in growing and finishing steers: Effects on performance, carcass characteristics and blood metabolites. *Animal Feed Science and Technology*. 2019; 254: 114190. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.05.013>
12. Nguyen L.N. *et al.* Application of rumen and anaerobic sludge microbes for bio harvesting from lignocellulosic biomass. *Chemosphere*. 2019; 228: 702–708. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.159>
13. Azlan P.M., Jahromi M.F., Ariff M.O., Ebrahimi M., Candyne S.C.L., Liang J.B. *Aspergillus terreus* treated rice straw suppresses methane production and enhances feed digestibility in goats. *Tropical Animal Health and Production*. 2018; 50(3): 565–571. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1470-x>
14. Sheida E.V., Duskaev G.K., Miroshnikov S.A., Miroshnikov I.S., Proskurin D.A., Ovechkin M.V. Design and operation of a bioreactor for processing plant waste. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023; 106(3): 179–189 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-179>
15. Allin K.H. *et al.* Aberrant intestinal microbiota in individuals with prediabetes. *Diabetologia*. 2018; 61(4): 810–820. <https://doi.org/10.1007/s00125-018-4550-1>
16. Meijnikman A.S., Gerdes V.E., Nieuwdorp M., Herrema H. Evaluating Causality of Gut Microbiota in Obesity and Diabetes in Humans. *Endocrine Reviews*. 2018; 39(2): 133–153. <https://doi.org/10.1210/er.2017-00192>
17. Liu B. *et al.* Response of Gut Microbiota to Dietary Fiber and Metabolic Interaction With SCFAs in Piglets. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 2344. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02344>
18. Štúrova Yu.G., Grishkova A.V. Study of activity of pregastric lipases. *Polzunovskiy vestnik*. 2019; (4): 29–33 (in Russian). <https://elibrary.ru/zvmnlt>
19. Salnikova E.V., Miroshnikov A.M., Osipova E.A., Kudakaev I.R., Zhorov D.S., Kustova A.S. Heavy metals in chains “animal — feed — man” in case of Orenburg region. *Vestnik of the Orenburg state university*. 2013; (6): 10–12 (in Russian). <https://elibrary.ru/raqosj>

20. Дускаев Г.К., Мирошников С.А., Сизова Е.А., Лебедев С.В., Нотова С.В. Влияние тяжелых металлов на организм животных и окружающую среду обитания (обзор). *Вестник мясного скотоводства*. 2014; (3): 7–10. <https://elibrary.ru/ssyijr>

21. Щербинин С. Экзогенная липаза для удешевления кормов. *Животноводство России*. 2022; (10): 52–53. <https://elibrary.ru/gvmgak>

ОБ АВТОРАХ

Виктория Владимировна Гречкина^{1,2}

кандидат биологических наук
Viktoria1985too@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

Елена Владимировна Шейда^{1,3}

кандидат биологических наук
elena-shejjda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Ольга Вилориевна Кван^{1,3}

кандидат биологических наук
kwan111@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Лариса Юрьевна Топурия³

доктор биологических наук, профессор
golaso@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7881-2602>

¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия

²Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

³Оренбургский государственный университет, пр-т Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

20. Duskayev G.K., Miroshnikov S.A., Sizova E.A., Lebedev S.V., Notova S.V. The influence of heavy metals on the organism of animals and the environment (review). *Herald of beef cattle breeding*. 2014; (3): 7–10 (in Russian). <https://elibrary.ru/ssyijr>

21. Shcherbinin S. Exogenous lipase for forage cost reduction. *Animal Husbandry of Russia*. 2022; (10): 52–53 (in Russian). <https://elibrary.ru/gvmgak>

ABOUT THE AUTHORS

Viktoria Vladimirovna Grechkina^{1,2}

Candidate of Biological Sciences
Viktoria1985too@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Elena Vladimirovna Sheida^{1,3}

Candidate of Biological Sciences
elena-snejda@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Olga Vilorievna Kvan^{1,3}

Candidate of Biological Sciences
kwan111@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Larisa Yurievna Topuria³

Doctor of Biological Sciences, Professor
golaso@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7881-2602>

¹Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 January 9th Str., Orenburg, 460000, Russia

²Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev Str., Orenburg, 460014, Russia

³Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

ПРОДУКТЫ

ИННОВАЦИИ

УСЛУГИ

ЛОГИСТИКА

МЕЖДУНАРОДНАЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ B2B
ВЫСТАВКА

**GLOBAL FRESH
MARKET:
VEGETABLES
& FRUITS**



11-13 НОЯБРЯ 2025

Гостиный Двор, Москва

Контакты



+7 (495) 481-29-19



business@gfmexpo.com



www.gfmexpo.com

РЕКЛАМА

Соорганизатор

национальный
ПЛОДООВОЩНОЙ СОЮЗ

При поддержке



**Global Fresh
MARKET**

Полный цикл производства «от поля до прилавка» на единой площадке

Прямой диалог с ключевыми игроками рынка

Обширная деловая программа с участием экспертов мирового уровня:

110+

приглашенных
спикеров

30

отраслевых мероприятий
по овощеводству и садоводству

Конкурс студенческих работ для молодых специалистов в АПК



Реклама

УДК 636.237.21.082

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-67-72

А.С. Горелик¹ ✉О.В. Горелик²М.Б. Ребезов^{1,3}С.Ю. Харлап²¹ Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия³ Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

✉ temae077ex@mail.ru

Поступила в редакцию: 03.01.2025

Одобрена после рецензирования: 08.05.2025

Принята к публикации: 22.05.2025

© Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-67-72

Artyom S. Gorelik¹ ✉Olga V. Gorelik²Maksim B. Rebezov^{1,3}Svetlana Yu. Kharlap²¹ Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Response of the Russian Federation, Yekaterinburg, Russia² Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia³ Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ temae077ex@mail.ru

Received by the editorial office: 03.01.2025

Accepted in revised: 08.05.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

© Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu.

Анализ причин выбраковки коров голштинской породы в зависимости от генетических факторов

РЕЗЮМЕ

Актуальность. При разведении молочного скота голштинской породы практики животноводства наряду с положительными качествами животных сталкиваются с проблемами снижения воспроизводительной функции у коров, сокращением продолжительности продуктивного периода.

Цель работы — анализ причин выбраковки коров молочного стада по первой лактации в зависимости от генетических факторов (генотип по каппа-казеину, принадлежность к линии и быку-производителю).

Методы. Исследования проведены в условиях типичного сельскохозяйственного предприятия по производству молока — племенного репродуктора по разведению голштинской породы крупного рогатого скота. Материалом и данными для сравнения служили база ИАС «СЕЛЭКС — Молочный скот», результаты собственных исследований, ветеринарная документация, акты выбраковки.

Результаты. В результате проведенных исследований установлено, что наибольшее количество коров выбракованы в связи с болезнями пищеварительной системы. Чаще всего это нарушение обмена веществ, и в одном случае — тимпания рубца. На втором месте оказались болезни вымени — мастит. Заболевания конечностей и травмы конечностей с растяжением и разрывом связок установлены у 24% выбракованных животных, занимая, соответственно, 12,7% и 11,3% выбраковки. По селекционным признакам выбракованы 15,5%. Это малопродуктивные первотелки с удоjem менее 8500 кг за лактацию. В большей мере наблюдается выбраковка в группе коров с гетерогенным генотипом по каппа-казеину АВ. Таких первотелок оказалось 34,5% от всего поголовья, и среди них выбраковка составила 27,6%. В то же время самым устойчивым генотипом явился гомозиготный генотип ВВ. В группе коров линии Рефлекшн Соверинга 198998 основными причинами выбраковки оказались болезни вымени, пищеварения и низкая продуктивность, а в группе коров линии Бэк Айдиала 1013415 — болезни пищеварения, вымени, которые занимают 50% от всех причин.

Исследование является поисковым и выполнено в рамках научных исследований Уральского государственного аграрного университета. Государственная регистрация № ААА-А-19-1191014000069.

Ключевые слова: голштинская порода, коровы-первотелки, выбраковка, причины, наследственные факторы

Для цитирования: Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Анализ причин выбраковки коров голштинской породы в зависимости от генетических факторов. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 67–72.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-67-72>

Analysis of the reasons for culling Holstein cows depending on genetic factors

ABSTRACT

Relevance. When breeding dairy cattle of the Holstein breed, animal husbandry practices, along with the positive qualities of animals, face problems with reducing the reproductive function of cows and shortening the duration of the productive period.

The purpose of the work is to analyze the reasons for culling dairy cows after the first lactation, depending on genetic factors (kappa casein genotype, lineage and breeding bull).

Methods. The research was conducted in the conditions of a typical agricultural enterprise for the production of milk — a breeding reproducer for the breeding of Holstein cattle. The material and data for comparison were the SELEX Dairy Cattle IAC database, the results of its own research, veterinary documentation, and culling certificates.

Results. As a result of the conducted research, it was found that the largest number of cows were eliminated due to diseases of the digestive system, and most often this is a metabolic disorder and in one case, scarring. Udder diseases, mastitis, came in second place. Limb diseases and limb injuries with sprains and ruptured ligaments were found in 24% of the culled animals, accounting for 12.7% and 11.3% of the cull, respectively. According to breeding criteria, 15.5% were culled. These are unproductive first-time heifers with a milk yield of less than 8,500 kg per lactation. Culling is mostly observed in the group of cows with a heterogeneous kappa-casein AB genotype. 34.5% of the total livestock turned out to be such first heifers, and among them the cull was 27.6%. At the same time, the most stable genotype was the homozygous BB genotype. In the group of cows of the Reflection Sovering 198998 line, the main causes of culling were udder, digestive diseases and low productivity, and in the group of cows of the Ideal 1013415 line, digestive and udder diseases, which account for 50% of all causes.

The research is exploratory and was carried out within the framework of scientific research at the Ural State Agrarian University. State registration No. ААААА-А19-1191014000069.

Key words: Holstein breed, first-time cows, culling, causes, hereditary factors

For citation: Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Analysis of the causes of culling of Holstein cows depending on genetic factors. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 67–72 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-67-72>

Введение/Introduction

Увеличение производства продукции животноводства — один из факторов успешного решения задач, стоящих перед работниками агропромышленного комплекса страны по выполнению целей, указанных в Стратегических направлениях развития Российской Федерации и в Направлениях развития сельского хозяйства до 2030 года. Важнейшей задачей является обеспечение населения страны полноценными качественными продуктами питания собственного производства в полном объеме [1–3].

Один из таких продуктов — молоко, в котором содержатся все необходимые для нормального роста и развития молодого организма и жизнедеятельности человека любого возраста и состояния здоровья питательные вещества в необходимом для этого соотношении. Для получения молока используют крупный рогатый скот молочного и комбинированного направления продуктивности, основное маточное поголовье которого в настоящее время относится к голштинской породе [4–8].

При их разведении практики животноводства наряду с положительными качествами животных по продуктивным качествам — высоким генетическим потенциалом молочной продуктивности и хорошей пригодностью к промышленному производству молока — сталкиваются с проблемами снижения воспроизводительной функции у коров, сокращением продолжительности продуктивного периода, что в свою очередь повышает значимость получения и выращивания ремонтного молодняка, проведения профилактических мероприятий по повышению жизнеспособности организма с целью повышения продуктивного долголетия [9–18].

Продление периода продуктивного долголетия молочных коров имеет важное значение не только для увеличения объемов скотоводческой продукции, но и для снижения затрат и трудозатрат на восстановление стада. Даже при снижении их продуктивности высокоценные племенные коровы должны продолжать использоваться в хозяйстве, пока они способны приносить потомство хорошего качества.

Таким образом, расширение продуктивного срока жизни коров становится одной из ключевых задач множества селекционеров [14, 19–22].

Важное внимание при этом необходимо уделять анализу причин выбраковки коров и их взаимосвязи с генетическими и фенотипическими факторами, влияющими на продуктивность животных, а в данном случае в том числе и на выбраковку коров и ее причины.

Цель работы — анализ причин выбраковки коров молочного стада по первой лактации в зависимости от генетических факторов (генотип по каппа-казеину, принадлежность к линии и быку-производителю).

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проведены в условиях типичного сельскохозяйственного предприятия по производству молока — племенного репродуктора по разведению голштинской породы крупного рогатого скота.

Материалом и данными для сравнения служили база ИАС «СЕЛЭКС — Молочный скот»¹ (Россия), результаты собственных исследований.

Причины выбраковки устанавливали по ветеринарной документации и актам выбраковки. Распределение их проводили с учетом генетических факторов — генотипа, линии и быка-производителя. Группы признаков выбраковки по ответственности заболевания той или иной системы жизнедеятельности: патология репродуктивной системы, молочной железы, дыхательной системы, пищеварительной системы, обмена веществ; травмы и хирургические заболевания и селекционные критерии.

Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 года № 2010/63/ЕС о защите животных, используемых для научных целей², и принципов обращения с животными согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ³.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Причин выбраковки коров большое количество, их можно рассматривать по группам и отдельно по каждой из них в разрезе генотипа, линии и быка-производителя.

Группы признаков выбраковки часто соответствуют заболеваниям той или иной системы жизнедеятельности и селекционным критериям. Внутри каждой группы выделяют отдельные причины, по которым проводят выбраковку. Не все группы и отдельные имеющиеся причины обязательно встречаются в каждом молочном стаде.

В данном случае из 284 голов, введенных в стадо первотелок, после первой лактации выбраковали 25% животных. Был проведен анализ причин выбраковки как в целом по поголовью коров стада первой лактации, в разрезе генотипа по каппа-казеину, линейной принадлежности и быка-производителя.

¹ <https://plinor.ru/selexdairycattle>

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

³ Федеральный закон от 27.12.2018 № 498-ФЗ (ред. от 24.07.2023) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Для общей оценки уровня выбраковки, то есть сохранности коров-первотелок, были проанализированы общие показатели и причины выбраковки. На рисунке 1 представлены данные о причинах выбраковки коров первой лактации.

Из данных, представленных на диаграмме, можно сделать следующие выводы: наибольшее количество коров выбыли в связи с болезнями пищеварительной системы, чаще всего это нарушение обмена веществ и в одном случае — тимпания рубца. На втором месте оказались болезни вымени — мастит; заболевания конечностей и травмы конечностей с растяжением и разрывом связок установлены у 24% выбракованных животных, занимая, соответственно, 12,7% и 11,3% выбраковки; по селекционным признакам выбракованы 15,5%. Это малопродуктивные первотелки с удоем менее 8500 кг за лактацию.

Первоначально были проведены оценка влияния генотипа по каппа-казеину на заболеваемость коров-первотелок и причины выбытия их из стада, а также исследования коров-первотелок по отношению к каппа-генотипу.

Установлено, что соотношение коров в группах по генотипу каппа-казеина существенно отличается. Больше всего коров-первотелок имели гомозиготный генотип AA. Всего на наличие генотипа по каппа-казеину были обследованы 284 головы первотелок, принадлежащих к двум генеалогическим линиям, и 10 быков-производителей (по 5 в каждой линии).

В результате анализа данных (рис. 2) можно сделать вывод, что в большей мере наблюдается выбраковка в группе коров с гетерогенным генотипом по каппа-казеину АВ. Таких животных среди оцененных по этому показателю первотелок оказалось 34,5% от всего поголовья, выбраковка составила 27,6%.

В то же время самым устойчивым явился гомозиготный генотип ВВ.

Среди обследованных коров с таким генотипом оказалось всего лишь 16 голов, или 4,2%, и только 2 (12,5%) выбыли из стада: одна по причине низкой продуктивности, а вторая в связи с нарушением обмена веществ. Коров с генотипом по каппа-казеину АА оказалось больше всего (61,3%) при выбраковке из этой группы 21,4% первотелок.

В хозяйстве разводится голштинская порода крупного рогатого скота двух генеалогических линий — Вис Бэк Айдиала 1013415 и Рефлекшн Соверинга 198998. Причины выбраковки и количество выбракованных животных по группам различались, что в какой-то мере позволяет сделать вывод о влиянии линейной принадлежности на проявление определенных заболеваний. Было установлено, что из общего количества первотелок линии Рефлекшн Соверинга 198998 выбракованы 32,1% коров, линии Вис Бэк Айдиала 1013415 — 22,2% (рис. 3).

На рисунке 3 хорошо видно, что в группе коров линии Рефлекшн Соверинга 198998 основными

Рис. 1. Структура причин выбраковки коров-первотелок, %
Fig. 1. The structure of reasons for culling first-calf heifers, %



Рис. 2. Соотношение первотелок по генотипу каппа-казеина и выбраковке в зависимости от каппа-казеина
Fig. 2. The ratio of first-calf heifers by kappa-casein genotype and culling depending on kappa-casein

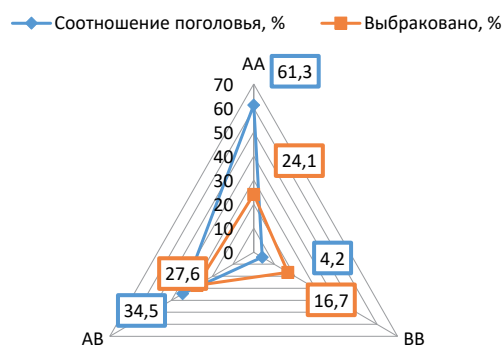
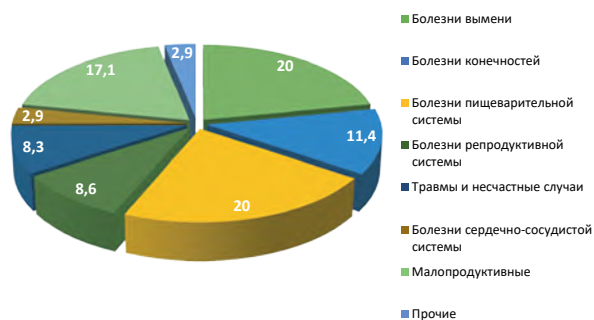
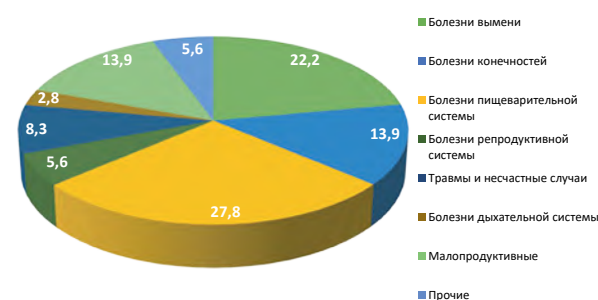


Рис. 3. Структура причин выбраковки первотелок в зависимости от линейной принадлежности, %
Fig. 3. The structure of reasons for culling first-calf heifers depending on linear affiliation, %



А) Линия Рефлекшн Соверинга 198998
A) Line Reflection Sovering 198998



Б) Линия Вис Бэк Айдиала 1013415
B) Line Vis Back Idiala 1013415

причинами выбраковки оказались болезни вымени, пищеварения и низкая продуктивность, а в группе коров линии Бэк Айдиала 1013415 — болезни пищеварения, вымени, которые занимают 50% от всех причин. На 3-м и 4-м местах находятся травмы и несчастные случаи и низкая продуктивность с одинаковой встречаемостью (13,9%).

Анализ выбраковки первотелок в разрезе принадлежности к тому или иному быку-производителю показал, что происхождение, а именно отношение к быку-производителю, оказывает влияние на выбраковку (рис. 4).

Из данных диаграммы (рис. 4) видно, что в каждой генеалогической линии голштинского скота использовались потомки 5 быков-производителей.

Анализируя выбраковку коров-первотелок дочерей того или иного быка-производителя из общего количества введенных в стадо потомков, оказалось, что они различаются между собой. Так, среди животных линии Вис Бэк Айдиала 1013415 было выбраковано большее количество

первотелок из групп дочерей быков Сильвер и Лан — 37,1% и 37,5% соответственно. В группе быков-производителей, принадлежащих линии Рефлексн Соверинга 198998, большее количество выбраковки было среди дочерей быков Дженкинс, Дансер и Тим с процентом выбраковки среди их потомков, соответственно, 50,0, 41,7 и 33,3.

Исходя из результатов анализа, следует, что нужно большее внимание уделить увеличению потомства быков Де-Су, Хоризона, Алтадонни, Фоник, выбраковка дочерей которых составляет от 13,1 до 22,2%.

Выводы/Conclusions

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать общий вывод о том, что генетические факторы оказывают значительное влияние на заболеваемость коров и их последующую выбраковку из стада.

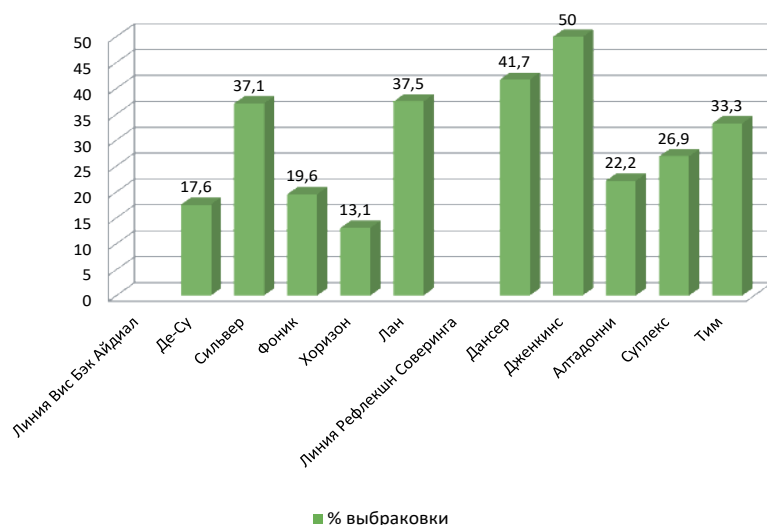
Прослеживается четкая зависимость между генотипом животных по каппа-казеину и их устойчивостью к болезням.

Представители разных генетических линий могут иметь предрасположенность к определенным заболеваниям, что отражается на продолжительности их продуктивного использования.

Ключевым фактором является бык-производитель, поскольку его генетический потенциал напрямую передается потомству. Полученные данные подчеркивают важность учета генетических параметров при селекции молочного скота. Оптимизация племенной работы с учетом генотипа по каппа-казеину, линейных особенностей и подбора производителей может способствовать снижению заболеваемости и повышению продуктивного долголетия коров.

Рис. 4. Выбраковка коров в зависимости от принадлежности к быку-производителю, %

Fig. 4. Cow culling depending on affiliation with the sire, %



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 (государственная регистрация № АААА-А1191014000069-19).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обливанцов В.В. Продуктивные и селекционно-генетические особенности голштинского черно-пестрого скота Крыма. Повышение производства продукции животноводства на современном этапе. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию кафедры частного животноводства. Витебск: Витебская ордена «Знак Почёта» государственная академия ветеринарной медицины. 2022; 45–48. <https://elibrary.ru/vfcllg>

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 at the Ural State Agrarian University (state registration No. ААААА-А19-1191014000069).

REFERENCES

1. Oblivantsov V.V. Productive and selection-genetic features of Holstein Black-and-White cattle of Crimea. *Increasing the production of livestock products at the present stage. Collection of scientific papers based on the materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 95th anniversary of the Department of Private Livestock Breeding*. Vitebsk: Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine. 2022; 45–48 (in Russian). <https://elibrary.ru/vfcllg>

2. Строев В.В., Магомедов М.Д., Алексеичева Е.Ю. Повышение производства и потребления молочных продуктов в России и продовольственная безопасность. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2023; 13(6–1): 368–380. <https://elibrary.ru/fkuhwk>
3. Сафронов С.Л., Костомашин Н.М., Соловьева О.И., Остроухова В.И., Кульмакова Н.И. Молочная продуктивность и долголетие коров в условиях промышленной технологии производства молока. *Селекционные и технологические аспекты интенсификации производства продуктов животноводства. По материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 150-летию со дня рождения академика М.Ф. Иванова. М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева*. 2022; 1: 223–227. <https://www.elibrary.ru/drjgjh>
4. Ражина Е.В., Лоретц О.Г. Влияние генетического потенциала на молочную продуктивность голштинизированного черно-пестрого скота. *От импортозамещения к экспортному потенциалу: научное обеспечение инновационного развития животноводства и биотехнологий. Сборник материалов Международной научно-практической конференции*. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2021; 213–214. <https://www.elibrary.ru/yfpfow>
5. Калашникова Д.О., Чалова Н.А. Влияние производителей и их линейной принадлежности на продуктивные качества потомства. *Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы. Материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием*. Кемерово: Кузбасский государственный аграрный университет. 2023; 115–120. <https://elibrary.ru/owaopw>
6. Соловьева О.И., Крестянинова Е.И., Халикова Т.Ю. Продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы разного происхождения. *Главный зоотехник*. 2020; (12): 24–33. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2012-03>
7. Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю., Шакиров Ш.К. Совместимость молочной продуктивности и воспроизводительной способности коров-первотелок голштинской породы. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020; 15(2): 5–9. <https://elibrary.ru/fboovk>
8. Surkova S.A., Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Barmina T.N., Kaidulina A.A., Mosolova N.I. Cow's milk productivity: effects of bull's genotype and line. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V International scientific conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies*. 2021; 32007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/3/032007>
9. Basonov O., Petrov D., Karynbaev A., Aisanov Z., Kagermazov Ts. Exterior and constitutional features of first-calf cows of black-and-white cattle of different genotypes. *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021). E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference*. 2021; 02017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126202017>
10. Филинская О.В., Лапина М.Ю., Зырянова С.В. Продуктивность коров голштинской породы в процессе адаптации к условиям промышленного комплекса Ярославской области. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2020; (3): 51–57. <https://doi.org/10.35694/YARCX.2020.51.3.006>
11. Николаев С.В., Ялуга В.Л. Генетическая характеристика быков-производителей холмогорской породы в зависимости от их линейной принадлежности и уровня голштинизации. *Аграрная наука*. 2024; (6): 77–81. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-77-81>
12. Горелик О.В., Ребезов М.Б., Свешникова Е.Я. Молочная продуктивность коров голштинской линии Рефлекшн Соверинга. *Современные технологии культивирования, переработки и хранения продукции АПК. Сборник тезисов, подготовленный в рамках круглого стола*. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2022; 2: 66–67. <https://elibrary.ru/hzxdql>
13. Брянцев А.Ю., Горелик О.В., Харлап С.Ю., Горелик А.С., Ребезов М.Б. Оценка физико-химических показателей молока коров в зависимости от линейной принадлежности. *Вестник Омского государственного университета*. 2023; (3): 9–20. https://doi.org/10.52754/16948610_2023_3_2
14. Ревина Г.Б., Асташенкова Л.И. Повышение продуктивного долголетия коров голштинской породы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018; (8): 84–87. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.74.8.017>
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>
2. Stroeve V.V., Magomedov M.D., Alekseicheva E.Yu. Increasing the production and consumption of dairy products in Russia and food security. *Economics: yesterday, today and tomorrow*. 2023; 13(6–1): 368–380 (in Russian). <https://elibrary.ru/fkuhwk>
3. 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. On the materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 150th anniversary of the birth of Academician M.F. Ivanov*. Moscow: Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. 2022; 1: 223–227 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/drjgjh>
4. Razhina E.V., Lorets O.G. Influence of genetic potential on milk productivity of Holsteinized Black-and-White cattle. *From import substitution to export potential: scientific support for innovative development of animal husbandry and biotechnology. Collection of materials of the International scientific and practical conference*. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2021; 213–214 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yfpfow>
5. Kalashnikova D.O., Chalova N.A. The influence of producers and their linear affiliation on the productive qualities of offspring. *Actual scientific and technical means and agricultural problems. Proceedings of the XI National scientific and practical conference with international participation*. Kemerovo: Kuzbass State Agricultural University. 2023; 115–120 (in Russian). <https://elibrary.ru/owaopw>
6. Solovyova O.I., Krestyaninova E.I., Khalikova T.Yu. Productivity and reproductive traits of cows of Holstein breed of different origin. *Head of animal breeding*. 2020; (12): 24–33 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-03-2012-03>
7. Gaynutdinova E.R., Safina N.Yu., Shakirov Sh.K. Compatibility of dairy productivity and reproductive capacity of Holstein breed cows. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2020; 15(2): 5–9 (in Russian). <https://elibrary.ru/fboovk>
8. Surkova S.A., Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Barmina T.N., Kaidulina A.A., Mosolova N.I. Cow's milk productivity: effects of bull's genotype and line. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V International scientific conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies*. 2021; 32007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/3/032007>
9. Basonov O., Petrov D., Karynbaev A., Aisanov Z., Kagermazov Ts. Exterior and constitutional features of first-calf cows of black-and-white cattle of different genotypes. *Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems (ITEEA 2021). E3S Web of Conferences 1st International Scientific and Practical Conference*. 2021; 02017. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126202017>
10. Filinskaya O.V., Lapina M.Yu., Zyryanova S.V. The productivity of the holstein cows in the process of adaptation to the conditions of the industrial complex of the Yaroslavl region. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*. 2020; (3): 51–57 (in Russian). <https://doi.org/10.35694/YARCX.2020.51.3.006>
11. Nikolaev S.V., Yaluga V.L. Genetic characteristics of Kholmogory breeding bulls depending on their linear affiliation and the level of Holsteinization. *Agrarian science*. 2024; (6): 77–81 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-77-81>
12. Gorelik O.V., Rebezov M.B., Sveshnikova E.Ya. Milk productivity of Holstein cows of the Reflection Sovering line. *Modern technologies for cultivation, processing and storage of agricultural products. Collection of abstracts prepared within the framework of the round table*. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University. 2022; 2: 66–67 (in Russian). <https://elibrary.ru/hzxdql>
13. Bryantsev A.Yu., Gorelik O.V., Kharlap S.Yu., Gorelik A.S., Rebezov M.B. Evaluation of physico-chemical parameters of cow's milk depending on the linear affiliation. *Bulletin of Osh State University*. 2023; (3): 9–20 (in Russian). https://doi.org/10.52754/16948610_2023_3_2
14. Revina G.B., Astashenkova L.I. Increasing productive longevity of Holstein cows. *International Research Journal*. 2018; (8): 84–87 (in Russian). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.74.8.017>
15. Gridin V.F., Gridina S.L. Analysis of breed and class composition cattle of the Ural region. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2019; (1): 50–51 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019150-51>

16. 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>
17. Chechenikhina O.S., Lorets O.G., Bykova O.A., Shatskikh E.V., Gridin V.F., Topuriya L.Yu. Productive qualities of cattle in dependence on genetic and paratypic factors. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2018; 9(1): 587–593. <https://www.elibrary.ru/yrekl>
18. Яковчик Н.С., Досумова А.Ж., Кубекова Б.Ж. Основы селекции коров голштинской породы разных генотипов. *Агропанорама*. 2021; (3): 14–16. <https://doi.org/10.56619/2078-7138-2021-145-3-14-16>
19. Сударев Н.П., Абылкасымов Д., Абрампальская О.В., Чаргеишвили С.В. Продолжительность использования и продуктивность коров-дочерей быков-производителей разных генотипов в стаде ярославской породы. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2022; (1): 127–132. <https://elibrary.ru/uvkccn>
20. Юмагузин И.Ф., Аминова А.Л., Седых Т.А. Влияние уровня продуктивности матерей за первую лактацию на продуктивное долголетие дочерей. *Аграрная наука*. 2023; (3): 70–73. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-70-73>
21. Rowe S., Kabera F., Dufour S., Godden S., Roy J.Ph., Nydam D. Selective dry-cow therapy can be implemented successfully in cows of all milk production levels. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(3): 1953–1967. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22547>
22. Харлап С.Ю., Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Воспроизводительные качества коров с разной степенью инбредности. *Аграрная наука*. 2025; (4): 88–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-88-94>

ОБ АВТОРАХ

Артём Сергеевич Горелик¹

кандидат биологических наук
temae077ex@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3362-2514>

Ольга Васильевна Горелик²

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
кафедры биотехнологии и пищевых продуктов
olgao205en@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9546-2069>

Максим Борисович Ребезов^{1,3}

- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов¹;
- доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник²

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Светлана Юрьевна Харлап²

кандидат биологических наук, доцент
proffuniver@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3651-8835>

¹Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, ул. Мира, 22, Екатеринбург, 620062, Россия

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

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

16. Chechenikhina O.S., Bykova O.A., Lorets O.G., Stepanov A.V. The age of retirement of cows from 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>

17. Chechenikhina O.S., Lorets O.G., Bykova O.A., Shatskikh E.V., Gridin V.F., Topuriya L.Yu. Productive qualities of cattle in dependence on genetic and paratypic factors. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*. 2018; 9(1): 587–593. <https://www.elibrary.ru/yrekl>

18. Yakovchik N.S., Dosumova A.Zh., Kubekova B.Zh. Basics of breeding Holstein cows of different genotypes. *Agropanorama*. 2021; (3): 14–16 (in Russian). <https://doi.org/10.56619/2078-7138-2021-145-3-14-16>

19. Sudarev N.P., Abylkasymov D., Abrampalskaya O.V., Chargeishvili S.V. Duration of use and productivity of cows-daughters of bulls-producers of different genotypes in the herd of the Yaroslavl breed. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2022; (1): 127–132 (in Russian). <https://elibrary.ru/uvkccn>

20. Yumaguzin I.F., Aminova A.L., Sedykh T.A. Influence of the level of productivity of mothers during the first lactation on the productive longevity of daughters. *Agrarian science*. 2023; (3): 70–73 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-70-73>

21. Rowe S., Kabera F., Dufour S., Godden S., Roy J.Ph., Nydam D. Selective dry-cow therapy can be implemented successfully in cows of all milk production levels. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106(3): 1953–1967. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22547>

22. Kharlap S.Yu., Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B. Reproductive qualities of cows with different degrees of inbreeding. *Agrarian science*. 2025; (4): 88–94 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-393-04-88-94>

ABOUT THE AUTHORS

Artyom Sergeevich Gorelik¹

Candidate of Biological Sciences
temae077ex@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3362-2514>

Olga Vasilyevna Gorelik²

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^{1,3}

- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products¹;
- Doctor of Agricultural Sciences, Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Chief Researcher²

rebezov@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0857-5143>

Svetlana Yurievna Kharlap²

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
proffuniver@ya.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3651-8835>

¹Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Response of the Russian Federation, 22 Mira Str., Yekaterinburg, 620062, Russia

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

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

УДК 636.4.033

Научная статья



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-73-80

А.В. Савинов¹ ✉Н.С. Алтухова¹М.С. Круткина²Н.А. Ложкин²М.В. Белова³А.И. Рудь³И.В. Рукин²

¹Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²АО «Агроплем», Москва, Россия

³ООО «Башкирская мясная компания», Уфа, Россия

✉ savinovantonv@mail.ru

Поступила в редакцию: 28.04.2025

Одобрена после рецензирования: 08.05.2025

Принята к публикации: 22.05.2025

© Савинов А.В., Алтухова Н.С., Круткина М.С., Ложкин Н.А., Белова М.В., Рудь А.И., Рукин И.В.

Research article



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-73-80

Anton V. Savinov¹ ✉Natalya S. Altukhova¹Maria S. Krutkina²Nikita A. Lozhkin²Marina V. Belova³Andrey I. Rud³Ilya V. Rukin²

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

²JSC "Agroplem", Moscow, Russia

³"Bashkir Meat Company" LLC, Ufa, Russia

✉ savinovantonv@mail.ru

Received by the editorial office: 28.04.2025

Accepted in revised: 08.05.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

© Savinov A.V., Altukhova N.S., Krutkina M.S., Lozhkin N.A., Belova M.V., Rud A.I., Rukin I.V.

Разработка и оптимизация уравнения селекционного индекса для комплексной оценки свиней породы йоркшир

РЕЗЮМЕ

Максимальный генетический прогресс по экономически значимым признакам в популяциях свиней зависит от эффективности их оценки племенных качеств, стратегии отбора в селекционные группы и организации подбора родительских пар для получения высокоценного в племенном отношении потомства. Наиболее эффективным приемом является отбор особей по комплексу производственных признаков с учетом их взаимосвязи и экономической значимости.

В данной статье представлены результаты опоросов (количество рожденных живых поросят (NBA), средний вес поросят при рождении (ABW) и данные откормочных и мясных качеств (возраст достижения 100 кг живой массы (ADWG) и толщина шпика (BF) свиней породы йоркшир. В ходе исследования была рассчитана их экономическая и селекционная значимость. Коэффициенты наследуемости признаков, характеризующие воспроизводительные качества свиней, имели низкие значения: 0,14 и 0,20 для NBA и ABW соответственно; характеризующие мясные и откормочные качества — установились на уровне 0,40 и 0,64 для ADWG и BF соответственно. Представлены результаты оптимизации уравнения селекционного индекса для оценки племенной ценности свиней по производственным признакам в зависимости от использования животных в разных системах разведения (чистопородное, скрещивание). Произведен анализ формирования селекционных групп на основании разработанных уравнений комплексного индекса племенной ценности. Путем расчета коэффициента ранговой корреляции определен уровень взаимосвязи между одними и теми же животными, получившими оценку по отдельному признаку продуктивности и разными вариантами селекционных индексов (пределы варьирования составили от -0,07 до +0,70 по общему индексу и от +0,12 до +0,71 — по оптимизированному).

Ключевые слова: селекционный индекс, BLUP, селекционные признаки, свиньи, порода йоркшир

Для цитирования: Савинов А.В., Алтухова Н.С., Круткина М.С., Ложкин Н.А., Белова М.В., Рудь А.И., Рукин И.В. Разработка и оптимизация уравнения селекционного индекса для комплексной оценки свиней породы йоркшир. *Аграрная наука*. 2025; 395 (06): 73–80.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-73-80>

Development and optimization of a selection index equation for multitrait evaluation in Yorkshire pigs

ABSTRACT

Maximum genetic progress in economically important traits in pig populations depends on the efficiency of their evaluation of breeding qualities, selection strategy in breeding groups and organization of selection of parental pairs to produce offspring of high breeding value. The most effective method is the selection of individuals based on a multiple-traits production, taking into account their relationship and economic importance.

This paper presents farrowing records (number of piglets born alive (NBA), average piglet weight in the litter (ABW) and fattening and meat quality data (average daily weight gain until reaching 100 kg (ADWG) and backfat thickness over 10–11 ribs (BF) in Yorkshire pigs. The economic values of reproduction traits, meat and fattening qualities of pigs were determined, and the heritability coefficients of these traits were calculated in this study. For the traits NBA, ABW, ADWG and BF in the Yorkshire pigs the heritability was 0.14, 0.20, 0.40 respectively. The results of optimization of the selection index equation for evaluation breeding value of pigs by traits depending on the use of animals in different breeding systems (purebred, crossbreeding) are presented. Based on the developed selection indexes, the formation of breeding groups was analyzed. Using the rank correlation coefficient, the level of relation between the same animals, which were estimated by single trait and different variants of selection index, was determined (the range of variation ranged from -0.07 to +0.70 on total index and from +0.12 to +0.71 on optimized selection index).

Key words: Selection index, BLUP, breeding traits, pigs, Yorkshire breed

For citation: Savinov A.V., Altukhova N.S., Krutkina M.S., Lozhkin N.A., Belova M.V., Rud A.I., Rukin I.V. Development and optimization of a selection index equation for comprehensive evaluation of Yorkshire pigs. *Agrarian science*. 2025; 395 (06): 73–80 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-73-80>

Введение/Introduction

В племенной работе с сельскохозяйственными животными многих видов зачастую оценку и отбор особей необходимо проводить не по одному признаку, а по нескольким, которые в подавляющем большинстве случаев имеют разную экономическую и селекционную значимость.

В практике отечественного свиноводства отбор племенных свиней базируется на инструкции по бонитировке, в основе которой лежит комплексная оценка животных по происхождению, типичности, промерам, экстерьеру, продуктивности и качеству потомства¹.

Отнесение животных к определенным классам по результатам проведения бонитировки дает лишь общее представление о достоинствах и недостатках животных (в первую очередь их производственной ценности) и не дает в полной мере оценки их генетической ценности — как по отдельным селекционным признакам, так и по их комплексу. Для ведения углубленной селекционной работы такая общая оценка явно недостаточна.

Многими отечественными и зарубежными исследователями обобщены различные методы селекции, используемые в отрасли свиноводства за последние несколько десятилетий: выявлено превосходство BLUP-методологии для оценки племенной ценности животных по хозяйственно полезным признакам над простыми фенотипическими измерениями, приведены преимущества и недостатки процедур селекционного индекса² [1–3].

Селекционные индексы являются важным инструментом в современных системах разведения разных видов сельскохозяйственных животных. Они постоянно адаптируются, совершенствуются и улучшаются. Индексы позволяют объединить информацию по комплексу хозяйственно полезных признаков в единое число, которое можно использовать для ранжирования животных и принятия селекционных решений. Как отмечает А.В. Соляник и соавт. (2013 г.), комплексный индекс нужен не для прогнозирования фактической величины признака, так как он известен, а чтобы дать суммарную (комплексную) расчетную оценку по всем признакам, входящим в индекс согласно экономической цели селекции. Однако, по мнению J.B. Cole, P.M. VanRaden (2018), не существует единой цели селекции, которая была бы наилучшей для всех популяций или всех стад внутри популяции [2, 4].

Ряд авторов сообщают о недостатках селекционных индексов, заключающихся в том, что в

большинстве случаев они обобщены для улучшения породы в целом и используют средние затраты и доходы от производства. При этом индексы не учитывают конкретные маркетинговые и производственные системы производителей³. Так, для организации, занятой получением чистопородного племенного молодняка, структура индексного уравнения должна будет включать весь перечень селекционных признаков, в то время как племенные центры, использующие схемы получения помесных свинок (F1), вынуждены будут разделять селекцию свиней в рамках чистопородного и помесного воспроизводства [3].

Цель исследования — разработка уравнения селекционного индекса племенной ценности по комплексу признаков при разведении свиней породы йоркшир в условиях селекционного-гибридного центра, сосредоточенного на производстве чистопородных и помесных животных.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Материалом исследования послужили записи о продуктивности свиней породы йоркшир, рожденных с 2018 по 2024 год и принадлежащих ООО «Башкирская мясная компания» (г. Уфа, Республика Башкортостан), полученные из базы данных первичного учета организации. В качестве признаков продуктивности были рассмотрены: количество рожденных живых поросят, гол. (*Number Born Alive, NBA*); крупноплодность, г (*Average piglet weight at birth per litter, ABW*), среднесуточный прирост от рождения до достижения живой массы 100 кг, г/сут (*Average daily weight gain, ADWG*), толщина шпика, мм (*Backfat thickness over 10–11 ribs, BF*).

Число записей по показателю количества живорожденных поросят (после логического контроля данных) составило 31 051 опорос для 12 991 свиноматки, по показателю средней массы поросят в гнезде 7037 опоросов для 4908 свиноматок. Данные по откормочным и мясным качествам были представлены 15 611 записями среднесуточного прироста и 17 609 записями по толщине шпика. Общее количество животных в базе данных родословной составило 103 296 свиноматок и 12 704 хряка.

Прогноз племенной ценности производился посредством решения уравнения смешанной модели BLUP Animal Model (наилучший линейный несмещенный прогноз (*англ. Best linear unbiased prediction*) с помощью программного пакета BLUPF90⁴ (Animal and Dairy Science University

¹ Приказ Минсельхоза РФ от 7 мая 2009 года № 179 «Об утверждении Порядка и условий проведения бонитировки племенных свиней и внесении изменений в приказ Минсельхоза России от 19.10.2006 № 402». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2069451/?ysclid=ma0502lgb374399228>

² Кузнецов В.М. BLUP Animal Model для племенной оценки свиней: базовая модель. Актуальные проблемы производства свинины в Российской Федерации // Материалы 19-го заседания Межвузовского координационного совета по свиноводству и международной научно-производственной конференции, ДГАУ 23–24 апреля 2010 года, пос. Персиановский, ДГАУ. 2010; 50–57.

³ Beef Sire Selection Manual. National Beef Cattle Evaluation Consortium. 3rd ed. 2021.

⁴ <http://nce.ads.uga.edu/software/>

of Georgia, USA). В общем виде уравнение BLUP AM выглядит так:

$$y = Xb + Zu + e.$$

В матричном виде уравнение смешанной модели представляет собой:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix},$$

где: y — вектор значений признака; b — вектор фиксированных эффектов; u — вектор генетических значений; e — вектор остаточных значений (ошибок); — матрица отношений, основанная на родословной; X и Z — соответствующие структурные матрицы.

Значимость влияния фиксированных эффектов на проявление признака определялась с помощью дисперсионного анализа ($p < 0,05$). В качестве фиксированных эффектов для оценки воспроизводственных качеств были выбраны: ферма, год, месяц опороса; ферма, год, месяц рождения; номер опороса; количество сибсов в помете; возраст первого опороса; возраст опороса. Для оценки откормочных и мясных качеств: ферма, год, месяц рождения; пол; количество сибсов в помете; номер опороса матери на момент рождения животного; индивидуальная масса при рождении; масса при бонитировке [5].

Расчет компонентов «варианс» и «коварианс» производили с помощью модуля AIREML, комплексную оценку племенной ценности — по методологии L. Hazel⁵ (1943) с помощью построения уравнения селекционного индекса. В общем виде уравнение селекционного индекса представлено так:

$$I = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n, \quad (1)$$

где: I — селекционный индекс; β_n — весовой коэффициент n -го признака; X_n — племенная ценность по n -му признаку.

Нахождение весовых коэффициентов селекционного индекса осуществляли с помощью решения системы уравнений, имеющей вид:

$$b = P^{-1} G\alpha, \quad (2)$$

где: b — вектор весовых коэффициентов; P — матрица фенотипических (ко)варианс; G — матрица генетических (ко)варианс; α — вектор экономических коэффициентов.

Экономические коэффициенты для показателей многоплодия и крупноплодности были рассчитаны с помощью построения уравнения линейной

регрессии, в котором зависимой переменной была представлена суммарная реализационная стоимость всех животных одного опороса при бонитировке, а независимыми переменными — показатели количества живорожденных поросят и средней массы поросенка в опоросе:

$$m \times (p - c) = \text{const} + \beta_1 NBA + \beta_2 ABW, \quad (3)$$

где: m — живая масса животных из одного помета при бонитировке; p — стоимость животных за 1 кг живой массы; c — расходы на прирост 1 кг живой массы; NBA — количество живых поросят в опоросе; ABW — средняя масса поросят в помете; β_n — соответствующий весовой коэффициент.

Экономический коэффициент для показателя толщины шпика рассчитывался по формуле:

$$BF_E = \frac{Coast_I - Coast_3}{ABF_1 - ABF_3}, \quad (4)$$

где: BF_E — экономический коэффициент показателя скорости роста; $Coast_I$ — цена туши I сорта, руб.; $Coast_3$ — цена туши III сорта, руб.; ABF_1 — средняя толщина шпика в тушах I сорта; ABF_3 — средняя толщина шпика в тушах III сорта [3].

Экономический коэффициент для показателя ADWG был рассчитан по формуле:

$$ADWG_E = \frac{\mu_{AGE}}{\mu_{ADWG}} \times C_F, \quad (5)$$

где: $ADWG_E$ — экономический коэффициент показателя скорости роста; μ_{AGE} — средний убойный возраст; μ_{ADWG} — средняя скорость роста; C_F — расходы на откорм в день [6].

Для расчета экономических коэффициентов использовали данные о финансовой отчетности производственной организации. Анализ и обработку всех имеющихся данных осуществляли с помощью языка программирования Python (Python Software Foundation, USA).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для оценки селекционно-генетических параметров и осуществления прогноза племенной ценности (*Estimation breeding value, EBV*) построены уравнения смешанного типа для каждого показателя продуктивности с включением только значимо влияющих на разнообразие признаков факторов (табл. 1).

На базе построенных линейных уравнений на следующем этапе произведен прогноз племенной ценности животных по исследуемым признакам продуктивности, рассчитаны их вариантные компоненты и коэффициенты наследуемости (табл. 2).

⁵ Hazel L.N. The genetic basis for constructing selection indexes // Genetics. 1943; 28: 6: 476–490.

Таблица 1. Структуры линейных уравнений BLUP для оценки племенной ценности свиней породы йоркшир

Table 1. BLUP linear equation structures for estimating breeding value in Yorkshire pigs

Селекционный признак	Структура уравнения
Количество рожденных живых поросят	$y_{ijklm} = \mu + FYMb_i + FYMw_j + N_k + \beta_l A_l + U_m + e_{ijklm}$
Средний вес поросенка в помете при рождении	$y_{ijklmn} = \mu + FYMb_i + FYMw_j + N_k + M_l + \beta_l A_m + U_n + e_{ijklmn}$
Скорость роста	$y_{ijkl} = \mu + FYMb_i + F_j + \beta_2 W_k + U_l + e_{ijkl}$
Толщина шпика	$y_{ijkl} = \mu + FYMb_i + \beta_3 B_k + U_l + e_{ijkl}$

Примечание: μ — популяционная средняя, y — фенотипическое значение признака, $FYMb$ — «ферма-год-месяц рождения»; $FYMw$ — «ферма-год-месяц опороса»; N — номер опороса; β_n — соответствующий коэффициент регрессии; A — возраст первого опороса, дней; M — номер опороса матери, в который родилось животное; F — количество сибсов при рождении; W — живая масса при рождении, г; B — масса при бонитировке, кг; U — случайный эффект животного; e — остаточный эффект модели.

Таблица 2. Коэффициенты наследуемости и вариантные компоненты селекционных признаков свиней

Table 2. Heritability and variant components of selection traits in pigs

Параметр	Признаки			
	количество живых поросят при рождении	крупноплодность	скорость роста	толщина шпика
σ_R^2	18,148	28526,0	2974,6	0,81
$SE(\sigma_R^2)$	0,173	665,33	81,157	0,03
σ_G^2	2,927	7132,8	1956,3	1,45
$SE(\sigma_G^2)$	0,205	795,34	132,89	0,05
h^2	0,14	0,20	0,40	0,64

Примечание: σ_R^2 — остаточная дисперсия; σ_G^2 — аддитивная генетическая дисперсия; $SE(\sigma_R^2)$ — стандартная ошибка остаточной дисперсии; $SE(\sigma_G^2)$ — стандартная ошибка генетической дисперсии.

Признаки, связанные с воспроизводительными качествами свиней, имели низкую генетическую обусловленность ($h^2 = 0,14-0,20$), откормочные и мясные показатели характеризовались средним уровнем наследуемости ($h^2 = 0,40-0,64$), что согласуется с результатами других исследователей.

Mahboob Alam (2021) приводит результаты расчетов коэффициентов наследуемости для породы йоркшир корейской селекции. Для показателя количества живорожденных поросят он составил 0,09, скорости роста — 0,34, толщины шпика — 0,45 [7]. По данным Yiting Yang (2023), коэффициент наследуемости для количества живорожденных поросят составил 0,193, для средней массы поросенка в помете — 0,186 [8].

Показатель многоплодия является одним из наиболее экономически значимых признаков продуктивности в селекционных программах в свиноводстве [9, 10]. В то же время увеличение количества поросят в помете оказывает негативное влияние на среднюю массу рожденных поросят и выровненность поросят по живой массе, что в свою очередь снижает показатели среднесуточного прироста и выживаемости поросят до отъема [11, 12]. Таким образом, оптимальной стратегией отбора лучших генотипов является отбор по комплексу хозяйственно полезных признаков,

Таблица 3. Показатели изменчивости и взаимосвязи анализируемых признаков в оцениваемой выборке*

Table 3. Parameters of variability and relationship of analyzed traits in the evaluation sample *

Признак	Количество живых поросят при рождении	Крупноплодность	Скорость роста	Толщина шпика
Количество живых поросят при рождении	2,93 21,08	-34,69	-40,88	-0,72
Крупноплодность	-372,81	7132,8 35658,8	821,80	-19,32
Скорость роста	-96,72	3447,62	1956,3 4930,9	33,02
Толщина шпика	-0,96	-22,71	60,18	1,45 2,26

Примечание: * генетические ковариансы — выше диагонали, фенотипические ковариансы — ниже диагонали, генетическая и фенотипическая дисперсия признаков — на диагонали.

основанный на построении уравнения селекционного индекса, учитывающего изменчивость целевого признака и его взаимосвязь с другими признаками, а также экономическую значимость включенных в индекс признаков.

Для построения селекционного индекса рассчитаны генетические и фенотипические дисперсии и ковариансы признаков (табл. 3). Ковариантные компоненты между воспроизводительными показателями и откормочными и мясными качествами вычислены на основании собственной продуктивности животных и данных по первому опоросу.

Результаты таблицы 3 свидетельствуют о наличии отрицательной (как генетической, так и фенотипической) связи между NBA и остальными исследуемыми признаками, между крупноплодностью (ABW) и толщиной шпика. Во всех остальных парах признаков наблюдали положительную сопряженность.

Вектор экономических коэффициентов (в рублях) для признаков количество рожденных живых поросят, крупноплодностью, скорости роста и толщины шпика составил 1620, 17, 32, 195 соответственно. На основании полученных данных построено уравнение селекционного индекса, включающее в себя все исследуемые показатели

продуктивности. Общий вид уравнения представлен как:

$$I_{\text{общий}} = 226X_1 + 4X_2 + 6X_3 - 91X_4,$$

где: $I_{\text{общий}}$ — значение общего селекционного индекса; X_1 — значение индексов племенной ценности по признаку многоплодия; X_2 — значение индексов племенной ценности по признаку крупноплодности; X_3 — значение индексов племенной ценности по признаку скорости роста; X_4 — значение индексов племенной ценности по признаку толщины шпика.

На основании индекса была проведена комплексная оценка племенной ценности для всех животных из базы данных родословной. Для анализа эффективности отбора на основании селекционного индекса построены графики, отображающие среднее значение племенной ценности по каждому из показателей продуктивности в группе животных, отобранной с разной интенсивностью (% отбора от всех исследуемых животных). Отбор на основании селекционного индекса обеспечивает сбалансированное увеличение (или, если это является целью селекции, уменьшение — например, для толщины шпика) всех включенных показателей продуктивности как при оценке свиноматок, так и при оценке хряков (рис. 1, 2). Формирование селекционных групп на основании селекционного индекса при любой интенсивности отбора учитывает весь комплекс показателей продуктивности.

Важную роль в производстве продукции свиноводства играет система гибридизации, при которой производится скрещивание специализированных отцовских и материнских линий животных с целью получения эффекта гетерозиса. Селекция при создании специализированных линий ведется по ограниченному набору признаков. Для материнских линий основными показателями являются показатели опороса и молочности свиноматки, для отцовских — мясные качества, показатели конверсии корма и скорости роста [13–15].

Авторами разработано оптимизированное уравнение селекционного индекса для отбора животных при формировании групп свиней материнских линий. В состав данного индекса были включены показатели многоплодия и крупноплодности. Итоговое уравнение имело следующий вид:

$$I_{\text{оптим}} = 282X_1 + 5X_2,$$

где: $I_{\text{оптим}}$ — значение оптимизированного селекционного индекса; X_1 — значение индексов племенной ценности по признаку многоплодия; X_2 — значение индексов племенной ценности по признаку крупноплодности.

При моделировании селекционных групп животных было установлено, что оптимизированный

Рис. 1. Средние значения племенной ценности свиноматок в группах с разной интенсивностью отбора по общему индексу*

Fig. 1. Average breeding value of sows in groups with different selection intensity according to the total index

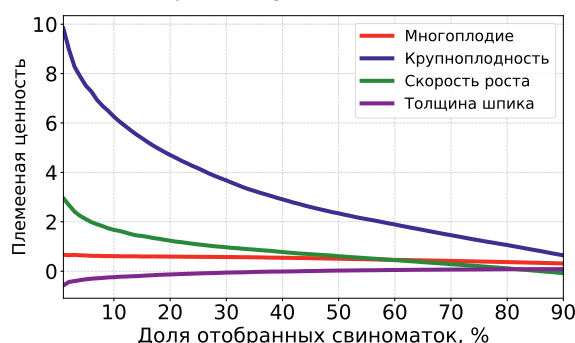
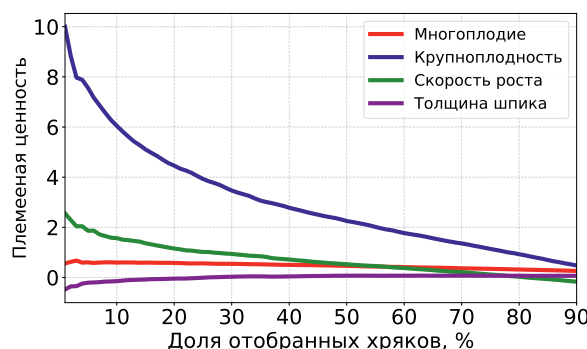


Рис. 2. Средние значения племенной ценности хряков в группах с разной интенсивностью отбора по общему индексу*

Fig. 2. Average breeding value of boars in groups with different selection intensity according to the total index



Примечание: * для удобства отображения единицы измерения племенной ценности для показателей крупноплодности и скорости роста представлены как 0,1 г (здесь и далее).

индекс обеспечивает более интенсивное увеличение многоплодия в отобранных группах по сравнению с общим индексом.

Среднее значение племенной ценности по многоплодию при отборе 10% лучших свиноматок составило +0,60 гол. по общему индексу и +0,87 гол. — по оптимизированному. В то же время средняя племенная ценность по показателю крупноплодности при отборе 10% лучших свиноматок составила +62 г по всему комплексу признаков и +61 г — по оптимизированному. Среднее значение племенной ценности в отобранной группе характеризует генетическое превосходство животных по признаку продуктивности относительно среднего значения признака в исследуемой популяции.

Таким образом, оптимизированный селекционный индекс является наиболее эффективным для увеличения показателей многоплодия. Среднее значение племенной ценности по скорости роста в группе 10% лучших свиноматок по общему индексу составило +17 г, +36 г — по оптимизированному; по толщине шпика -0,23 мм и +0,08 мм соответственно (рис. 3, 4).

При отборе 10% лучших хряков по общему индексу средние значения племенной ценности

Рис. 3. Средние значения племенной ценности свиноматок в группах с разной интенсивностью отбора по оптимизированному индексу

Fig. 3. Average breeding value of sows in groups with different selection intensity according to the optimized index

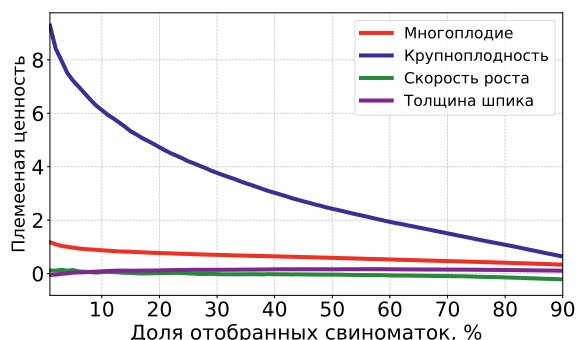
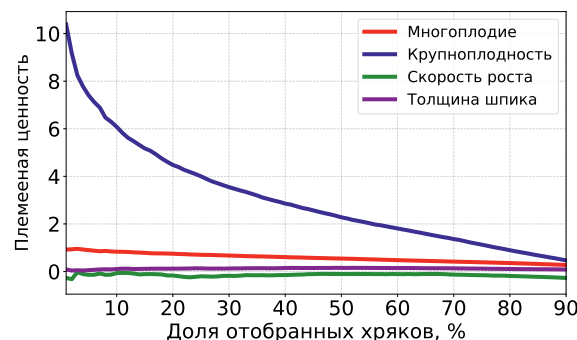


Рис. 4. Средние значения племенной ценности хряков в группах с разной интенсивностью отбора по оптимизированному индексу

Fig. 4. Average breeding value of boars in groups with different selection intensity according to the optimized index



составили +0,60, +60, +16, -0,21, при отборе по оптимизированному — +0,85, +59, +0,64 и +0,09 для показателей многоплодия, крупноплодности, скорости роста и толщины шпика соответственно.

Установлено, что оценка и отбор животных по общему индексу обеспечивает генетический прогресс по каждому из включенных показателей продуктивности, в то время как отбор по оптимизированному индексу акцентирован на улучшение показателей количества живорожденных поросят и крупноплодности. При этом другие показатели имеют значительно менее выраженную тенденцию к увеличению или снижаются (скорость роста и толщина шпика). Данный факт подтверждают рассчитанные коэффициенты ранговой корреляции между величинами племенной ценности животных по отдельному признаку и разными вариантами (общий и оптимизированный) селекционного индекса. Результаты приведены в таблице 4.

Оценена эффективность двухэтапной схемы отбора животных в селекционные группы. Предварительный отбор осуществляли на основании общего селекционного индекса, включающего все показатели продуктивности, при котором

Таблица 4. Значения коэффициентов ранговой корреляции между оценками племенной ценности свиней по отдельным признакам продуктивности и селекционному индексу

Table 4. Rank correlation between evaluated breeding values of pigs by single trait productivity and by selection index

Селекционный индекс	Признак			
	многоплодие	крупноплодность	скорость роста	толщина шпика
$I_{\text{общий}}$	+0,47	+0,70	+0,56	-0,07
$I_{\text{оптим}}$	+0,64	+0,71	+0,18	+0,12

были отобраны 20% лучших животных по общему индексу.

Второй этап отбора провели с использованием оптимизированного селекционного индекса, при котором были отобраны 50% лучших животных из отобранных на первом этапе. Средние значения племенной ценности в отобранной группе животных по показателям многоплодия, крупноплодности, скорости роста и толщине шпика при двухэтапном отборе составили: +0,80, +60, +5 и -0,02 для хряков и +0,80, +63, +5,45 и -0,02 для свиноматок. Двухэтапный отбор обеспечивает более интенсивное увеличение показателя многоплодия, чем при отборе по общему индексу, при этом не допуская ухудшения откормочных и мясных качеств, как при отборе по оптимизированному индексу.

Выбор стратегии отбора хряков и свиноматок на основании селекционного индекса по комплексу показателей продуктивности необходимо проводить в соответствии с целями селекции, применяемыми технологиями скрещивания и гибридизации, а также экономической значимости признаков в зависимости от используемой системы производства и реализации продукции свиноводства.

Выводы/Conclusions

Разработано уравнение селекционного индекса, включающее показатели многоплодия, крупноплодности, скорости роста и толщины шпика для комплексного отбора в селекционные группы хряков и свиноматок породы йоркшир.

Предложено оптимизированное уравнение селекционного индекса, включающее ограниченный набор воспроизводительных показателей свиней для проведения двухэтапного отбора на базе двух индексов.

Установлено, что комплексный отбор способствует сбалансированному увеличению всех исследуемых признаков продуктивности, в то время как двухэтапный отбор с использованием оптимизированного уравнения селекционного индекса максимизирует генетическое улучшение показателя многоплодия, не допуская снижения коррелирующих с ним признаков продуктивности.

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. Kodak O., Nagy I. Historical overview of the selection indices applied in pig breeding. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 2019; 23(1): 22–31.
<https://doi.org/10.31914/aak.2294>
2. Соляник А.В., Соляник В.В., Соляник А.А. Общетеоретические основы использования численных методов в принятии управленческих решений в свиноводстве. Монография. Горки: БГСХА. 2013; 412.
ISBN 978-985-467-430-8
<https://elibrary.ru/inkjvw>
3. Мельникова Е.Е., Никитин С.А., Кабанов А.В., Сермягин А.А., Харитонов С.Н., Зинovieva Н.А. Использование селекционных индексов в разных системах разведения свиней материнских пород. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020; (4): 46–50.
<https://doi.org/10.31857/S2500262720040110>
4. Cole J.B., VanRaden P.M. *Symposium review: Possibilities in an age of genomics: The future of selection indices*. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(4): 3686–3701.
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13335>
5. Савинов А.В. и др. Анализ селекционно-генетических параметров в популяции свиней пород йоркшир и ландрас. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025; 1(2): 151–166.
<https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-2-151-166>
6. Hermes S., Ludemann C.I., Amer P.R. Economic weights for performance and survival traits of growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(12): 5358–5366.
<https://doi.org/10.2527/jas.2014-7944>
7. Alam M., Chang H.-K., Lee S.-S., Choi T.-J. Genetic Analysis of Major Production and Reproduction Traits of Korean Duroc, Landrace and Yorkshire Pigs. *Animals*. 2021; 11(5): 1321.
<https://doi.org/10.3390/ani11051321>
8. Yang Y. et al. Estimation of genetic parameters of pig reproductive traits. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10: 1172287.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1172287>
9. Рудь А.И., Ларионова П.В., Киселева И.А., Королева А.Н. Обоснование селекции свиноматок на продуктивное долголетие. *Свиноводство*. 2010; (8): 38–41.
<https://elibrary.ru/ncuqpx>
10. Дойлидов В.А. Экономическая эффективность новых способов и приемов отбора ремонтных свинок и свиноматок при ведении селекции на многоплодие. *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почёта» государственная академия ветеринарной медицины»*. 2021; 57(2): 96–102.
DOI: 10.52368/2078-0109-2021-57-2-96-102
11. Repeto R.O. Genetic selection and advances in swine breeding: a review of its impact on sow's reproductive traits. *International Journal of Research and Review*. 2020; 7(10): 41–52.
12. Свиначев И.Ю., Колосов Ю.А., Третьякова О.Л., Кошаев А.Г., Кошаева О.В. Моделирование региональной системы разведения свиней. *Научный журнал КубГАУ*. 2015; 114: 1001–1017.
<https://elibrary.ru/vhfmix>
13. Грищенко С.А., Ребезов М.Б., Соломаха С.В. Показатели убоя товарных гибридов F2 свиней в зависимости от показателей линейного роста ремонтных свинок материнской породы (ММ). *Всё о мясе*. 2024; (6): 46–52.
<https://doi.org/10.21323/2071-2499-2024-6-46-52>
14. Чистяков В.Т. Современное развитие селекции и генетики в отечественном свиноводстве. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018; 4: 71–78.
15. Шарнин В.Н., Михайлов Н.В., Свиначев И.Ю., Ковалев А.А. Интенсификация племенного отбора в свиноводстве. *Свиноводство*. 2011; 2: 8–11.

ОБ АВТОРАХ

Антон Васильевич Савинов¹

аспирант
savinovantonv@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6770-1990>

Наталья Сергеевна Алтухова¹

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
n.altukhova@rgau-msha.ru
<http://orcid.org/0000-0001-6169-3953>

Мария Сергеевна Круткина²

руководитель аналитического отдела
mkrutkina@agroplem.ru
<https://orcid.org/0009-0008-0616-3990>

REFERENCES

1. Kodak O., Nagy I. Historical overview of the selection indices applied in pig breeding. *Acta Agraria Kaposváriensis*. 2019; 23(1): 22–31.
<https://doi.org/10.31914/aak.2294>
2. Solyanik A.V., Solyanik V.V., Solyanik A.A. General theoretical foundations of using numerical methods in making management decisions in pig breeding. Monograph. Gorki: *Belarusian State Agricultural Academy*. 2013; 412 (in Russian).
ISBN 978-985-467-430-8
<https://elibrary.ru/inkjvw>
3. Melnikova E.E., Nikitin S.A., Kabanov A.V., Sermyagin A.A., Kharitonov S.N., Zinovieva N.A. Selection Indices Used in Different Breeding Systems with Pigs of Maternal Breeds. *Russian Agricultural Sciences*. 2020; 46(5): 503–508.
<https://doi.org/10.3103/S1068367420050134>
4. Cole J.B., VanRaden P.M. *Symposium review: Possibilities in an age of genomics: The future of selection indices*. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(4): 3686–3701.
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13335>
5. Savinov A.V. et al. Analysis of selection and genetic parameters in Yorkshire and Landrace pigs. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025; 1(2): 151–166 (in Russian).
<https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-2-151-166>
6. Hermes S., Ludemann C.I., Amer P.R. Economic weights for performance and survival traits of growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2014; 92(12): 5358–5366.
<https://doi.org/10.2527/jas.2014-7944>
7. Alam M., Chang H.-K., Lee S.-S., Choi T.-J. Genetic Analysis of Major Production and Reproduction Traits of Korean Duroc, Landrace and Yorkshire Pigs. *Animals*. 2021; 11(5): 1321.
<https://doi.org/10.3390/ani11051321>
8. Yang Y. et al. Estimation of genetic parameters of pig reproductive traits. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10: 1172287.
<https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1172287>
9. Rud A.I., Larionova P.V., Kiseleva I.A., Koroleva A.N. Grounding of selection for sow longevity. *Pigbreeding*. 2010; (8): 38–41 (in Russian).
<https://elibrary.ru/ncuqpx>
10. Doylidov V.A. Economic Efficiency of New Methods and Techniques for Selecting Replacement Gilts and Sows in Breeding for Fecundity. *Scientific Notes of the Educational Institution "Vitebsk Order of the Badge of Honor State Academy of Veterinary Medicine"*. 2021; 57(2): 96–102 (in Russian).
DOI: 10.52368/2078-0109-2021-57-2-96-102
11. Repeto R.O. Genetic selection and advances in swine breeding: a review of its impact on sow's reproductive traits. *International Journal of Research and Review*. 2020; 7(10): 41–52.
12. Svinarev I.Yu., Kolosov Yu.A., Tretyakova O.L., Koshchaev A.G., Koshchaeva O.V. Modeling regional systems of breeding pigs. *Scientific Journal of KubSAU*. 2015; 114: 1001–1017 (in Russian).
<https://elibrary.ru/vhfmix>
13. Gritsenko S.A., Rebezov M.B., Solomakha S.V. Indicators of slaughter of commercial F2 pig hybrids depending on the indicators of linear growth of replacement pigs of the maternal breed (MM). *Vse o myase*. 2024; (6): 46–52 (in Russian).
<https://doi.org/10.21323/2071-2499-2024-6-46-52>
14. Chistyakov V.T. Modern development of breeding and genetics in the Russian pig breeding. *Vestnik of Voronezh state agrarian university*. 2018; 4: 71–78 (in Russian).
15. Sharnin V.N., Mikhailov N.V., Svinarev I.Yu., Kovalev A.A. Intensification of breeding selection in pig breeding. *Swine Breeding*. 2011; 2: 8–11 (in Russian).

ABOUT THE AUTHORS

Anton Vasilyevich Savinov¹

Graduate Student
savinovantonv@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6770-1990>

Natalya Sergeevna Altukhova¹

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
n.altukhova@rgau-msha.ru
<http://orcid.org/0000-0001-6169-3953>

Maria Sergeevna Krutkina²

Head of the Analytical Department
mkrutkina@agroplem.ru
<https://orcid.org/0009-0008-0616-3990>

Никита Александрович Ложкин²

аналитик
nlozhkin@agroplem.ru
<http://orcid.org/0009-0007-5577-3907>

Марина Владимировна Белова³

начальник селекционно-генетического управления
belova_mv@tavros.ru
<http://orcid.org/0009-0006-5259-6549>

Андрей Иванович Рудь³

доктор сельскохозяйственных наук,
руководитель научно-исследовательского
отдела селекции животных
rud_ai@tavros.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8893-2846>

Илья Владимирович Рукин²

директор по научным исследованиям и разработкам
irukin@agroplem.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4093-3254>

¹Российский государственный аграрный университет —
МСХА им. К.А. Тимирязева,
ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Россия

²АО «Агроплем»,
Каширское шоссе, 49, Москва, 115409, Россия

³ООО «Башкирская мясная компания»,
пр-т Октября, 1, Уфа, 450001, Россия

Nikita Alexandrovich Lozhkin²

Analyst
nlozhkin@agroplem.ru
<http://orcid.org/0009-0007-5577-3907>

Marina Vladimirovna Belova³

Head of the Breeding and Genetics Department
belova_mv@tavros.ru
<http://orcid.org/0009-0006-5259-6549>

Andrey Ivanovich Rud³

Doctor of Agricultural Sciences,
Head of the Animal Breeding Research Department
rud_ai@tavros.ru
<http://orcid.org/0000-0001-8893-2846>

Ilya Vladimirovich Rukin²

Director of Research and Development
irukin@agroplem.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4093-3254>

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev
Agricultural Academy,
49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russia

²JSC "Agroplem",
49 Kashirskoe Highway, Moscow, 115409, Russia

³LLC "Bashkir Meat Company",
1 Prospekt Oktyabrya, Ufa, 450001, Russia



Международная выставка
сельскохозяйственной техники,
материалов и оборудования
для животноводства и растениеводства

29–31 октября 2025

г. Екатеринбург,
МВЦ «Екатеринбург-Экспо»



Забронируйте стенд
www.agroprom-ural.ru

Организаторы



Международная
Выставочная
Компания



**ЕКАТЕРИНБУРГ
ЭКСПО** МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР



УДК 636.082.12

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-81-86

О.Ю. Баркова ✉

Д.А. Старикова

И.В. Чистякова

Н.В. Плешанов

А.В. Габова

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального исследовательского центра животноводства «ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

✉ barkoffws@list.ru

Поступила в редакцию: 20.02.2024

Одобрена после рецензирования: 08.05.2025

Принята к публикации: 22.05.2025

© Баркова О.Ю., Старикова Д.А., Чистякова И.В., Плешанов Н.В., Габова А.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-81-86

Olga. Yu. Barkova ✉

Daria A. Starikova

Irena V. Chistyakova

Nikolay V. Pleshanov

Alina V. Gabova

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Pushkin, St. Petersburg, Russia

✉ barkoffws@list.ru

Received by the editorial office: 20.02.2024

Accepted in revised: 08.05.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

© Barkova O.Yu., Starikova D.A., Chistyakova I.V., Pleshanov N.V., Gabova A.V.

Транскрипты генов *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* как потенциальные биомаркеры качества спермы быков

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Цель исследований данной работы заключается в валидации транскриптов генов-кандидатов сперматозоидов *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12*, полученных с помощью РНК-Seq и корреляционного анализа их уровня экспрессии с высокими и низкими показателями качества сперматозоидов быков голштинской породы.

Методы. Исследованы 18 проб эякулята криоконсервированной спермы. Проведены анализ относительной экспрессии генов-кандидатов *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* и анализ ранговой корреляции при помощи критерия Спирмена.

Результаты. Результаты исследования показали, что относительная экспрессия исследуемых генов *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* была преимущественно ниже в сперматозоидах, имеющих низкую продуктивность, что подтверждают результаты полного транскриптомного анализа, где также пониженная дифференциальная экспрессия наблюдалась в группе быков с плохой продуктивностью. Статистически достоверные различия уровней экспрессии тотальной РНК сперматозоидов изучаемых генов были получены для всех генов в обеих группах быков. Анализ корреляции выявил высокую зависимость между уровнем экспрессии исследуемых генов *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* и значимыми показателями качества спермы. Транскрипты генов *COL4A2*, *IRG1* показали высокую достоверную отрицательную корреляцию с подвижностью сперматозоидов, содержанием живых и нормальных клеток и средним содержанием Ca^{2+} . Достоверная положительная корреляция наблюдалась для нежелательных признаков, таких как содержание мертвых и дефектных клеток. Транскрипт гена *MMP12* имел противоположный эффект в сравнении с генами *IRG1* и *COL4A2*. Уровень экспрессии гена *MMP12* показал достоверно высокую корреляцию с подвижностью сперматозоидов и отрицательную — с содержанием мертвых и дефектных клеток.

Ключевые слова: быки, сперматозоиды, криоконсервация, РНК-Seq, экспрессия генов, биомаркеры

Для цитирования: Баркова О.Ю., Старикова Д.А., Чистякова И.В., Плешанов Н.В., Габова А.В. Транскрипты генов *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* как потенциальные биомаркеры качества спермы быков. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 81–86.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-81-86>

Transcripts of *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* genes as potential biomarkers of bull sperm quality

ABSTRACT

Relevance. The aim of this work is to validate three sperm transcripts of candidate genes *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* obtained using RNA-Seq and correlation analysis of their expression levels with high and low sperm quality indicators of Holstein bulls.

Methods. Eighteen samples of cryopreserved sperm ejaculate were studied. The relative expression of candidate genes *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* was analyzed, and rank correlation was analyzed using Spearman's test.

Results. The results of the study showed that the relative expression of the studied genes *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* was predominantly lower in spermatozoa with low productivity, which confirms the results of a complete transcriptome analysis, where reduced differential expression was also observed in the group of bulls with poor productivity. Statistically significant differences in the levels of expression of total sperm RNA of the studied genes were obtained for all genes in both groups of bulls. Correlation analysis revealed a high dependence between the expression level of the studied genes *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* and significant indicators of sperm quality. Transcripts of the genes *COL4A2*, *IRG1* showed a high significant negative correlation with sperm motility, the content of live and normal cells and the average Ca^{2+} content. A significant positive correlation was observed for undesirable traits, such as the content of dead and defective cells. The gene *MMP12* transcript had the opposite effect in comparison with the genes *IRG1* and *COL4A2*. The expression level of the *MMP12* gene showed a significantly high correlation with motility.

Key words: bulls, spermatozoa, cryopreservation, RNA-Seq, gene expression, biomarkers

For citation: Barkova O.Yu., Starikova D.A., Chistyakova I.V., Pleshanov N.V., Gabova A.V. Transcripts of *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* genes as potential biomarkers of bull sperm quality. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 81–86 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-81-86>

Введение/Introduction

У крупного рогатого скота в результате криоконсервации наблюдаются повышенные риски повреждения ДНК мужских гамет и снижение подвижности и жизнеспособности сперматозоидов после размораживания на целых 50% [1, 2]. В последние годы использование различных омиксных технологий в области криобиологии спермы и разработка высокопроизводительных методов, таких как секвенирование транскриптома, позволили провести анализ экспрессии специфических генов и генетических вариаций сперматозоидов, что привело к более глубокому пониманию структурных и функциональных изменений, которые испытывает сперма во время процесса замораживания-оттаивания, а также к выявлению соответствующих биомаркеров криорезистентности [3, 4]. Таким образом, изменения транскриптома в сперматозоидах считаются одним из основных факторов, влияющих на криотолерантность спермы сельскохозяйственных животных [5].

Полногеномное РНК-секвенирование было проведено для сравнения профилей транскриптов сперматозоидов двух групп быков с высокими и низкими продуктивными характеристиками и разной криорезистентностью. Общая РНК была выделена из декриоконсервированных сперматозоидов быков двух групп и подвергнута РНК-секвенированию (платформа Illumina NextSeq 500). Мас-сив транскриптов оценивали с помощью пакетов DESeq2, DESeq в сперматозоидах каждого быка. Идентифицировано несколько дифференциально экспрессируемых генов (DEG), связанных с воспалением (*IRG1*, *MMP12*), сперматогенезом (*Col4A2*), которые преимущественно активировались в эякулятах с плохой криорезистентностью [6].

Цель исследований заключается в валидации трех транскриптов спермы генов-кандидатов *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12*, полученных с помощью РНК-Seq и корреляционного анализа их уровня экспрессии с высокими и низкими показателями качества сперматозоидов быков голштинской породы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для исследования в 2024 году были выбраны 6 быков от 1 года до 3 лет на АО «Невское» (г. Санкт-Петербург, Россия): 3 — со стабильно высокими показателями качества спермы после заморозки-оттаивания и 3 — регулярно производящие криочувствительное семя.

Всего исследованы 18 проб эякулята криоконсервированной спермы по 3 пайеты от каждого быка. Пробы свежего эякулята отбирали в утренние часы во время плановых заборов¹ в

соответствии с межгосударственным стандартом отбора неразбавленной спермы быков².

Процедура обработки спермы: объем каждой пробы нативной спермы составлял 1000–1500 мкл, концентрация варьировалась от 0,7 до 1,65 млрд клеток/мл. Криоконсервацию спермы проводили по следующей технологии: смешанный с разбавителем OptiXcell (IMV Technologies, Франция) в соотношении 1:1 эякулят быков (27 °С) охлаждали до 18–22 °С, после чего проводили итоговое разбавление, фасовку и эквilibрацию (экспозиция при 4 °С в течение 3–4 часов). Замораживание сперматозоидов производили при 145 °С в течение 7,5 минут и хранили при -196 °С в жидком азоте (IMV Technologies, Франция). Концентрация клеток в пайете достигала 4–9 × 10⁶ клеток/мл. Очистку образцов спермы от соматических и мертвых клеток проводили путем градиентного центрифугирования с помощью раствора Фиколла [7].

Подвижность и концентрация половых клеток свежего эякулята были оценены на АО «Невское» с использованием камеры Маклера (Sefi Medical Instrument, Италия).

Анализ морфологии сперматозоидов проводили под иммерсией на световом микроскопе Olympus Vanox-t (Япония) (объектив x100) после окрашивания мазка эякулята с помощью тест-набора «Дифф-Квик» (ООО «НПФ «АБРИС-+»», Россия) согласно рекомендациям производителя.

Анализ целостности мембран, жизнеспособности, мембранного потенциала митохондрий производили с помощью проточного цитометра CytoFLEX, BeckmanCoulter (США). Полученные данные анализировали с помощью программы CytExpert 2.4, BeckmanCoulter (США).

Для оценки мембранного потенциала митохондрий клетки сперматозоидов окрашивали флуоресцентным липофильным карбоцианиновым красителем JC-1 (Servicebio, Китай) [8].

Оценку жизнеспособности и целостности клеточных мембран деконсервированных сперматозоидов проводили с помощью окрашивания интеркалирующими красителями: пропидиумом йодидом (Servicebio, Китай), контрастным красителем для ядер и хромосом, окрашивающим мертвые клетки и SYBR Green I («Евроген», Россия), специфичным к двухцепочечной ДНК для живых клеток [9].

Оценку внутриклеточного уровня кальция нативных и деконсервированных сперматозоидов проводили с помощью окраски Fluo-3 (Servicebio, Китай) живых и мертвых клеток, ранжированных окраской пропидиум йод [10].

Выделение РНК для ОТ-ПЦР проводили набором RNA solo («Евроген», Россия), в который уже включена обработка ДНКазой, в соответствии с

¹ Все эксперименты с животными проводили в соответствии с Хельсинкской декларацией 2013 года и были одобрены Комиссией по этике Российского научно-исследовательского института генетики и селекции сельскохозяйственных животных — филиала ФГБНУ «ФНЦ животноводства им. Л.К. Эрнста» (протокол от 03.03.2020 № 2020-4).

² ГОСТ 23745-2014 Средства воспроизводства. Сперма быков неразбавленная свежеполученная. Технические условия. М.: Стандартинформ. 2015; 7.

рекомендацией производителя. По спектрофотометрическим показателям 260/280 образцы соответствовали диапазону 2–2,2 и 260/230 диапазону 1,8–2,2.

Дизайн олигонуклеотидов-праймеров для анализа экспрессии последовательности генов-кандидатов, влияющих на качество спермы, проводили на основании информации баз данных сети Интернет³ и при помощи компьютерной программы PRIMER_3⁴.

Синтез однокитевой кДНК проводили при помощи обратной транскриптазы Mint («Евроген», Россия), следуя указаниям производителя. Реакция — в объеме 20 мкл.

Анализ экспрессии РНК, полученных из замороженно-оттаянной спермы быков, проводили с помощью олигонуклеотидов-праймеров (табл. 1).

Полученную смесь однокитевой кДНК использовали для амплификации с использованием 5х реакционной смеси qPCRmix-HS SYBR («Евроген»), предназначенной для ПЦР в реальном времени с интеркалирующим красителем SYBR Green I в соответствии с рекомендациями производителя в следующем режиме: амплификация кДНК и детекция сигнала (40 циклов): 95 °C — 5 мин.; 95 °C — 15 сек.; 59 °C — 15 сек.; 72 °C — 20 сек. (этап сбора данных). Реакции ПЦР в реальном времени для каждого образца проводили в трех повторностях. Для последующих расчетов использовали среднее арифметическое значение. Расчет изменений экспрессии отдельных молекул РНК выполняли методом -2dCt (delta Cycle threshold) [11].

Статистическую обработку данных проводили в программе SigmaPlot 14 (Grafiti LLC) с применением

ANOVA, однофакторного дисперсионного анализа Крускала — Уоллиса (англ. Kruskal — Wallis one-way analysis of variance), который предназначен для проверки равенства медиан нескольких выборок, при ненормальном распределении показателей признака. Нормальность распределения данных была проанализирована с помощью предположения ANOVA (тест Шапиро — Уилка). Представленные данные являются средними значениями трех экспериментальных повторов с тремя образцами на повтор. Данные представлены как среднее $\pm$ SEM ($p < 0,05$, рассчитано с использованием Дан метода и тест Tukey). Анализ ранговой корреляции был проведен по критерию Спирмена с помощью программы SigmaPlot 14 (Grafiti LLC, США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ экспрессии генов *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* в группах быков с низкими и высокими продуктивными признаками с помощью ОТ-ПЦР выявил, что относительная экспрессия была преимущественно выше в сперматозоидах быков, имеющих высокую продуктивность. Статистически достоверные различия уровней экспрессии сперматозоидов изучаемых генов были получены для всех генов в обеих группах быков (табл. 2).

Анализ корреляционных связей по критерию Спирмена выявил высокую зависимость между уровнем экспрессии исследуемых генов и значимыми показателями качества спермы.

Транскрипт гена *COL4A2* показал высокую достоверную отрицательную корреляцию с благоприятными признаками для сперматозоидов,

Таблица 1. Последовательность праймеров, использованных в исследовании

Table 1. Primers sequence used in the study

Название гена	Последовательность прямого праймера и температура отжига (°C)	Последовательность обратного праймера и температура отжига (°C)	Размер продукта п. н.
<i>GAPDH</i> (референсный)	CCGCAAGGAGAACTCAAGGT 59.96	CGGCCCAAGCAAAATTGGA 59.97	163
<i>COL4A2</i>	GACAGAGGAGCCCTAAGGA 59.82	GATGGGGCACACTTTCTCCA 59.90	137
<i>IRG1</i>	GTCTTCTGTCTCATGCC 59.74	GTTCCTTCCCAGGCACTC 60.00	172
<i>MMP12</i>	AACGGAATTGTTGGGCTTGC 59.23	ATGCCTTTACCCCTGCTCC 60.16	151

Таблица 2. Относительная экспрессия исследованных генов в сперматозоидах с низкими и высокими продуктивными признаками

Table 2. Relative expression of the studied genes in spermatozoa with low and high productivity traits

Сперматозоиды ^а	Ген				
	Название	Относительная экспрессия	Статистические параметры ^б		
			М	SD	P
Высокое качество	<i>COL4A2</i>	0,236 $\pm$ 0,0119	0,243	0,0357	0,005
Низкое качество		0,0831 $\pm$ 0,0216	0,0400	0,0647	
Высокое качество	<i>MMP12</i>	0,272 $\pm$ 0,0258	0,324	0,0775	0,005
Низкое качество		0,150 $\pm$ 0,0124	0,143	0,0373	
Высокое качество	<i>IRG1</i>	0,396 $\pm$ 0,0622	0,321	0,187	<0,001
Низкое качество		0,0329 $\pm$ 0,0001	0,321	0,0003	

Примечание: а — каждый образец сперматозоидов получен от 6 быков голштинской породы по 3 эякулята от каждого из быка с высокими и низкими показателями продуктивности спермы; б — приведены медианные значения (М), стандартное отклонение (SD) и p -value (P), рассчитанные методом непараметрического однофакторного анализа ANOVA.

Note: ^a each sperm sample was obtained from 6 Holstein bulls, with 3 ejaculates each from a bull with high and low sperm productivity; ^b median (M), standard deviation (SD) and p -value (P) calculated by nonparametric one-factor ANOVA analysis are given.

³ National Center for Biotechnology Information (NCBI). — URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>; Ensembl. — URL: <https://www.ensembl.org/index.html>

⁴ PRIMER_3. — URL: <https://primer3.org/>

такими как подвижность ($-0,926$, $p = 0,008$), содержание живых клеток ($-0,938$, $p = 0,005$). Достоверную положительную корреляцию наблюдали для неблагоприятных признаков, таких как содержание мертвых ($0,861$, $p = 0,027$) и дефектные клетки ($0,706$, $p = 0,013$) (табл. 3).

Ген *COL4A2* кодирует наиболее распространенный коллаген типа IV1, который является белком базальной мембраны и экспрессируется во всех тканях, включая стенки сосудов [12]. В яйцах самцов коллагеновые цепи типа IV и ламинины являются основными строительными блоками базальной мембраны [13]. Первый отчет, иллюстрирующий важность коллагенов, поддерживающих сперматогенез, появился в 2003 году, когда было обнаружено, что использование антитела против цепей человеческого коллагена IV нарушает барьерную функцию проницаемости плотных межклеточных контактов клеток Сертоли [14].

Исследования показали, что пептидный фрагмент NC1 локально вырабатывается в яйцах из цепи коллагена $\alpha 3$ (IV) посредством протеолитического расщепления матриксными металлопротеиназами (MMP) и является важнейшим регулятором множественных клеточных событий [15]. Отмечено, что сверхэкспрессия пептида NC1 была способна вызывать обратимое нарушение гемато-тестикулярного барьера (ГТБ) как *in vitro*, так и *in vivo*, что сопровождалось повреждением эпителия, отшелушиванием зародышевых клеток и дефектами сперматогенеза [14].

Транскрипт гена *IRG1*, как и транскрипт гена *COL4A2*, показал высокую достоверную отрицательную корреляцию с такими признаками сперматозоидов, как подвижность сперматозоидов ($-0,727$, $p = 0,01$), содержание нормальных ($-0,794$, $p = 0,05$) и живых ($-0,794$, $p = 0,05$) клеток и средним содержанием Ca^{2+} ($-0,883$, $p = 0,033$). Положительная корреляция выявлена с содержанием мертвых ($0,883$, $p = 0,033$) и дефектных ($0,0659$, $p = 0,015$) клеток, а также с дефектом акросомы ($0,647$, $p = 0,017$).

Иммунореактивный белок 1, кодируемый геном *IRG1*, преимущественно локализуется в мито-

хондриях и высоко экспрессируется в макрофагах млекопитающих во время воспалительной реакции, обеспечивает активность аконитатдекарбоксылазы и участвует в нескольких процессах, включая клеточный ответ на стимул цитокина, отрицательную регуляцию защитного ответа и отрицательную регуляцию передачи сигнала [16]. *IRG1* является одним из генов, стимулируемых интерфероном (ISG), и связан с опосредованным IFN типа I уничтожением бактерий и вирусов путем катализа продукции итаконовой кислоты, также известную как метилен янтарная кислота [17].

Используя подход «приобретение и потеря функции» в иммунных клетках, как мышей, так и человека, авторы обнаружили, что уровни экспрессии *IRG1* коррелируют с содержанием итаконовой кислоты, метаболита, который, как ранее уточнялось, обладает антимикробным эффектом и подавляет рост бактерий, экспрессирующих изоцитратлиазу, таких как *Salmonella enterica* [18].

Аналогичные наблюдения были проведены в микроглиальных клетках, где противовоспалительные состояния были вызваны различными цитокинами или бактериальными компонентами, и в исследовании профиля экспрессии генов мышечных макрофагов и микроглиальных клеток был выявлен ген *IRG1* как один из наиболее высокорегулируемых генов при воспалительных состояниях, таких как бактериальные инфекции [19].

Повышенные уровни экспрессии *IRG1* были обнаружены в макрофагах селезенки цыплят после заражения *Salmonella enterica* [20] и могут играть решающую роль в чувствительности к вирусу болезни Марекка [21]. *IRG1* высоко экспрессируется на начальных стадиях в клетках эндометрия, что приводит к имплантации зародыша в матку [22].

Транскрипт гена *MMP12* имел противоположный эффект в сравнении с генами *IRG1* и *COL4A2*. Достоверная высокая корреляция уровня экспрессии транскрипта *MMP12* выявлена с подвижностью сперматозоидов ($0,840$, $p = 0,036$), и отрицательная корреляция с содержанием дефектных ($-0,647$, $p = 0,017$) и клеток ($-0,750$, $p = 0,001$) мертвых (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционный анализ показателей качества спермы быков и уровня относительной экспрессии исследуемых генов

Table 3. Correlation analysis of bovine sperm quality and the level of relative expression of the studied genes

Показатель	COL4A2		IRG1		MMP12	
	R, Spearman	p-value	R, Spearman	p-value	R, Spearman	p-value
Подвижность сперматозоидов (баллы)	-0,926	0,008	-0,727	0,010	0,840	0,036
Общее кол-во клеток (клеток/мкл)	-0,925	0,008	-0,794	0,05	0,639	0,172
Содержание нормальных клеток (клеток/мкл)	-0,461	0,357	-0,353	0,497	0,009	0,864
Содержание дефектных клеток (клеток/мкл)	0,706	0,013	0,659	0,015	-0,647	0,017
Дефектные акросомы (клеток/мкл)	0,309	0,551	0,647	0,017	-0,04	0,929
Содержание мертвых клеток (клеток/мкл)	0,861	0,027	0,883	0,033	-0,750	0,001
Содержание живых клеток (клеток/мкл)	-0,938	0,005	-0,794	0,05	0,744	0,09
Низкая степень поляризации митохондриальных мембран (%)	-0,056	0,915	-0,235	0,658	-0,164	0,756
Средняя степень поляризации митохондриальных мембран (%)	0,438	0,385	0,206	0,658	-0,696	0,124
Высокая степень поляризации митохондриальных мембран (%)	-0,470	0,347	-0,118	0,803	0,771	0,07
Низкое содержание Ca^{2+} (%)	0,114	0,829	0,383	0,419	-0,316	0,541
Среднее содержание Ca^{2+} (%)	-0,799	0,056	-0,883	0,033	0,657	0,156
Высокое содержание Ca^{2+} (%)	-0,011	0,983	-0,118	0,803	-0,322	0,534

В предыдущем исследовании [6] наблюдали, что два из ключевых генов *IRG1*, *MMP12* с пониженной регуляцией, идентифицированные с помощью RNA-Seq анализа в эякулятах с плохой криорезистентностью, были преимущественно связаны с воспалением и иммунным ответом.

Матриксная металлопептидаза 12 (*MMP12*), также известная как макрофагальная металлоэластаза, вырабатывается в основном макрофагами и является членом семейства матриксных металлопротеиназ, участвует в различных физиологических функциях, включая катаболизм внеклеточного матрикса и деградацию эластина [23]. *MMP12* был идентифицирован как транскрипционно-репрессированный кандидат во время раннего воспаления, который восстанавливался во время фазы разрешения [23]. Ген *MMP12* был выявлен в исследовании M. Atikuzzaman и соавт. как участвующий в иммуномодуляции и имеющий дифференциальную экспрессию в резервуарах спермы у птиц и млекопитающих в ответ на спаривание [24].

Выводы/Conclusions

Результаты валидации полногеномного секвенирования RNA сперматозоидов из двух групп бы-

ков с помощью ОТ-ПЦР показали, что относительная экспрессия исследуемых генов *COL4A2*, *IRG1*, *MMP12* была достоверно ниже в сперматозоидах, имеющих низкую продуктивность, что подтверждает результаты полного транскриптомного анализа, где пониженная дифференциальная экспрессия наблюдалась в группе быков с плохой продуктивностью.

Транскрипт гена *MMP12* показал достоверную высокую положительную корреляцию с подвижностью сперматозоидов и отрицательную с содержанием дефектных и мертвых клеток. Транскрипты генов *IRG1* и *COL4A2* показали высокую достоверную отрицательную корреляцию с некоторыми благоприятными признаками сперматозоидов, такими как подвижность сперматозоидов, содержание живых и нормальных клеток, среднее содержание Ca^{2+} , и положительную корреляцию с несколькими нежелательными признаками, такими как содержание дефектных и мертвых клеток, а также с дефектом акросомы.

Результаты исследования могут быть использованы для разработки транскрипционных маркеров, позволяющих отбирать сперму от быков-производителей с более высоким оплодотворяющим и криорезистентным потенциалом.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках работ по гранту Российского научного фонда (РНФ) № 22-76-10041.

FUNDING

The research was carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant No. 22-76-10041.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Yáñez-Ortiz I., Catalán J., Rodríguez-Gil J.E., Miró J., Yeste M. Advances in sperm cryopreservation in farm animals: Cattle, horse, pig and sheep. *Animal Reproduction Science*. 2022; 246: 106904. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2021.106904>
- Lemma A. Effect of Cryopreservation on Sperm Quality and Fertility. Manafi M. (ed.). Artificial Insemination in Farm Animals. *InTech*. 2011; 191–216. <https://doi.org/10.5772/16563>
- Fraser L., Brym P., Mogielnicka-Brzozowska M., Wasilewska K. Total RNA quality in boar spermatozoa with different freezability. *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2019; 22(1): 181–185. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2019.127085>
- Khan I.M. et al. Impact of Cryopreservation on Spermatozoa Freeze-Thawed Traits and Relevance OMICS to Assess Sperm Cryo-Tolerance in Farm Animals. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 609180. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.609180>
- Đuračka M., Benko F., Tvrdá E. Molecular Markers: A New Paradigm in the Prediction of Sperm Freezability. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(4): 3379. <https://doi.org/10.3390/ijms24043379>
- Barkova O.Yu., Starikova D.A., Chistyakova I.V., Pleshanov N.V. Whole Genome RNA Sequencing in Holstein Bull Spermatozoa with Different Cryoresistance. *Russian Journal of Genetics*. 2025; 61(4): 395–404. <https://doi.org/10.1134/S1022795424701795>
- Highland H.N., Rishika A.S., Almira S.S., Kanthi P.B. Ficoll-400 density gradient method as an effective sperm preparation technique for assisted reproductive techniques. *Journal of Human Reproductive Sciences*. 2016; 9(3): 194–199. <https://doi.org/10.4103/0974-1208.192070>
- Garner D.L., Thomas C.A. Organelle-specific probe JC-1 identifies membrane potential differences in the mitochondrial function of bovine sperm. *Molecular Reproduction and Development*. 1999; 53(2): 222–229. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2795\(199906\)53:2<222::AID-MRD11>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2795(199906)53:2<222::AID-MRD11>3.0.CO;2-L)
- Garner D.L., Johnson L.A., Yue S.T., Roth B.L., Haugland R.P. Dual DNA Staining Assessment of Bovine Sperm Viability Using SYBR-14 and Propidium Iodide. *Journal of Andrology*. 1994; 15(6): 620–629. <https://doi.org/10.1002/j.1939-4640.1994.tb00510.x>
- Harrison R.A.P., Mairer B., Miller N.G.A. Flow cytometric studies of bicarbonate-mediated Ca^{2+} influx in boar sperm populations. *Molecular Reproduction and Development*. 1993; 35(2): 197–208. <https://doi.org/10.1002/mrd.1080350214>
- Harshitha R., Arunraj D.R. Real-time quantitative PCR: A tool for absolute and relative quantification. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2021; 49(5): 800–812. <https://doi.org/10.1002/bmb.21552>
- Kühn K. Basement membrane (type IV) collagen. *Matrix Biology*. 1995; 14(6): 439–445. [https://doi.org/10.1016/0945-053x\(95\)90001-2](https://doi.org/10.1016/0945-053x(95)90001-2)
- Li L. et al. A local regulatory network in the testis mediated by laminin and collagen fragments that supports spermatogenesis. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*. 2021; 56(3): 236–254. <https://doi.org/10.1080/10409238.2021.1901255>
- Liu S.-W., Li H.-T., Ge R.-S., Cheng C.Y. NC1-peptide derived from collagen $\alpha 3$ (IV) chain is a blood-tissue barrier regulator: lesson from the testis. *Asian Journal of Andrology*. 2021; 23(2): 123–128. https://doi.org/10.4103/aja.aja_44_20

15. Kisling A., Lust R.M., Katwa L.C. What is the role of peptide fragments of collagen I and IV in health and disease?. *Life Sciences*. 2019; 228: 30–34.
<https://doi.org/10.1016/j.lfs.2019.04.042>
16. Tallam A. *et al.* Gene Regulatory Network Inference of Immunoresponsive Gene 1 (*IRG1*) Identifies Interferon Regulatory Factor 1 (*IRF1*) as Its Transcriptional Regulator in Mammalian Macrophages. *PLoS ONE*. 2016; 11(2): e0149050.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149050>
17. Naujoks J. *et al.* IFNs Modify the Proteome of *Legionella*-Containing Vacuoles and Restrict Infection Via IRG1-Derived Itaconic Acid. *PLoS Pathogens*. 2016; 12(2): e1005408.
<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005408>
18. Chen M. *et al.* Itaconate is an effector of a Rab GTPase cell-autonomous host defense pathway against *Salmonella*. *Science*. 2020; 369(6502): 450–455.
<https://doi.org/10.1126/science.aaz1333>
19. Jaiswal A.K. *et al.* *Irg1*/itaconate metabolic pathway is a crucial determinant of dendritic cells immune-priming function and contributes to resolute allergen-induced airway inflammation. *Mucosal Immunology*. 2022; 15(2): 301–313.
<https://doi.org/10.1038/s41385-021-00462-y>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Юрьевна Баркова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
barkoffws@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0963-905X>

Дарья Андреевна Старикова

кандидат биологических наук, научный сотрудник
live8avis@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5324-4090>

Ирэна Валерьевна Чистякова

кандидат биологических наук, научный сотрудник
itjarena7@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7229-5766>

Николай Вячеславович Плешанов

научный сотрудник
Klaus-90@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4634-7515>

Алина Валерьевна Габова

лаборант
<https://orcid.org/0009-0007-6039-6958>

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального исследовательского центра животноводства «ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Московское шоссе, 55А, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия

20. Matulova M. *et al.* Characterization of Chicken Spleen Transcriptome after Infection with *Salmonella enterica* Serovar Enteritidis. *PLoS ONE*. 2012; 7(10): e48101.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048101>

21. Smith J. *et al.* Systems Analysis of Immune Responses in Marek's Disease Virus-Infected Chickens Identifies a Gene Involved in Susceptibility and Highlights a Possible Novel Pathogenicity Mechanism. *Journal of Virology*. 2011; 85(21): 11146–11158.
<https://doi.org/10.1128/JVI.05499-11>

22. Ji J. *et al.* IRG1/ACOD1 promotes neutrophil reverse migration and alleviates local inflammation. *Journal of Leukocyte Biology*. 2024; 116(4): 854–863.
<https://doi.org/10.1093/jleuko/qiae110>

23. Kuntschar S. *et al.* Mmp12 Is Translationally Regulated in Macrophages during the Course of Inflammation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(23): 16981.
<https://doi.org/10.3390/ijms242316981>

24. Atikuzzaman M., Alvarez-Rodriguez M., Vicente-Carrillo A., Johnsson M., Wright D., Rodriguez-Martinez H. Conserved gene expression in sperm reservoirs between birds and mammals in response to mating. *BMC Genomics*. 2017; 18: 98.
<https://doi.org/10.1186/s12864-017-3488-x>

ABOUT THE AUTHORS

Olga Yuriyevna Barkova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
barkoffws@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0963-905X>

Daria Andreevna Starikova

Candidate of Biological Sciences, Researcher
live8avis@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5324-4090>

Irena Valerievna Chistyakova

Candidate of Biological Sciences, Researcher
itjarena7@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7229-5766>

Nikolay Vyacheslavovich Pleshanov

Researcher
Klaus-90@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4634-7515>

Alina Valerievna Gabova

Laboratory Assistant
<https://orcid.org/0009-0007-6039-6958>

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

55A Moscow highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia

УДК: 636.52/.58.636.68.08/082

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-87-93

М.В. Позовникова ✉

О.В. Митрофанова

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал ФИЦ животноводства «ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Тярлево, Санкт-Петербург, Россия

✉ pozovnikova@gmail.com

Поступила в редакцию: 30.01.2025

Одобрена после рецензирования: 08.05.2025

Принята к публикации: 22.05.2025

© Позовникова М.В., Митрофанова О.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-87-93

Marina V. Pozovnikova ✉

Olga V. Mitrofanova

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Tyarlevo, St. Petersburg, Russia

✉ pozovnikova@gmail.com

Received by the editorial office: 30.01.2025

Accepted in revised: 08.05.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

© Pozovnikova M.V., Mitrofanova O.V.

Генетические особенности декоративных пород кур по однонуклеотидным заменам в гене *LCORL*

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) являются важными маркерами генетической изменчивости у кур, которые встречаются в геноме с высокой частотой. Идентификация и характеристика таких маркеров позволяют характеризовать породы с точки зрения их генетических особенностей.

Цель данной работы — оценить полиморфизм в гене *LCORL* у декоративных пород кур на основе однонуклеотидных полиморфизмов.

Методы. Для проведения исследований были сформированы группы кур декоративных пород: новопавловская золотистая ($n = 48$), шелковая ($n = 30$), карликовый кохинхин ($n = 30$). С помощью метода ПЦР-ПДРФ анализировали участок гена *LCORL* по трем однонуклеотидным полиморфизмам (rs14491003, 236 G/T и 503A/G).

Результаты. По rs14491003 полиморфизм установлен только в популяции кур новопавловская золотистая, где 83,3% особей имели генотип CC. По SNP 236G/T только в выборке кур шелковой породы выявлены три возможных варианта генотипов, а частота аллеля G и T была 46,7% и 53,3% соответственно. По SNP 503A/G во всех выборках птицы определены три генотипа гена *LCORL*. Для кур шелковой породы установлена высокая частота аллеля A (71,7%), а для кур пород новопавловская золотистая и карликовый кохинхин — аллеля G (69,8% и 60,0% соответственно). При анализе частот аллелей по всем полиморфным SNP не выявлено сдвига генетического равновесия ($\chi^2 < 3,84$). Полученные результаты свидетельствуют о том, что куры декоративных пород имеют породные особенности, обусловленные полиморфными вариантами гена *LCORL*, что подтверждает функциональную роль данного гена в процессах формирования и роста костей скелета у кур различного направления селекции.

Ключевые слова: полиморфизм, генетические маркеры, *Gallus gallus domesticus*, SNP, новопавловская золотистая, карликовый кохинхин, шелковая

Для цитирования: Позовникова М.В., Митрофанова О.В. Генетические особенности декоративных пород кур по однонуклеотидным заменам в гене *LCORL*. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 87–93.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-87-93>

Genetic variation in decorative chicken breeds based on single nucleotide substitutions in the *LCORL* gene

ABSTRACT

Relevance. Single nucleotide polymorphisms (SNPs) are important markers of genetic variation in chickens that occur in the genome with high frequency. The identification and characterization of such markers allow characterization of breeds in terms of their genetic traits.

The aim of this work was to evaluate polymorphism in the *LCORL* gene in ornamental chicken breeds based on single nucleotide polymorphisms.

Methods. Groups of ornamental chicken breeds: Novopavlovskaya golden ($n = 48$), silk ($n = 30$), dwarf cochinchin ($n = 30$) were formed for the research. The *LCORL* gene region was analyzed by three single nucleotide polymorphisms (rs14491003, 236 G/T and 503A/G) using the PCR-PDRF method.

Results. The rs14491003 polymorphism was detected only in the population of Novopavlovskaya golden hens, where 83.3% of individuals had the CC genotype. For SNP 236G/T only in the sample of silk breed hens three possible variants of genotypes were detected, and the frequency of G and T allele was 46.7% and 53.3% respectively. Three genotypes of the *LCORL* gene were identified by SNP 503A/G in all poultry samples. For silk breed chickens, high frequency was found for allele A (71.7%), and for Novopavlovsk golden and dwarf cochinchin breeds — allele G (69.8% and 60.0%, respectively). When analyzing allele frequencies for all polymorphic SNPs, no shift in genetic equilibrium was detected ($\chi^2 < 3.84$). The obtained results indicate that chickens of ornamental breeds have breed peculiarities caused by polymorphic variants of the *LCORL* gene, which confirms the functional role of this gene in the processes of formation and growth of skeletal bones in chickens of different breeding directions.

Key words: polymorphism, genetic markers, *Gallus gallus domesticus*, SNP, Novopavlovsk golden, Dwarf cochinchin, Silk

For citation: Pozovnikova M.V., Mitrofanova O.V. Genetic variation in decorative chicken breeds based on single nucleotide substitutions in the *LCORL* gene. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 87–93 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-87-93>

Введение/Introduction

С развитием методов молекулярной генетики в последние десятилетия идет активное изучение геномов сельскохозяйственных животных и птиц. Домашняя курица (*Gallus gallus domesticus*) служит удобным модельным объектом для этих целей благодаря быстрому развитию и росту, возможности получения большого количества потомства от родительской пары, а также высокому генетическому разнообразию пород. Разведение кур в рамках генетических коллекций дает возможность исследователям собирать ценный фенотипический материал о малочисленных породах [1].

Маркерами генетической изменчивости у кур служат однонуклеотидные полиморфизмы (SNP). Они встречаются в геноме с высокой частотой. Поиск и описание подобных маркеров позволяют выявлять ассоциации с ними фенотипических признаков, что в дальнейшем может стать инструментом отбора ценных производителей для селекции [2, 3].

В исследованиях геномов курицы на хромосоме 4 был выявлен регион, значимо ассоциированный с рядом фенотипических признаков. Этот участок включает ген *LCORL* (Ligand dependent nuclear receptor corepressor-like), который кодирует фактор транскрипции. *LCORL* представляет собой высоконсервативный гидрофильный белок, содержащий НТН-домен, не принадлежит к трансмембранным или секреторируемым белкам. Активно экспрессируется в органах и тканях во время роста и развития птиц [4, 5]. Его значимая роль в метаболических процессах организма обусловлена тем, что он способен вступать во взаимодействие с убиквитином С, а также связан с метаболизмом аргинина [6].

В области генома, близкой к этому региону, были идентифицированы SNP, ассоциированные с массой внутренних органов цыплят [7], массой яйца [8, 9], размером яйцевода [10], живой массой и промерами тела [11, 12.]. Ген *LCORL* был определен как значимый ген-кандидат, ассоциированный с размерами скелета и весовыми характеристиками особей и у других видов продуктивных животных, в том числе несущих в своем геноме ген карликовости [13, 14].

Анализ полиморфных вариантов в гене *LCORL* методом секвенирования по Сенгеру выявил изменчивость по ряду полиморфных вариантов в интроне изучаемого участка гена. Были изучены четыре породы различного типа продуктивности (корниш, китайская шелковая, итальянская куропатчатая, пушкинская). Это позволило считать район гена *LCORL* высоковариабельным у исследуемых популяций кур [15]. Позднее были подобраны и апробированы четыре

тест-системы по заменам rs14491003, 236 G/T, 82 G/C, 503A/G в локусе *LCORL*. При этом для кур комбинированного направления продуктивности значимым определен только SNP 503A/G [16, 17].

Декоративные породы являются прекрасным контрастным фоном для продуктивных пород, так как к ним не применялись селекционные программы по продуктивным признакам (мясности, яйценоскости, качеству мяса и яйца) и основной целью отбора были именно декоративные признаки, в том числе миниатюрность. В рамках изучения гена *LCORL* особенно важен последний показатель (миниатюрность), поскольку, с одной стороны, существует давление гена карликовости *dw*, а с другой — формы карликовых птиц часто повторяют форму крупных. Таким образом, научный и практический интерес представляет выявление особенностей полиморфизма гена *LCORL* у декоративных кур.

Новопавловская золотистая порода кур утверждена в 2016 году¹ после продолжительной работы по воссозданию старой русской павловской породы. Благодаря сложновоспроизводительному скрещиванию создана птица, фенотипически близкая к прототипу. На первоначальном этапе скрещивали представителей пород фавероль и гудан. Затем полученные гибриды последовательно скрещивали с падуанами, аппенцеллерами и шелковой породой. Средняя живая масса по стандарту породы кур 1,5–1,8 кг, петухов 1,7–2,1 кг.

Карликовый кохинхин (пекинская бентамка) — оригинальная декоративная порода с неустановленным происхождением. Не является родственником большого кохинхина. Во ВНИИГРЖ породу разводят более 25 лет. Средняя живая масса по стандарту породы кур 0,65–0,75 кг, петухов 0,75–0,85 кг. Носитель маркерного локуса карликовости *dw*.

Шелковая порода относится к декоративным породам кур. Первые упоминания о породе датированы свыше 2000 лет назад. Во ВНИИГРЖ разводят более 25 лет. Особенности птицы — черно-синяя кожа и шелковистое белое оперение, напоминающее волосы. Средняя живая масса по стандарту породы кур 0,7–0,9 кг, петухов 1,0–1,2 кг. Носитель маркерного локуса карликовости *dw*.

Цель данной работы — оценить полиморфизм в гене *LCORL* у декоративных пород кур из ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур» ВНИИГРЖ (г. Пушкин, г. Санкт-Петербург) на основе однонуклеотидных полиморфизмов.

Задачи работы — подобрать условия и провести анализ ПЦР-ПДРФ для выявления полиморфизмов в исследуемом участке гена, а также рассчитать частоты аллелей и генотипов по выявленным SNP.

¹ Вахрамеев А.Б., Паронян И.А., Племяшов К.В., Федоров И.В., Филиппова Н.Д., Юрченко О.П. Куры *Gallus gallus* L. Новопавловская. Патент на селекционное достижение RU 8653. Заявка от 08.12.2015 № 69515. 2016.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследование проведено в 2022–2023 гг. на базе биоресурсной коллекции ВНИИГРЖ «Генетическая коллекция редких исчезающих пород кур» (г. Пушкин, г. Санкт-Петербург)². Содержание птицы — напольное групповое. Для исследования были сформированы группы кур в возрасте 270 дней следующих пород (2021 г. вывода): новопавловская золотистая ($n = 48$), карликовый кохинхин ($n = 30$), шелковая ($n = 30$) (рис. 1).

Объектом исследований послужила ДНК, которую выделяли из крови кур по стандартной методике с использованием фенольной экстракции³. Кровь отбирали у кур из вены, проходящей по внутренней стороне крыла, в микропробирку

с 0,5 М ЭДТА, чтобы предотвратить свертывание. До использования образцы хранили в холодильнике при -20°C .

Исследование одобрено Этическим комитетом Федерального научного центра животноводства им. Л.К. Эрнста 26.09.2023 (протокол № 1) и законом Российской Федерации о ветеринарной медицине от 14 мая 1993 года № 4979-1. Все применимые международные, национальные и (или) институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

На основе ранее проведенных исследований участка гена *LCORL* [15] был разработан дизайн праймеров, который проводили в информационной сфере NCBI с помощью онлайн-инструмента BLAST. Теоретические модели тест-систем представлены на рисунке 2.

Рис. 1. Экстерьер кур: 1) курица новопавловской золотистой породы; 2) курица шелковой породы; 3) курица породы карликовый кохинхин. Автор фото А.Б. Вахрамеев

Fig. 1. Exterior of hens: 1) chicken of Novopavlovskaya golden breed; 2) chicken of Silk breed; 3) chicken of dwarf cochin breed. Author of photo A.B. Vakhrameev

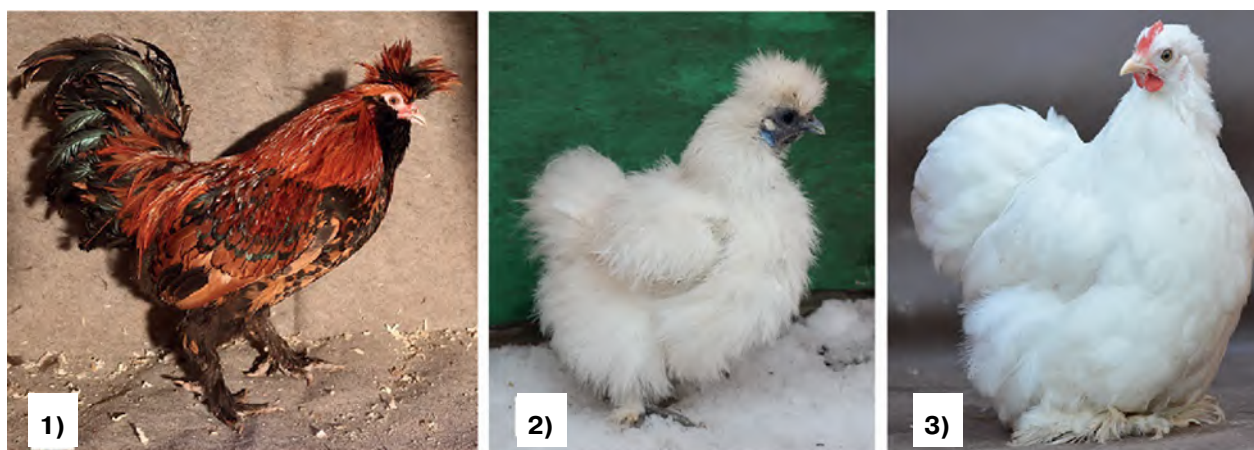
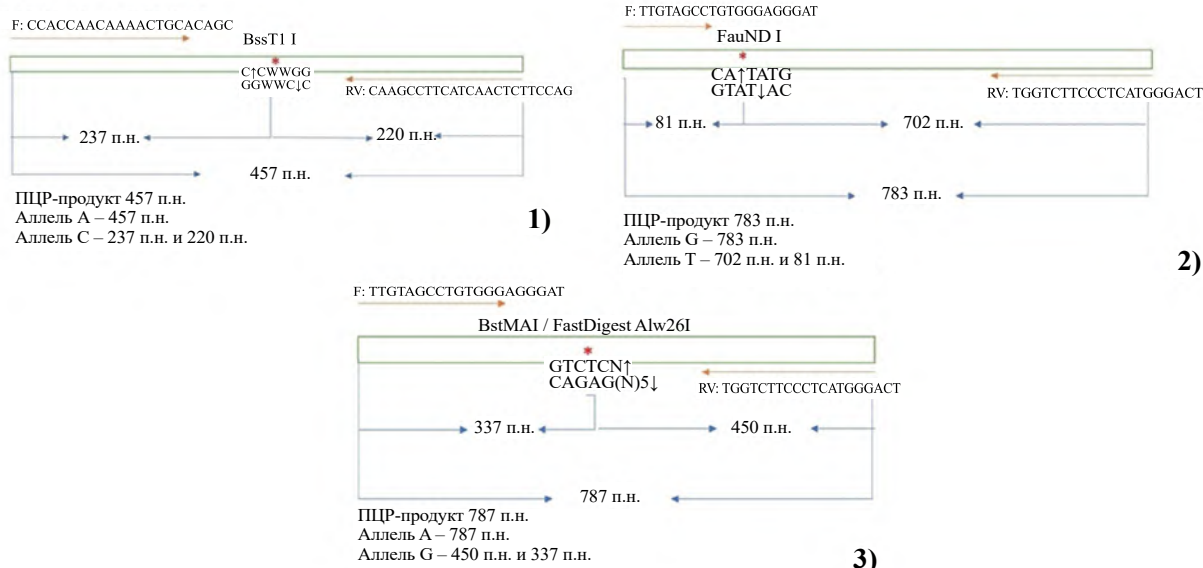


Рис. 2. Тест-системы для выявления SNP гена *LCORL* у кур. Показано схематичное расположение праймеров и сайта рестрикции. 1) замена rs14491003, длина ПЦР-продукта 457 п. н.; 2) замена 236G/T, длина ПЦР-продукта 783 п. н.; 3) замена 503A/G, длина ПЦР-продукта 787 п. н.

Fig. 2. Test systems for detection of SNPs of the *LCORL* gene in chickens. Schematic location of primers and restriction site are shown. 1) replacement rs14491003, PCR product length 457 bp; 2) replacement 236G/T, PCR product length 783 bp; 3) replacement 503A/G. PCR product length 787 bp



² ЦКП «Генетическая коллекция редких и исчезающих пород кур».

<https://vniigen.ru/ckp-geneticheskaya-kollekciya-redkix-i-ischezayushix-porod-kur/>

³ https://vniigen.ru/wp-content/uploads/2023/10/Azovtseva_A_I_praktikum_DNK.pdf?x26163

Амплификацию проводили на приборе Thermal Cycler T100 (Bio-Rad, США) по следующему режиму: 1) предварительная денатурация — 2 мин., 94 °C; 2) 35 циклов основного процесса: 30 сек. — 94 °C, 30 сек. — 58–62 °C, 30 сек. — 72 °C; 3) окончательная достройка — 10 мин., 72 °C. После амплификации проводили обработку ампликонов ферментами рестрикции (табл. 1).

Для рестрикции в пробирку с ампликоном добавляли необходимый объем фермента в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя, перемешивали и ставили на инкубацию при соответствующей температуре. Смесь после рестрикции вносили в лунки агарозного геля концентрацией 1,5%, содержащего флуоресцентный краситель бромистый этидий и ТВЕ-буфер (45 мМ трис-борат, 1 мМ ЭДТА). Электрофорез проводили в течение 20 мин. при рабочем напряжении 180 В. Для определения длины полученных продуктов использовали ДНК-маркер pUC/MspI («Евроген», Россия) с шагом 100 бп. Сигнал флуоресценции детектировали в системе гель-документации фирмы Kodak.

Оценку генетического равновесия по выявленным однонуклеотидным заменам рассчитывали с помощью критерия Харди — Вайнберга. За критический уровень принимали значение $\chi^2 = 3,84$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунке 3 представлены результаты анализа ПЦР-ПДРФ с использованием предложенных тест-систем.

Таблица 1. Основные характеристики эндонуклеаз рестрикции, используемых для тест-систем
Table 1. The basic characteristics of restriction endonucleases used for test systems

Замена	Наименование рестриктазы (фирма-производитель)	Сайт рестрикции	Условия рестрикции
rs14491003	BssT1 I (НПО «СибЭнзим»)	C↑CWWGG GGWWC↓C	60 мин., 60 °C
236G/T	FauND I (НПО «СибЭнзим»)	CA↑TATG GTAT↓AC	60 мин., 37 °C
503A/G	BstMAI (НПО «СибЭнзим»)	GTCTCN↑ CAGAG(N)5↓	60 мин., 55 °C

Данные по распределению частот генотипов и аллелей гена *LCORL* у кур анализируемых групп показали следующее (табл. 2). В результате генотипирования по rs14491003 у кур пород карликовый кохинхин и шелковая определен только гомозиготный генотип CC. У кур новопавловской золотистой породы 83,3% особей имели генотип CC, у 16,7% особей был выявлен гетерозиготный генотип CG. Гомозиготные особи с генотипом GG в исследуемой выборке не встречались. Возможно, на такие результаты повлияло относительно небольшое поголовье ($n = 48$), которое удалось генотипировать.

По SNP 236G/T гена *LCORL* три возможных варианта генотипов выявлено только в выборке кур шелковой породы. При некотором избытке гетерозигот (66,7%) частота встречаемости аллелей была практически равнозначной — $G = 0,467$ и $C = 0,533$. Выборки кур пород карликовый кохинхин

Рис. 3. Электрофореграммы результатов анализа ПЦР-ПДРФ по заменам в гене *LCORL*: 1) генотипы по замене rs14491003; 2) генотипы по замене 236G/T; 3) генотипы по замене 503A/G; M — маркер молекулярных масс, а — ампликон

Fig. 3. Electrophoregrams of PCR-PDRF analysis results for substitutions in the *LCORL* gene: 1) genotypes for the rs14491003 substitution; 2) genotypes for the 236 G/T substitution; 3) genotypes for the 503A/G substitution; M — molecular mass marker, a — amplicon

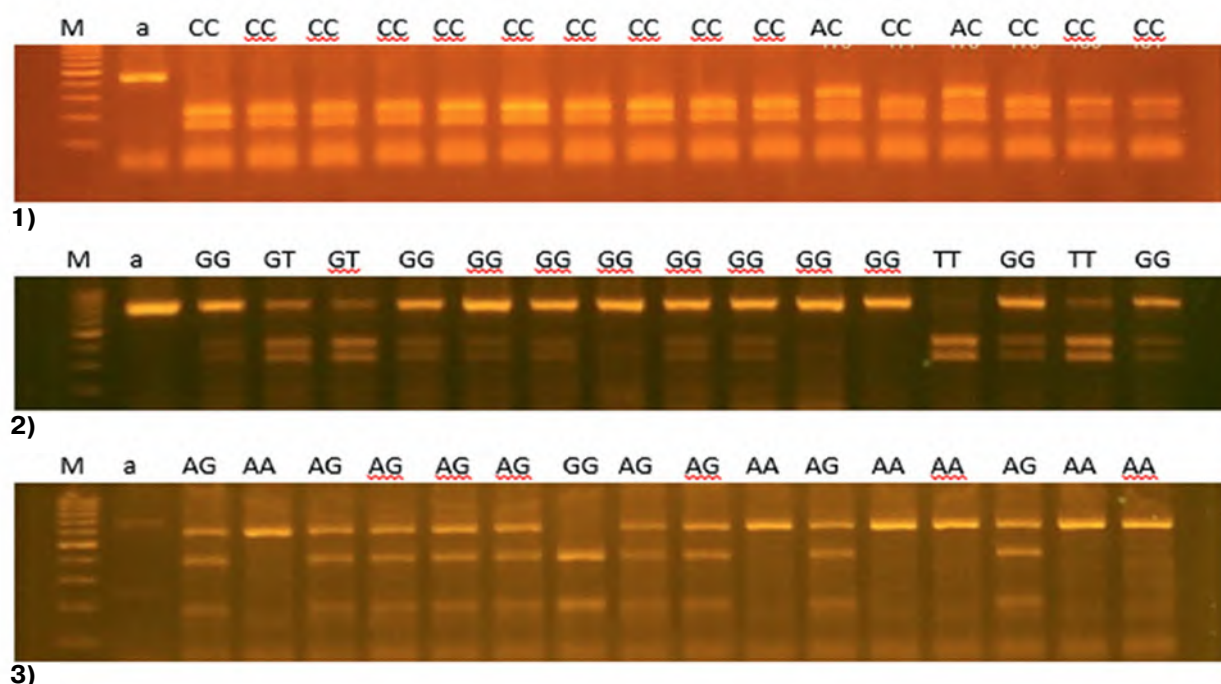


Таблица 2. Распределение частот генотипов и аллелей гена *LCORL* у кур анализируемых группTable 2. Frequency distribution of genotypes and alleles of *LCORL* gene in chickens of the analyzed groups

Порода	Генотип	n	Частота генотипов	Частота аллелей	χ^2
<i>rs14491003</i>					
Карликовый кохинхин	CC	30	1,00	C 1,00	–
	CG	–	–	G –	
	GG	–	–		
Шелковая	CC	30	1,00	C 1,00	–
	CG	–	–	G –	
	GG	–	–		
Новопавловская золотистая	CC	40	0,833	C 0,917	0,40
	CG	8	0,167	G 0,083	
	GG	0	0		
<i>SNP 236G/T</i>					
Карликовый кохинхин	GG	30	1,00	G 1,00	–
	GT	–	–	T –	
	TT	–	–		
Шелковая	GG	4	0,133	G 0,467	3,45
	GT	20	0,667	T 0,533	
	TT	6	0,200		
Новопавловская золотистая	GG	48	1,00	G 1,00	–
	GT	–	–	T –	
	TT	–	–		
<i>SNP 503A/G</i>					
Карликовый кохинхин	AA	3	0,100	A 0,400	1,88
	AG	18	0,600	G 0,600	
	GG	9	0,300		
Шелковая	AA	15	0,500	A 0,717	0,13
	AG	13	0,433	G 0,283	
	GG	2	0,067		
Новопавловская золотистая	AA	4	0,083	A 0,302	0,07
	AG	21	0,438	G 0,698	
	GG	23	0,479		

и новопавловская золотистая оказались моноформны по аллелю G.

По SNP 503A/G во всех выборках птицы определены три генотипа гена *LCORL*. В группе кур породы карликовый кохинхин преобладал генотип AG (60%) при высокой встречаемости аллеля G (60%). В выборке кур шелковой породы преобладал аллель A (71,7%), 50% особей имели гомозиготный генотип AA. Среди кур породы новопавловская золотистая генотип AG определен у 48,3% особей, гомозиготный генотип GG — у 47,9%. Рассчитанная при этом частота аллеля G составила 0,698. По всем анализируемым полиморфным SNP гена *LCORL* не выявлено сдвига генетического равновесия ($\chi^2 < 3,84$).

ДНК-маркеры представляют собой полиморфные участки генома, функции которых не всегда известны, в то время как положение на ДНК определено. Спектр полиморфных ДНК-маркеров, используемых для анализа генетического разнообразия в популяциях сельскохозяйственных животных и птиц, достаточно широк. Это повторяющиеся участки ДНК (микро- и мини-сателлиты, STR-маркеры и др.), вставки и делеции, замены единичных нуклеотидов [18].

Полиморфные ДНК-маркеры активно используются для изучения геномов животных и птиц благодаря тому, что сочетают в себе уникальные свойства. Технология их изучения чаще всего доступна, не требует наличия дорогостоящего оборудования и реагентов. В то же время полученные результаты дают ценную информацию о популяциях. В некоторых случаях реально обнаружить маркерные участки ДНК [19, 20].

В данном исследовании не все рассмотренные SNP оказались информативными. Так, по замене rs14491003 полиморфизм был обнаружен лишь у новопавловских золотистых кур. Ранее при изучении этой же замены у кур пород пушкинская, русская белая и царскосельская наблюдалось отсутствие аллеля G в изучаемых популяциях [15]. Расширение выборки новопавловских золотистых позволит получить больше информации о распространении этого аллеля.

У шелковых кур наблюдалась практически равная частота аллелей G и T в SNP 236G/T гена *LCORL*, в то время как в двух других выборках аллель T не встречался. Анализ большего числа полиморфизмов и разница по частоте встречаемости тех или иных аллелей в разных популяциях могут стать основой для описания генетического профиля породы. В дальнейшем эту информацию можно использовать для паспортизации популяций.

Для получения полной информации о полиморфизмах в гене *LCORL* следует рассмотреть возможность применения в будущих исследованиях более современных методов генотипирования (например, HRM или NGS).

Выводы/Conclusions

Результаты исследований показали, что генетическая структура изученных популяций кур декоративных пород по полиморфным вариантам гена *LCORL* неоднородна. По rs14491003 гена *LCORL* полиморфизм установлен только в популяции кур новопавловская золотистая, где 83,3% особей имели генотип CC. По SNP 236G/T гена *LCORL* три возможных варианта генотипов выявлены только в выборке кур шелковой породы, наблюдалась практически равнозначная частота встречаемости аллелей G (0,467) и C (0,533). По SNP 503A/G во всех выборках птицы определены три генотипа гена *LCORL*.

У кур пород карликовый кохинхин и новопавловская золотистая преобладал аллель G (0,600 и 0,698 соответственно). В выборке кур шелковой породы преобладал аллель A (0,717). По всем анализируемым полиморфным SNP гена *LCORL* не выявлено сдвига генетического равновесия ($\chi^2 < 3,84$). Расширение объемов выборки позволит уточнить полученные данные и повысит их статистическую достоверность.

Изучение геномов кур декоративных пород может быть полезно для понимания особенностей формирования их статей тела. Дальнейшее исследование анализа ассоциаций полиморфных вариантов гена *LCORL* с различными фенотипическими показателями кур позволит выявить значимые SNP, что может быть востребовано в разработке селекционных программ в декоративном куроводстве.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа проведена в рамках выполнения научных исследований Министерства науки и высшего образования РФ по теме № 124020200114-7.

FUNDING

The research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation by topic No. 124020200114-7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Паронян И.А., Юрченко О.П., Вахрамеев А.Б., Макарова А.В. Разведение малочисленных и редких пород кур. *Генетика и разведение животных*. 2016; (4): 62–66. <https://elibrary.ru/xrurtx>
2. Lawal R.A., Hanotte O. Domestic chicken diversity: Origin, distribution, and adaptation. *Animal Genetics*. 2021; 52(4): 385–394. <https://doi.org/10.1111/age.13091>
3. Malomane D.K., Weigend S., Schmitt A.O., Weigend A., Reimer C., Simianer H. Genetic diversity in global chicken breeds in relation to their genetic distances to wild populations. *Genetics Selection Evolution*. 2021; 53: 36. <https://doi.org/10.1186/s12711-021-00628-z>
4. Jiang S. *et al.* Environmental adaptation and genetic insights: Cloning, bioinformatics, and tissue expression analysis of the *LCORL* gene in Guangxi Partridge Chicken. *Chemosphere*. 2024; 369: 143893. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143893>
5. Ларкина Т.А., Позовникова М.В., Вахрамеев А.Б., Федорова З.Л. Анализ экспрессии гена *LCORL* у кур русской белой породы в реперные точки роста и физиологического созревания. *Молочнохозяйственный вестник*. 2024; (4): 83–99. <https://elibrary.ru/fiilgn>
6. Weikard R. *et al.* Metabolomic profiles indicate distinct physiological pathways affected by two loci with major divergent effect on *Bos taurus* growth and lipid deposition. *Physiological Genomics*. 2010; 42A(2): 79–88. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00120.2010>
7. Dou T. *et al.* Genetic architecture and candidate genes detected for chicken internal organ weight with a 600 K single nucleotide polymorphism array. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2018; 32(3): 341–349. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0274>
8. Shen M. *et al.* A genome-wide study to identify genes responsible for oviduct development in chickens. *PLoS ONE*. 2017; 12(12): e0189955. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189955>
9. Деметьева Н.В., Ларкина Т.А., Митрофанова О.В., Федорова Е.С., Позднякова Т.Э. Связь однонуклеотидного полиморфизма в гене *LCORL* с продуктивными признаками кур. *Птицеводство*. 2019; (5): 14–17. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2019-68-5-14-17>
10. Yi G. *et al.* Genome-wide association study dissects genetic architecture underlying longitudinal egg weights in chickens. *BMC Genomics*. 2015; 16: 16. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1945-y>
11. Wang J. *et al.* Elucidation of the genetic determination of body weight and size in Chinese local chicken breeds by large-scale genomic analyses. *BMC Genomics*. 2024; 25: 296. <https://doi.org/10.1186/s12864-024-10185-6>

REFERENCES

1. Paronyan I.A., Yurchenko O.P., Vakhrameev A.B., Makarova A.V. Breeding of indigenous and rare breeds of chickens. *Genetics and breeding of animals*. 2016; (4): 62–66 (in Russian). <https://elibrary.ru/xrurtx>
2. Lawal R.A., Hanotte O. Domestic chicken diversity: Origin, distribution, and adaptation. *Animal Genetics*. 2021; 52(4): 385–394. <https://doi.org/10.1111/age.13091>
3. Malomane D.K., Weigend S., Schmitt A.O., Weigend A., Reimer C., Simianer H. Genetic diversity in global chicken breeds in relation to their genetic distances to wild populations. *Genetics Selection Evolution*. 2021; 53: 36. <https://doi.org/10.1186/s12711-021-00628-z>
4. Jiang S. *et al.* Environmental adaptation and genetic insights: Cloning, bioinformatics, and tissue expression analysis of the *LCORL* gene in Guangxi Partridge Chicken. *Chemosphere*. 2024; 369: 143893. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143893>
5. Larkina T.A., Pozovnikova M.V., Vakhrameev A.B., Fedorova Z.L. Analysis of *LCORL* gene expression in the Russian White chickens at the reference points of growth and physiological maturation. *Molochnokhozyaistvenny Vestnik*. 2024; (4): 83–99 (in Russian). <https://elibrary.ru/fiilgn>
6. Weikard R. *et al.* Metabolomic profiles indicate distinct physiological pathways affected by two loci with major divergent effect on *Bos taurus* growth and lipid deposition. *Physiological Genomics*. 2010; 42A(2): 79–88. <https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00120.2010>
7. Dou T. *et al.* Genetic architecture and candidate genes detected for chicken internal organ weight with a 600 K single nucleotide polymorphism array. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2018; 32(3): 341–349. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0274>
8. Shen M. *et al.* A genome-wide study to identify genes responsible for oviduct development in chickens. *PLoS ONE*. 2017; 12(12): e0189955. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189955>
9. Dementieva N.V., Larkina T.A., Mitrofanova O.V., Fedorova E.S., Pozdnyakova T.E. Association of single nucleotide polymorphism in *LCORL* gene with the productive traits in Russian White chicken breed. *Pitisevodstvo*. 2019; (5): 14–17 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2019-68-5-14-17>
10. Yi G. *et al.* Genome-wide association study dissects genetic architecture underlying longitudinal egg weights in chickens. *BMC Genomics*. 2015; 16: 16. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1945-y>
11. Wang J. *et al.* Elucidation of the genetic determination of body weight and size in Chinese local chicken breeds by large-scale genomic analyses. *BMC Genomics*. 2024; 25: 296. <https://doi.org/10.1186/s12864-024-10185-6>

12. Wang H. *et al.* Comparative population genomics analysis uncovers genomic footprints and genes influencing body weight trait in Chinese indigenous chicken. *Poultry Science*. 2023; 102(11): 103031. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103031>

13. Bai F. *et al.* *LCORL* and *STC2* Variants Increase Body Size and Growth Rate in Cattle and Other Animals. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics*. 2025: qzaf025. <https://doi.org/10.1093/gpbjnl/qzaf025>

14. Ballan M. *et al.* Population genomic structures and signatures of selection define the genetic uniqueness of several fancy and meat rabbit breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2023; 140(6): 663–678. <https://doi.org/10.1111/jbg.12818>

15. Ларкина Т.А., Крутикова А.А., Пегливанян Г.К., Дементьева Н.В. Поиск полиморфных вариантов гена *LCORL* с помощью секвенирования по Сенгеру у пород кур различного направления продуктивности. *Аграрный вестник Урала*. 2020; (9): 48–54. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-200-9-48-54>

16. Позовникова М.В., Ларкина Т.А., Вахрамеев А.Б., Федорова З.Л., Рябова А.Е., Рейнбах Н.Р. Идентификация SNPs в локусе *LCORL-NCAPG* и анализ их связи с экстерьером кур пушкинской породы. *Птица и птицепродукты*. 2023; (2): 30–33. <https://elibrary.ru/nbaopi>

17. Рябова А.Е., Азовцева А.И., Дементьева Н.В. Влияние полиморфизма A503G в гене *LCORL* на живую массу петухов царскосельской породы. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2023; (3): 25–28. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2023-3-51-25-28>

18. Коршунова Л.Г., Карапетян Р.В. Использование генетических методов на основе ДНК-маркеров продуктивных признаков в селекции кур. *Птицеводство*. 2021; (5): 4–7. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2021-70-5-4-7>

19. Мамонтова Т.В., Айбазов М.М. Генетические маркеры в селекции животных: опыт и перспективы (обзор). *Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства*. 2016; 9(1): 480–485. <https://elibrary.ru/wvjhel>

20. Коршунова Л.Г., Карапетян Р.В., Комарчев А.С., Куликов Е.И. Ассоциации однонуклеотидных замен в генах-кандидатах с хозяйственно полезными признаками у кур (*Gallus gallus domesticus* L.) (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2023; 58(2): 205–222. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.205rus>

12. Wang H. *et al.* Comparative population genomics analysis uncovers genomic footprints and genes influencing body weight trait in Chinese indigenous chicken. *Poultry Science*. 2023; 102(11): 103031. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103031>

13. Bai F. *et al.* *LCORL* and *STC2* Variants Increase Body Size and Growth Rate in Cattle and Other Animals. *Genomics, Proteomics & Bioinformatics*. 2025: qzaf025. <https://doi.org/10.1093/gpbjnl/qzaf025>

14. Ballan M. *et al.* Population genomic structures and signatures of selection define the genetic uniqueness of several fancy and meat rabbit breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2023; 140(6): 663–678. <https://doi.org/10.1111/jbg.12818>

15. Larkina T.A., Krutikova A.A., Peglivanyan G.K., Dementieva N.V. Search for polymorphic variants of the *LCORL* gene using Sanger sequencing in chickens of various directions of productivity. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; (9): 48–54 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-200-9-48-54>

16. Pozovnikova M.V., Larkina T.A., Vakhrameev A.B., Fedorova Z.L., Ryabova A.E., Reinbakh N.R. Identification of SNPs in the *LCORL-NCAPG* gene locus and analysis of their relationship with the exterior of the Pushkin breed chickens. *Poultry & chicken products*. 2023; (2): 30–33 (in Russian). <https://elibrary.ru/nbaopi>

17. Ryabova A.E., Azovtseva A.I., Dementieva N.V. Influence of the A503G polymorphism in the *LCORL* gene on the live weight of the Tsarskoye Selo breed. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2023; (3): 25–28 (in Russian). <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2023-3-51-25-28>

18. Korshunova L.G., Karapetyan R.V. The Use of the Genetic Methods Based on the DNA Markers of the Productive Traits in the Selection of Chicken. *Ptitsevodstvo*. 2021; (5): 4–7 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2021-70-5-4-7>

19. Mamontova T.V., Aybazon M.M. Genetic markers in animal breeding: experience and prospects (review). *Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovtsevodstva i kozovodstva*. 2016; 9(1): 480–485 (in Russian). <https://elibrary.ru/wvjhel>

20. Korshunova L.G., Karapetyan R.V., Komarchev A.S., Kulikov E.I. Association of single nucleotide polymorphisms in candidate genes with economically useful traits in chickens (*Gallus gallus domesticus* L.) (review). *Agricultural Biology*. 2023; 58(2): 205–222. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.205eng>

ОБ АВТОРАХ

Марина Владимировна Позовникова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики
pozovnikova@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8658-2026>

Ольга Викторовна Митрофанова

кандидат биологических наук, ведущий биолог лаборатории молекулярной генетики
mo1969@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4702-2736>

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал Федерального исследовательского центра животноводства «ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Московское шоссе, 55А, Тярлево, Санкт-Петербург, 196601, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Marina Vladimirovna Pozovnikova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Molecular Genetics
pozovnikova@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8658-2026>

Olga Viktorovna Mitrofanova

Candidate of Biological Sciences, Leading Biologist of the Laboratory of Molecular Genetics
mo1969@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4702-2736>

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry,

55A Moskovskoe shosse, Tyarlevo, St. Petersburg, 196601, Russia

Л.П. Игнатьева ✉

Г.К. Петрякова

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

✉ ignatieva-lp@mail.ru

Поступила в редакцию: 30.01.2025

Одобрена после рецензирования: 08.05.2025

Принята к публикации: 22.05.2025

© Игнатьева Л.П., Петрякова Г.К.

Larisa P. Ignatieva ✉

Galina K. Petriyakova

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

✉ ignatieva-lp@mail.ru

Received by the editorial office: 30.01.2025

Accepted in revised: 08.05.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

© Ignatieva L.P., Petriyakova G.K.

Анализ выживаемости коров симментальской породы в зависимости от года рождения

РЕЗЮМЕ

Долголетие коров является экономически наиболее важной характеристикой в молочном животноводстве, поэтому исследования, направленные на более раннюю оценку продолжительности продуктивной жизни молочного скота, являются актуальными. Общее поголовье коров симментальской породы составило 23 587 голов. Период исследований охватывал 1999–2017 гг. Анализ выживаемости был проведен с использованием программы Survival Kit v6.1, на модели регрессии Кокса. Установлено, что наибольшее влияние на выживаемость коров симментальской породы оказывает уровень молочной продуктивности, а ее повышение выше медианных значений, то есть более 6362 кг молока в 2011–2017 гг., увеличивает риск выбытия коров симментальской породы. В целом в популяции наблюдается рост продуктивности — с 3865 кг молока до 2004 года до 6362 кг в 2011–2017 годы. Анализируя графики выживаемости коров симментальской породы в разные временные периоды, установлено, что в каждом последующем поколении выживаемость коров увеличивается в среднем на 19,1–21,0%, или с 713 до 1029 дней, что связано с повышением уровня кормления, условий содержания и лучшей работой ветеринарной службы. Проведенные исследования по анализу выживаемости для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы проводятся в России впервые и имеют поисковый характер. Использование метода регрессии Кокса позволяет упростить вычисления и облегчает генетические и негенетические исследования долголетия у молочных коров, что в дальнейшем позволит включить данный показатель в общий селекционный индекс.

Ключевые слова: симментальская порода, анализ выживаемости, продуктивное долголетие, молочная продуктивность

Для цитирования: Игнатьева Л.П., Петрякова Г.К. Анализ выживаемости коров симментальской породы в зависимости от года рождения. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 94–100. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-94-100>

Survival analysis of Simmental cows was depending on the year of birth

ABSTRACT

Longevity of cows is the most economically important characteristic in dairy cattle breeding, so studies aimed at an earlier assessment of the productive life expectancy of dairy cattle are relevant. The total population of Simmental cows was 23 587 animals, the study period covered 1999–2017. Survival analysis was carried out using the Survival Kit v6.1 program, using the Cox regression model. It has been established that the greatest impact on the survival of Simmental cows is exerted by the level of milk productivity, and its increase above the median values, that is, more than 6362 kg of milk in the period 2011–2017, increases the risk of Simmental cows leaving. In the general population has seen an increase in productivity — from 3865 kg of milk in the period before 2004 to 6362 kg in the period 2011–2017. Analyzing the survival graphs of Simmental cows in different time periods, it was found that in each subsequent generation, the survival of cows increases by an average of 19.1–21.0% or from 713 to 1029 days. This is due to an increase in the level of feeding, housing conditions and better work of the veterinary service. The studies conducted to analyze survival to assess the productive longevity of Simmental cows are being conducted in Russia for the first time and are of an exploratory nature. The use of the Cox regression method simplifies calculations and facilitates genetic and non-genetic studies of longevity in dairy cows, which will subsequently allow this indicator to be included in the general selection index.

Key words: simmental breed, survival analysis, lifelong productivity, milk productivity

For citation: Ignatieva L.P., Petriyakova G.K. Survival analysis of Simmental cows depending on the year of birth. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 94–100 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-94-100>

Введение/Introduction

С точки зрения функциональных характеристик долголетие коров — экономически наиболее важная характеристика в молочном животноводстве. Длительный период нахождения коровы в стаде приводит к полному использованию возрастного максимума продуктивности, снижению соразмерных затрат на выращивание и повышение интенсивности внутреннего обора в стаде [1–3]. В последние годы долголетие коров снижается, поэтому этот важный показатель начали включать в оценки племенной ценности крупного рогатого скота.

Существует несколько критериев, по которым оценивают долголетие: возраст выбытия коров (в отелах или лактациях), продолжительность продуктивной жизни (в днях или месяцах), пожизненная продуктивность (суммарный удой за все лактации). Для расчета этих показателей требуется знать дату выбраковки животных, прежде чем начинать какой-либо анализ. Для преодоления этой трудности была разработана концепция выживаемости, чтобы охарактеризовать способность коровы оставаться в стаде в течение определенного времени и продуцировать молоко (то есть это доля коров, которые еще живы в изучаемое время (например, 48 мес.) или в начале конкретного номера лактации) [4, 5].

В разных странах мира долголетие оценивают по-разному. Так, в Канаде средний возраст выбраковки составляет от 61,7 до 63,7 месяца. В Нидерландах продолжительность жизни постоянно увеличивалась — с 65,2 до 72,1 месяца. Долголетие в Швеции находится на уровне от 60,0 до 60,5 месяцев. В США сначала наблюдалось снижение продолжительности продуктивного использования коров — с 36,5 до 28,4 месяца (от первого отела до выбраковки), однако начиная с 2009 года в связи с быстрым внедрением геномного тестирования в США племенная ценность по показателю продолжительности продуктивной жизни стала существенно увеличиваться за счет снижения интервала между поколениями быков и повышения скорости генетического прогресса.

В Новой Зеландии измеряют долголетие как выживаемость до определенного возраста, при этом доля коров, доживающих до следующей лактации, была почти идентичной во всех возрастных группах (6–7 лет, 7–8 лет, 8-летние и 9-летние). В Дании в 1990-х гг. коровы имели среднюю продолжительность продуктивной жизни приблизительно 825 дней, однако в 2018 г. она увеличилась до 975 дней. В то же время продуктивное долголетие в Дании остается ниже, чем в других странах Европы, и сопоставимо с оценками в США [6].

В настоящее время появилась возможность включать в оценку продолжительности

продуктивной жизни цензурированные записи (то есть включать животных, всё еще живых на момент анализа, представленные как самая низкая возможная граница их продолжительности жизни), что позволило разработать специальные статистические методы [7]. Анализ выживаемости — один из таких методов, изначально широко применялся в медицинских исследованиях для оценки продолжительности жизни при изучении эффективности методов лечения [8, 9].

Зарубежные исследователи рассматривают продолжительность жизни как непрерывную переменную и чаще всего анализируют с использованием моделей выживания Вейбулла, Кокса или Каплана — Майера, основанных на работе В.П. Дюкрока и др. [7].

Большинство стран в мире включают признаки, связанные с долголетием, в национальные системы оценки племенной ценности крупного рогатого скота и селекционные индексы наравне с показателями продуктивности, здоровья и воспроизводства [10–13]. В Австрии общая племенная ценность симментальского скота является основным критерием отбора быков и коров (начиная с 1998 г.) вместе с Германией (с 2002 г.) и Чехией (2016 г.)¹. Общая племенная ценность является селекционным индексом, рассчитанная по отдельным признакам по трем основным направлениям: 18% — мясная продуктивность (4% — среднесуточный прирост, 7% — выход туши, 7% — сортность туши), 38% — молочная продуктивность (18,6% — количество молочного жира в кг, 19,4% — количество молочного белка в кг), 44% — фитнес (14% — фертильность, 10% — срок полезного использования, 10% — здоровье вымени, 5% — жизнеспособность, 3% — выживаемость, 1% — легкость отела, 1% — скорость молокоотдачи)². При оценке племенной ценности по долголетию в модель включают такой показатель, как выживаемость (учитывается максимум до 7-го отела, где каждая лактация рассматривается как определенный период, относительно которого определяют, выжила корова или нет)³.

В настоящее время долголетие коров оценивают только после выбытия животного из стада, поэтому исследования, направленные на более раннюю оценку продолжительности продуктивной жизни молочного скота, являются актуальными, а использование анализа выживаемости позволяет не только определить риски преждевременного выбытия животных, но и дает возможность включить исследуемый показатель в селекционный индекс для оценки общей племенной ценности симментальского скота российской популяции.

Цель исследования — провести анализ выживаемости коров симментальской породы с использованием модели регрессии Кокса, основанной

¹ Оценка общей племенной ценности крупного рогатого скота в Австрии. <https://www.zuchtwert.at/downloads/ZWS/Nutzungsdauer.pdf/>

² https://dairynews.ru/upload/olympiad/Карин_Доппельбауэр_Ситуация_на_рынке_генетики_в_Австрии.pdf

³ Оценка племенной ценности продуктивного долголетия крупного рогатого скота в Австрии. <https://zuchtwert.at/content/pdf/en/Longevity.pdf/>

на функции риска, с включением данных по молочной продуктивности коров и в зависимости от года рождения.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Основой для сбора и систематизации информации племенного учета послужили данные информационно-аналитической системы «Селэкс. Молочный скот» (РЦ «Плинор», Россия), база данных включает 14 регионов РФ: Брянскую, Иркутскую, Оренбургскую, Орловскую, Липецкую, Тамбовскую, Саратовскую, Новосибирскую, Воронежскую, Тюменскую области, Алтайский край, республики Хакасия, Башкирия и Мордовия. Общее поголовье составило 23 587 коров симментальской породы, рожденных в 1999–2017 гг.

Продолжительность продуктивной жизни была рассчитана как количество дней между первым отелом и выбраковкой или смертью (выбраковкой) коровы в стаде. Основные показатели, которые были использованы в исследованиях: продолжительность продуктивной жизни в днях, год рождения, отела и выбытия коров из стада, молочная продуктивность (удой, количество молочной жира и белка за лактацию) и живая масса.

Весь массив данных был разделен на три группы в зависимости от года рождения: 1999–2004 гг. ($n = 128$ голов), 2005–2010 гг. ($n = 3806$ голов), 2011–2017 г. ($n = 19\,653$ голов).

В анализ были включены цензурированные записи для коров (все еще живых на момент анализа), представленные как самая низкая возможная граница их продолжительности жизни, так и бывших животных.

Анализ выживаемости коров симментальской породы до определенного возраста был проведен с использованием программы Survival Kit v6.1 (Австрия)⁴. Анализ выживаемости (Survival Analysis) — это статистический метод исследования, он называется анализом времени жизни и позволяет оценивать вероятность выживания и выявить факторы, которые могут повлиять на него.

В настоящих исследованиях для анализа выживаемости использовали метод Кокса (Cox regression) [14], который основан на предположении о линейной зависимости между логарифмом отношения шансов (отношения вероятностей) и значением объясняющих переменных (факторов).

Оценку выживаемости проводили непараметрическим методом Каплана — Майера, где вероятность выживания $S(t)$ рассчитывалась как доля животных, остающихся в группе риска в каждый момент времени, с учетом цензурированных данных.

Статистическую значимость различий между группами определяли с помощью log-rank-теста при уровне $p < 0.05$.

В исследованиях KM estimator принимает значения от 0 до 1, где 1 = 100% животных, а 0,5 = 50%

животных (и так далее), подверженных риску в данный момент времени.

Survival Kit состоит из трех программ: Prepare (для подготовки данных), Cox (для анализа по модели Кокса) и Weibull (для анализа по модели с базовой функцией риска Вейбулла). Были предоставлены скомпилированные исполняемые файлы для Windows и Linux вместе с исходным кодом. К Survival Kit прилагался набор вспомогательных программ: digamma (программа для преобразования значения гаммы в тригамму), simul (моделирование базы данных для Survival Kit), sortSKit (автономная функция R для сортировки перекодированного файла данных), SurvKit4R (пакет интерфейса R для Survival Kit v6.12 с графическими возможностями). Функция интерфейса последовательно выполняет все шаги (подготовка Кокса или Вейбулла в соответствии со спецификацией пользователя), включая сортировку данных при необходимости.

Survival Kit предназначен для анализа выживания с использованием модели пропорциональных рисков с одним временем отклика. Эти модели описывают функцию риска каждого индивидуума (то есть его предельную вероятность смерти в момент времени t при условии, что он всё еще жив непосредственно перед t) как произведение базовой функции риска и положительной (экспоненциальной) функции объясняющих ковариатов. Базовая функция риска может быть параметрической или неопределенной (модель Кокса, 1979 г.) [14].

Модель регрессии Кокса основана на функции риска и имеет следующий вид [15]:

$$H(t) = H_0(t) \times \exp[b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_k x_k], \quad (1)$$

где: $H_0(t)$ — это базовый риск в момент времени t , который является риском для индивидуума, у которого предикторы установлены на 0; $b_1 \dots b_k$ — экспонента коэффициента регрессии (непосредственно предоставленного программным обеспечением) данного фактора риска или предиктора в модели; $x_1 \dots x_k$ — представляет собой переменные предикторы.

Медианная выживаемость была рассчитана как момент времени с начала анализа, когда кумулятивная выживаемость (доля объектов, у которых событие не произошло на момент начала определенного интервала времени) падает ниже 50% (точка на временной оси, в которой кумулятивная функция выживания равна 0,5). Доверительный интервал составляет 95%.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На первом этапе был проведен анализ выживаемости, для того чтобы определить параметры, которые оказывают наибольшее влияние на риск

⁴ <https://boku.ac.at/agri/nuwi/software>

преждевременного выбытия коров симментальской породы. В результате был построен график, который представлен на рисунке 1.

Анализируя данные, видим, что из проанализированных четырех признаков (удой, кг; количество молочного жира, кг; количество молочного белка, кг; живая масса, кг) наибольшее влияние на выживаемость коров оказывает удой за лактацию, а в меньшей степени — живая масса.

На следующем этапе вся исследуемая популяция симментальского скота была разделена на три группы в зависимости от года рождения, а исследования были направлены на выявления критических точек по двум показателям — количеству продуктивных дней жизни и уровню молочной продуктивности.

Графики выживаемости коров симментальской породы в разные временные периоды представлены на рисунке 2, где синяя линия — это средние значения количества продуктивных дней, а красные линии — доверительный интервал, куда

вошли 95% коров при нормальном распределении признака $\pm 3\sigma$.

Как видим, у коров симментальской породы, рожденных в 1999–2004 гг. (рис. 2), медианная выживаемость составила 713 дней продуктивной жизни. В 2005–2010 гг. (рис. 3) этот показатель увеличился на +150 дней и составил 863 дня в сравнении с первым периодом, в 2011–2017 гг. (рис. 4) — на +166 дней и составил 1029 дней в сравнении со вторым периодом.

Необходимо отметить: если до 2004 года кривая выживаемости имела резкий спад после 1000 дней жизни, то к 2017 году этот показатель имеет практически прямую линию, а доверительный интервал близко расположен к средним значениям по группе, что говорит о консолидации данных, чего не наблюдаем в более ранний период — 1999–2004 гг. Возможно, это связано с меньшим поголовьем коров в данный временной период. Следовательно, в каждом последующем поколении выживаемость

Рис. 1. График выживаемости коров симментальской породы с учетом удоя (синяя линия), количества молочного жира (оранжевая линия), белка (зеленая линия) и живой массы (красная линия) (пунктирная линия — медианная выживаемость)

Fig. 1. Survival graph of Simmental cows, taking into account milk yield (blue line), milk fat (orange line), milk protein (green line) and live weight (red line) (dotted line — median survival rate)

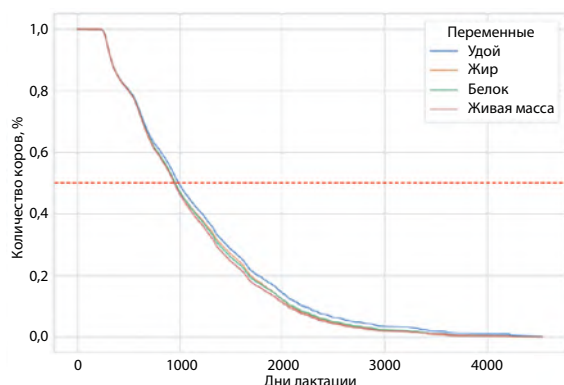


Рис. 2. График выживаемости коров симментальской породы, рожденных в 1999–2004 гг.: days — количество продуктивных дней; KM estimate — доля коров, доживших до определенного возраста, %; пунктирные линии — медианная выживаемость; красные линии — доверительный интервал

Fig. 1. Survival graph of Simmental cows born in 1999–2004: days — number of productive days; KM estimate — percentage of cows who lived to a certain age, %; dotted lines — median survival; red lines — confidence interval

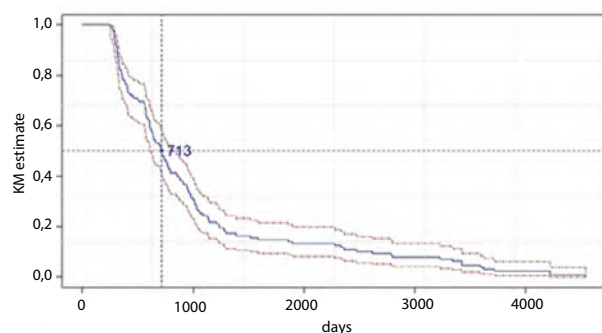


Рис. 3. График выживаемости коров симментальской породы, рожденных в 2005–2010 гг.: days — количество продуктивных дней; KM estimate — доля коров, доживших до определенного возраста, %; пунктирные линии — медианная выживаемость; красные линии — доверительный интервал

Fig. 3. Survival graph of Simmental cows born in 2005–2010: days — number of productive days; KM estimate — proportion of cows surviving to a certain age, %; dotted lines — median survival; red lines — confidence interval

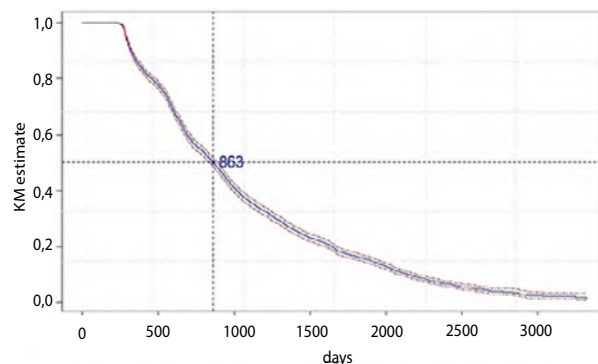
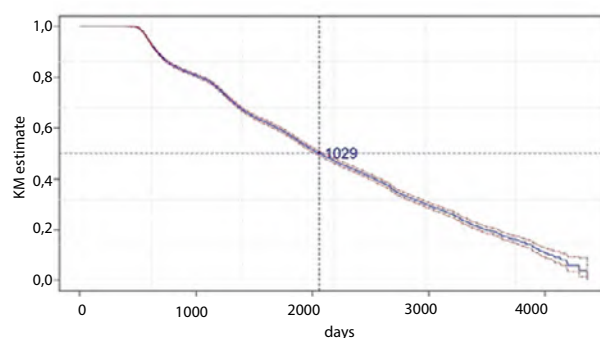


Рис. 4. График выживаемости коров симментальской породы, рожденных в 2011–2017 гг.: days — количество продуктивных дней; KM estimate — доля коров, доживших до определенного возраста, %; пунктирные линии — медианная выживаемость; красные линии — доверительный интервал

Fig. 4. Survival graph of Simmental cows born in 2011–2017: days — number of productive days; KM estimate — proportion of cows surviving to a certain age, %; dotted lines — median survival; red lines — confidence interval



коров повышалась в среднем на 19,1–21,0%, при этом продолжительность продуктивной жизни варьировала от 23,8 месяца в 1999–2004 гг. до 34,3 месяца в 2011–2017 гг., после чего риск выбытия коров резко увеличивается.

На рисунках 5–7 представлены графики выживаемости с учетом влияния удоя за лактацию у коров симментальской породы и в зависимости от года рождения. Так, у коров, рожденных в 1999–2004 гг. (рис. 5), медианная выживаемость соответствовала удою 3865 кг молока, в 2005–2010 гг. (рис. 6) этот показатель увеличился на +1029 кг молока (26,6%) и составил 4894 кг, а в 2011–2017 гг. (рис. 7) — на +1468 кг молока (29,9%) и достиг 6362 кг молока соответственно предыдущему периоду. При этом средний уровень молочной продуктивности в популяции составил 5017 кг молока.

В целом в 1999–2017 гг. идет поступательный рост продуктивности на +2497 кг молока за 18 лет (или +139 кг молока в среднем в год). Видно, что доверительный интервал в первый период (1999–2004 гг.) достаточно широкий, а в поздний (2011–2017 гг.) данные более консолидированы. Следовательно, можно сделать вывод, что повышение молочной продуктивности у коров симментальской породы в зависимости от года рождения выше медианных значений в 3865–6362 кг молока, увеличивает риск выбытия коров.

В заключение можно сказать, что метод Кокса, как мощный и популярный метод регрессии для изучения влияния факторов риска на выживаемость, может быть применен в популяции симментальской породы для анализа выживаемости коров, а включение изучаемых факторов в будущие оценки продуктивного долголетия и программы разведения симментальского скота будет способствовать более точному их прогнозированию.

Выводы/Conclusions

Установлено, что в каждом последующем поколении выживаемость коров увеличивается в среднем на 19,1–21,0%, при этом продолжительность продуктивной жизни варьировала от 23,8 месяца в 1999–2004 гг. до 34,3 месяца в 2011–2017 гг. Предполагаем, что повышение продуктивного долголетия (выживаемости) животных, рожденных в 2011–2017 гг., связано с большим влиянием паратипических факторов, обусловленных улучшением условий содержания, полноценностью кормления, а также более тщательным зооветеринарным контролем поголовья.

Медианная выживаемость составила 713–1029 дней продуктивной жизни при уровне молочной продуктивности 3865–6362 кг молока, увеличение данных показателей выше медианных значений увеличивает риск выбытия коров симментальской породы. Использование метода регрессии Кокса позволяет упростить

Рис. 5. График выживаемости коров симментальской породы с учетом удоя за лактацию, рожденных в 1999–2004 гг.: lactation — удой за лактацию, кг; KM estimate — доля коров, доживших до определенного возраста в зависимости от удоя, %; пунктирные линии — медианная выживаемость; красные линии — доверительный интервал

Fig. 5. Survival chart of Simmental cows, taking into account milk yield per lactation, born in 1999–2004: lactation — milk yield per lactation, kg; KM estimate — proportion of cows who lived to a certain age depending on milk yield, %; dotted lines — median survival; red lines — confidence interval

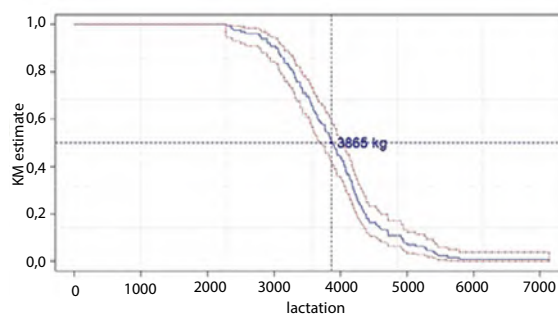


Рис. 6. График выживаемости коров симментальской породы с учетом удоя за лактацию, рожденных в 2005–2010 гг.: lactation — удой за лактацию, кг; KM estimate — доля коров, доживших до определенного возраста в зависимости от удоя, %; пунктирные линии — медианная выживаемость; красные линии — доверительный интервал

Fig. 6. Survival graph of Simmental cows, taking into account milk yield per lactation, born in 2005–2010: lactation — milk yield per lactation, kg; KM estimate — proportion of cows surviving to a certain age depending on milk yield, %; dotted lines — median survival; red lines — confidence interval

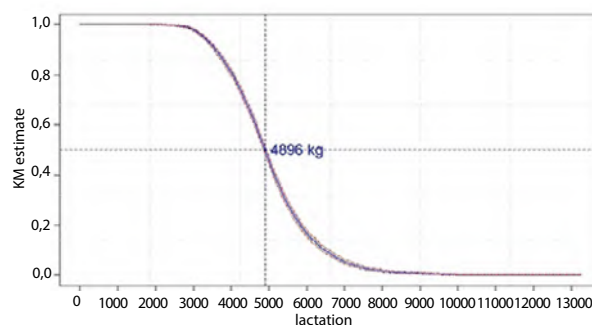
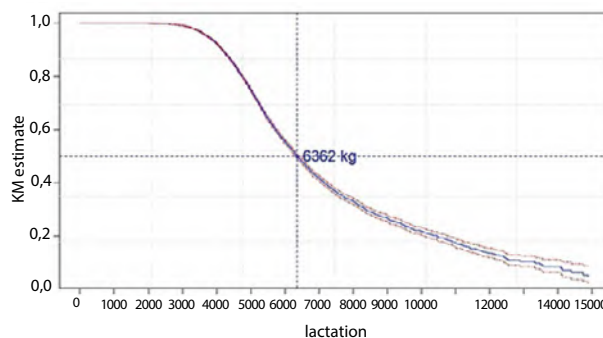


Рис. 7. График выживаемости коров симментальской породы с учетом удоя за лактацию, рожденных в 2011–2017 гг.: lactation — удой за лактацию, кг; KM estimate — доля коров, доживших до определенного возраста в зависимости от удоя, %; пунктирные линии — медианная выживаемость; красные линии — доверительный интервал

Fig. 7. Survival graph of Simmental cows, taking into account milk yield per lactation, born in 2011–2017: lactation — milk yield per lactation, kg; KM estimate — proportion of cows surviving to a certain age depending on milk yield, %; dotted lines — median survival; red lines — confidence interval



вычисления и облегчает дальнейшие генетические и негенетические исследования долголетия у молочных коров.

Исследования по анализу выживаемости для оценки продуктивного долголетия коров

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

Научные исследования выполнены в рамках темы государственного задания Минобрнауки РФ № 124020200029-4 (FGGN-2024-0013), а также в рамках работы селекционного центра (ассоциации) по крупному рогатому скоту симментальской породы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Игнатьева Л.П., Сермягин А.А. Продолжительность продуктивной жизни коров симментальской породы. *Аграрный вестник Урала*. 2021; (10): 31–39. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-213-10-31-39>
- Анисимова Е.И. Продуктивное долголетие коров симментальской породы разных внутрипородных типов. *Аграрный научный журнал*. 2024; (6): 58–62. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i6pp58-62>
- Левина Г.Н., Зелепукина М.В., Руднева Т.Н., Литовкина Г.Н. Продуктивное долголетие коров симментальской породы в зависимости от величины удоя, способа содержания и быков-отцов из разных стран. *Молочное и мясное скотоводство*. 2020; (3): 11–16. <https://doi.org/10.33943/MMS.2020.85.15.003>
- De Vries A. Symposium review: Why revisit dairy cattle productive lifespan?. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(4): 3838–3845. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17361>
- Brickell J.S., Wathes D.C. A descriptive study of the survival of Holstein-Friesian heifers through to third calving on English dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94(4): 1831–1838. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3710>
- Schuster J.C., Barkema H.W., De Vries A., Kelton D.F., Orsel K. Invited review: Academic and applied approach to evaluating longevity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(12): 11008–11024. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19043>
- Ducrocq V.P., Quaas R.L., Pollak E.J., Casella G. Length of productive life of dairy cows. 1. Justification of a Weibull model. *Journal of Dairy Science*. 1988; 71(11): 3061–3070. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79906-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79906-3)
- Куликов С.М., Паровичникова Е.Н., Савченко В.Г. Анализ выживаемости или событийный анализ: типовые ошибки ретроспективного метода. Клиническая онкогематология. *Фундаментальные исследования и клиническая практика*. 2010; 3(2): 176–183. <https://www.elibrary.ru/mwixmb>
- Васильев Ю.А. Разработка библиотеки древовидных моделей анализа выживаемости. Вестник Московского университета. Серия 15: *Вычислительная математика и кибернетика*. 2024; (3): 60–72. <https://www.elibrary.ru/hkuslc>
- Weigel K.A., VanRaden P.M., Norman H.D., Grosu H. A 100-Year Review: Methods and impact of genetic selection in dairy cattle — from daughter — dam comparisons to deep learning algorithms. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10234–10250. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12954>
- Miglior F., Fleming A., Malchiodi F., Brito L.F., Martin P., Baes C.F. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10251–10271. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12968>
- Hare E., Norman H.D., Wright J.R. Survival Rates and Productive Herd Life of Dairy Cattle in the United States. *Journal of Dairy Science*. 2006; 89(9): 3713–3720. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72412-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72412-2)
- Černá M. et al. Genetic Parameters for a Weighted Analysis of Survivability in Dairy Cattle. *Animals*. 2023; 13(7): 1188. <https://doi.org/10.3390/ani13071188>
- Cox D.R. A note on the graphical analysis of survival data. *Biometrika*. 1979; 66(1): 188–190. <https://doi.org/10.1093/biomet/66.1.188>

симментальской породы проводили в России впервые и имели поисковый характер. В дальнейшей работе база данных будет пополняться, а графики выживаемости будут корректироваться с включением новых показателей.

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 funded by Ministry of Science and Higher Education No. 124020200029-4 (FGGN-2024-0013) and the work of the breeding center (association) for Simmental cattle.

REFERENCES

- Ignatyeva L.P., Sermyagin A.A. Length of productive life the cows of Simmental breed. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; (10): 31–39 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-213-10-31-39>
- Anisimova E.I. Productive longevity of Simmental cows of different intrabreed types. *Agrarian Scientific Journal*. 2024; (6): 58–62 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i6pp58-62>
- Levina G.N., Zelepukina M.V., Rudneva T.N., Litovkina G.N. Productive longevity of Simmental breed cows, depending on the volume of milk yield, method of keeping and stud-bulls from different countries of origin. *Dairy and beef cattle farming*. 2020; (3): 11–16 (in Russian). <https://doi.org/10.33943/MMS.2020.85.15.003>
- De Vries A. Symposium review: Why revisit dairy cattle productive lifespan?. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(4): 3838–3845. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17361>
- Brickell J.S., Wathes D.C. A descriptive study of the survival of Holstein-Friesian heifers through to third calving on English dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94(4): 1831–1838. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3710>
- Schuster J.C., Barkema H.W., De Vries A., Kelton D.F., Orsel K. Invited review: Academic and applied approach to evaluating longevity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103(12): 11008–11024. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19043>
- Ducrocq V.P., Quaas R.L., Pollak E.J., Casella G. Length of productive life of dairy cows. 1. Justification of a Weibull model. *Journal of Dairy Science*. 1988; 71(11): 3061–3070. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79906-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79906-3)
- Kulikov S.M., Parovichnikova E.N., Savchenko V.G. Survival or time-to-event analysis: common pitfalls of retrospective approach. *Clinical Oncohematology. Basic research and clinical practice*. 2010; 3(2): 176–183 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mwixmb>
- Vasiliev I.A. Developing library of tree-based models for survival analysis. *Moscow University Journal. Series 15. Computational Mathematics and Cybernetics*. 2024; (3): 60–72 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/hkuslc>
- Weigel K.A., VanRaden P.M., Norman H.D., Grosu H. A 100-Year Review: Methods and impact of genetic selection in dairy cattle — from daughter — dam comparisons to deep learning algorithms. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10234–10250. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12954>
- Miglior F., Fleming A., Malchiodi F., Brito L.F., Martin P., Baes C.F. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10251–10271. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12968>
- Hare E., Norman H.D., Wright J.R. Survival Rates and Productive Herd Life of Dairy Cattle in the United States. *Journal of Dairy Science*. 2006; 89(9): 3713–3720. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72412-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72412-2)
- Černá M. et al. Genetic Parameters for a Weighted Analysis of Survivability in Dairy Cattle. *Animals*. 2023; 13(7): 1188. <https://doi.org/10.3390/ani13071188>
- Cox D.R. A note on the graphical analysis of survival data. *Biometrika*. 1979; 66(1): 188–190. <https://doi.org/10.1093/biomet/66.1.188>

15. van Dijk P.C., Jager K.J., Zwinderman A.H., Zoccali C., Dekker F.W. The analysis of survival data in nephrology: basic concepts and methods of Cox regression. *Kidney International*. 2008; 74(6): 705–709. <https://doi.org/10.1038/ki.2008.294>

15. van Dijk P.C., Jager K.J., Zwinderman A.H., Zoccali C., Dekker F.W. The analysis of survival data in nephrology: basic concepts and methods of Cox regression. *Kidney International*. 2008; 74(6): 705–709. <https://doi.org/10.1038/ki.2008.294>

ОБ АВТОРАХ

Лариса Павловна Игнатьева

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных
ignatieva-lp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2625-6912>

Галина Константиновна Петрякова

программист отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных
pgk-04@mail.ru

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

ABOUT THE AUTHORS

Larisa Pavlovna Ignatieva

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding
ignatieva-lp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2625-6912>

Galina Konstantinovna Petryakova

Programmer of the Department of Population Genetics and the Genetic foundations of Animal Breeding
pgk-04@mail.ru

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



ПРАВИТЕЛЬСТВО
ЧЕЛЯБИНСКОЙ
ОБЛАСТИ



МИНИСТЕРСТВО
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ



агро 2025

13-15 АВГУСТА | ЧЕЛЯБИНСК, ЛА «ТРАКТОР»

Станьте участником крупнейшей областной агропромышленной выставки-ярмарки!



Для предприятий пищевой перерабатывающей промышленности участие бесплатное.

Количество мест ограничено – подайте заявку прямо сейчас!

+7 (351) 755 55 10



12+

РЕКЛАМА

УДК 631.41:631.811+519.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-101-108

И.А. Сахабиев ✉

К.Г. Гиниятуллин

Е.В. Смирнова

Казанский (Приволжский)
федеральный университет,
Казань, Россия

✉ IlnASahabiev@kpfu.ru

Поступила в редакцию: 28.02.2025

Одобрена после рецензирования: 09.05.2025

Принята к публикации: 24.05.2025

© Сахабиев И.А., Гиниятуллин К.Г.,
Смирнова Е.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-101-108

Ilnas A. Sakhabiev ✉

Kamil G. Giniyatullin

Elena V. Smirnova

Kazan (Volga region) Federal
University, Kazan, Russia

✉ IlnASahabiev@kpfu.ru

Received by the editorial office: 28.02.2025

Accepted in revised: 09.05.2025

Accepted for publication: 24.05.2025

© Sakhabiev I.A., Giniyatullin K.G.,
Smirnova E.V.

Использование статистики каппа для оценки многолетних изменений внутрипольной неоднородности содержания доступных форм фосфора и калия

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Внедрение роботизированной техники дифференцированного внесения удобрений делает востребованным изучение внутрипольной неоднородности обеспеченности пахотных угодий элементами питания. Необходимо оценивать структуру пространственной неоднородности и направленности изменений в длительной перспективе. Использование в разные годы разных методов определения доступных форм элементов питания затрудняет сопоставление многолетних данных.

Методы. Использовали многолетние (1965 г., 1987 г., 2021 г.) данные содержания подвижного фосфора (P_2O_5) и обменного калия (K_2O) в почвах сортоиспытательного участка Республики Татарстан. Содержание P_2O_5 определяли по Труогу (1965 г.) и Кирсанову (1987 г., 2021 г.), а содержание K_2O — по Масловой (1965 г., 1987 г.) и Кирсанову (2021 г.). Согласованность по оценке обеспеченности рассчитывали по коэффициенту согласия каппа Коэна.

Результаты. Обеспеченность P_2O_5 по коэффициенту каппа показывает между 1965 г. и 1987 г. умеренное совпадение ($\kappa = 0,45$), между 1987 г. и 2021 г. — существенное совпадение ($\kappa = 0,62$). Обеспеченность K_2O между 1965 г. и 1987 г. имеет очень слабое совпадение ($\kappa = 0,10$), между 1987 г. и 2021 г. — удовлетворительное совпадение ($\kappa = 0,25$). В отличие от P_2O_5 структура пространственной неоднородности обеспеченности K_2O при длительном использовании сохраняется в слабой степени. Обеспеченность полей P_2O_5 и K_2O с 1965 по 1987 г. существенно увеличилась, с 1987 по 2021 г. — уменьшилась. Внутрипольная вариабельность показателей с 1965 по 2021 г. увеличивалась от средней до высокой (до близкой к очень высокой (P_2O_5)).

Ключевые слова: подвижный фосфор, обменный калий, внутрипольная пространственная неоднородность, многолетняя динамика, статистика каппа

Для цитирования: Сахабиев И.А., Гиниятуллин К.Г., Смирнова Е.В. Использование статистики каппа для оценки многолетних изменений внутрипольной неоднородности содержания доступных форм фосфора и калия. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 101–108. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-101-108>

The use of Kappa statistics to assess long-term changes in the intrafield heterogeneity of the content of available forms of phosphorus and potassium

ABSTRACT

Relevance. The introduction of robotic technology for differentiated application of fertilizers makes it necessary to study the intra-field heterogeneity of the availability of arable land with nutrients. It is necessary to evaluate the structure of spatial heterogeneity and the direction of changes in the long term. The use of different methods for determining available forms of nutrients in different years makes it difficult to compare long-term data.

Methods. Long-term (1965, 1987, 2021) data on the content of mobile phosphorus (P_2O_5) and exchangeable potassium (K_2O) in the soils of the crop testing site of the Republic of Tatarstan were used. The P_2O_5 content was determined according to Truog (1965) and Kirsanov (1987, 2021), and the K_2O content according to Maslova (1965, 1987) and Kirsanov (2021). Agreement in the assessment of availability was calculated using Cohen's kappa coefficient.

Results. The availability of P_2O_5 by the Kappa coefficient shows a moderate coincidence between 1965 and 1987 ($\kappa = 0.45$), and a significant coincidence between 1987 and 2021 ($\kappa = 0.62$). The availability of K_2O between 1965 and 1987 has a very weak coincidence ($\kappa = 0.10$), between 1987 and 2021 — a satisfactory coincidence ($\kappa = 0.25$). In contrast to P_2O_5 , the structure of spatial heterogeneity of K_2O availability remains weak during prolonged use. The availability of P_2O_5 and K_2O fields increased significantly from 1965 to 1987, and decreased from 1987 to 2021. The intra-field variability of the indicators increased from medium to high (to close to very high (P_2O_5)) from 1965 to 2021.

Key words: mobile phosphorus, exchangeable potassium, intrafield spatial heterogeneity, long-term dynamics, kappa statistics

For citation: Sakhabiev I.A., Giniyatullin K.G., Smirnova E.V. The use of Kappa statistics to assess long-term changes in the intrafield heterogeneity of the content of available forms of phosphorus and potassium. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 101–108 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-101-108>

Введение/Introduction

Анализ многолетней изменчивости свойств почв и продуктивности посевов — важнейшая задача длительных почвенных исследований, вместе с тем методические подходы к их проведению остаются еще в недостаточной степени проработанными [1]. Актуальной задачей современной агрохимии является изучение направленности изменений внутрипольной пространственной неоднородности пахотных угодий по содержанию доступных форм питательных элементов при длительном и интенсивном использовании земель. Особенно важным проведение данных исследований становится в последние десятилетия в связи с широким внедрением в сельскохозяйственное производство информационных технологий цифрового земледелия и использования роботизированной техники¹ для дифференцированного внесения минеральных удобрений [2–5].

Технологии точного (прецизионного) земледелия строятся на оценке пространственной и временной неоднородности пахотных угодий и ориентированы, в отличие от традиционных технологий, на адаптацию самой системы земледелия к внутрипольной неоднородности отдельных почвенных свойств, включая агрохимические свойства [6]. Очевидно, что стратегия применения технологий точного земледелия в будущем, в том числе систем дифференцированного внесения удобрений, делает необходимым разработку новых методов изучения и количественного описания как пространственной, так временной неоднородности сельскохозяйственных угодий, а также методов оценки направленности изменения показателей состояния почвенного покрова [7].

В данном аспекте становится особенно важной оценка изменчивости пространственной структуры внутрипольной неоднородности агрохимических показателей почв на длительную перспективу во временные промежутки, измеряемые как минимум десятилетиями [8]. Однако решение этой задачи имеет определенные трудности, в том числе связанные с использованием в разные годы разных методов оценки обеспеченности пашни доступными элементами питания, что делает затруднительным сопоставление имеющихся многолетних агрохимических данных.

Для решения настоящей задачи могут быть весьма полезны статистические подходы, направленные на оценку согласованности (несогласованности) данных, полученных разными методами, различными оценщиками, или проведенные в разное время. Такие, например, как статистика каппа Коэна или метод

Бланда — Альтмана [9, 10]. Известно, что указанные методы дают более надежную оценку согласованности (несогласованности) оценок, чем традиционные подходы, основанные на оценке коэффициента корреляции или построения регрессионных моделей [11].

В последнее время методы оценки согласованности данных находят достаточно широкое применение и в почвоведении. Обычно для сравнения почвенных и тематических почвенных карт, полученных экспертным и цифровым картографированием, разными методами цифрового картографирования, а также группами, проводившими работы в разное время [9, 12, 13]. К достоинствам статистики каппа можно отнести то, что при достаточной простоте расчетов при оценке согласованности учитывается вероятность случайных совпадений, что существенно повышает надежность оценок.

Цель работы — на примере полей государственного сортоиспытательного участка (ГСУ) изучить возможности использования статистики каппа для оценки направленности многолетних изменений внутрипольной пространственной неоднородности содержания доступных форм фосфора и калия, определенных с применением различных методов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для выполнения работы были использованы данные агрохимического обследования почв Арского ГСУ, проводившегося сотрудниками кафедры почвоведения Казанского университета с 1965 по 2021 г. Арский ГСУ расположен на территории Западного Предкамья Республики Татарстан (N: 56°06'46.6", E: 49°46'31.4"). Рельеф исследованного участка представлен слабопологим склоном, постепенно снижающимся к южной части участка.

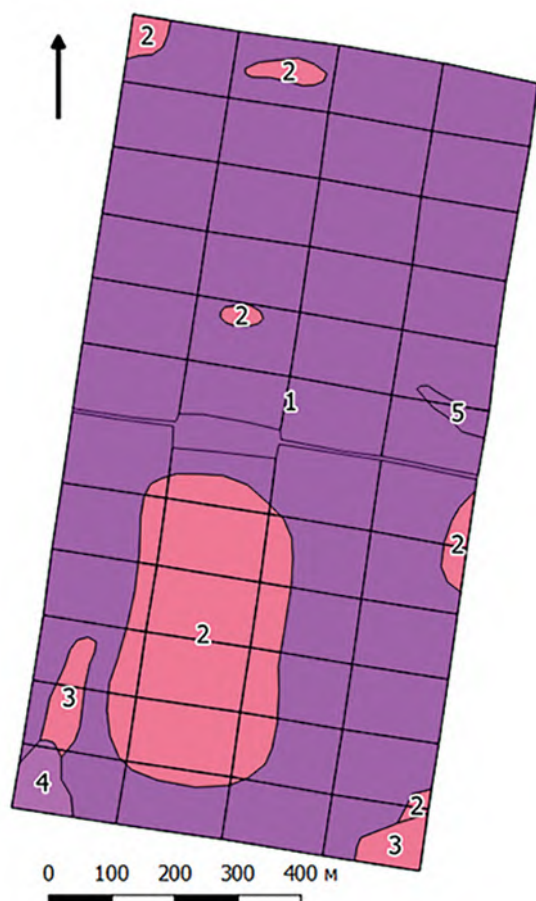
На территории Арского ГСУ распространены различные вариации светло-серых лесных почв тяжелосуглинистого гранулометрического состава, сформированных на карбонатных глинах и делювиальных суглинках, а также дерново-слабоподзолистые тяжелосуглинистые почвы на делювиальных суглинках (рис. 1). Выбор для проведения исследований полей ГСУ был связан прежде всего с тем, что поля сортоиспытательных участков можно отнести к угодьям интенсивного использования, а также на них традиционно строго соблюдали научно обоснованные технологии выращивания сельскохозяйственных культур, вносили расчетные дозы минеральных и органических удобрений и регулярно проводили мероприятия по комплексному агрохимическому окультуриванию полей².

¹ Российскому агропромышленному комплексу необходимы космические технологии и робототехнические системы. Аграрная наука. 2021; (4): 99.

² Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. I. Общая часть. Москва. 2019; 329.

Рис. 1. Почвенная карта с наложенной схемой отбора объединенных проб: 1. Светло-серая лесная тяжелосуглинистая почва на делювиальных карбонатных глинах. 2. Дерново-слабоподзолистая тяжелосуглинистая почва на делювиальных суглинках. 3. Дерново-слабоподзолистая слабосмытая тяжелосуглинистая почва на делювиальных суглинках. 4. Светло-серая лесная пестроцветная тяжелосуглинистая почва на делювиальных суглинках. 5. Светло-серая лесная слабосмытая тяжелосуглинистая почва на делювиальных суглинках

Fig. 1. A soil map with a superimposed combined sampling scheme: 1. Light gray forest heavy loamy soil on deluvial carbonate clays. 2. Sod-slightly podzolic heavy loamy soil on deluvial loams. 3. Sod-slightly podzolic slightly washed heavy loamy soil on deluvial loams. 4. Light gray forest variegated heavy loamy soil on deluvial loams. 5. Light gray forest slightly washed soil heavy loam on deluvial loam



При проведении первого обследования в 1965 г. территория ГСУ была поделена на прямоугольные элементарные участки (1–1,5 га). Объединенные образцы составляли из 20–40 индивидуальных проб, отобранных по маршруту вдоль длинной стороны элементарных участков тростевым буром на всю глубину пахотного слоя. При проведении агрохимических обследований в последующие годы схема отбора проб сохранялась. Всего отобрали и проанализировали по 48 смешанных образцов.

Для изучения многолетней динамики содержания подвижного фосфора и обменного калия использовали данные агрохимических обследований, проведенных в 1965 г., 1987 г. и 2021 г. Определение содержания доступного P_2O_5 проводили в 1965 г. по методу Труога³, в 1987 г. и 2021 г. — по методу Кирсанова⁴, K_2O в 1965 г. и 1987 г. — по методу Масловой⁵, в 2021 г. — по методу Кирсанова⁴.

В таблице 1 представлены статистические параметры пространственного варьирования агрохимических показателей на обследованной территории в разные годы, полученных с использованием разных методов анализа.

Для оценки обеспеченности почв доступными формами фосфора и калия, определенных различными методами, использовали градации (табл. 2)⁶.

Для нахождения коэффициента согласия каппа Коэна (κ) использовали методику расчетов, описанную в работе⁷ Предварительно строили таблицы сопряженности, в которых представлялись результаты оценки обеспеченности почв элементом питания на одних и тех же элементарных участках отбора смешанных проб, полученных при использовании разных методов анализа или анализов, проведенных одним методом в разные годы.

Теоретическая таблица сопряженности оценок обеспеченности почв элементом питания представлена в таблице 3. При составлении таблицы сопряженности по ее диагонали (выделено

Таблица 1. Описательные статистики результатов определения содержания доступных форм фосфора и калия

Table 1. Descriptive statistics of the results of determination of the content of available forms of phosphorus and potassium

Показатели	1965 г.		1987 г.		2021 г.	
	P_2O_5 по Труогу	K_2O по Масловой	P_2O_5 по Кирсанову	K_2O по Масловой	P_2O_5 по Кирсанову	K_2O по Кирсанову
Минимум, мг/кг	170	145	174	161	171	81
Максимум, мг/кг	401	255	462	366	515	298
Размах варьирования, мг/кг	231	110	288	205	344	217
Среднее значение, мг/кг	265,0	191	317,2	215,5	301,2	176,4
Коэффициент вариации, %	19,4	16,3	25,5	22,1	32,1	26,5
Оценка вариабельности	средняя	средняя	высокая	высокая	высокая	высокая

³ Гинзбург К.Е. Методы определения фосфора в почве. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука. 1975; 106–190.

⁴ ГОСТ 26207-84 Почвы. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО М.: Издательство стандартов. 1989.

⁵ Важенин И.Г. Методы определения калия в почве. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука. 1975; 191–218.

⁶ Флоринский М.А., Лунев М.И., Кузнецов А.В. и др. Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. М.: Центр научно-технической информации, пропаганды и рекламы. 1994; 96.

⁷ Rossiter D.G. Assessing the thematic accuracy of area-class soil maps. Enschede. Holland: Soil Science Division. 2001; 46.

Таблица 2. Группировка почв по обеспеченности подвижным фосфором и обменным калием

Table 2. Grouping of soils according to the content of mobile phosphorus and exchangeable potassium

Группа обеспеченности	Обеспеченность	Подвижный фосфор (мг/кг) по методу:		Обменный калий (мг/кг) по методу:	
		Труога	Кирсанова	Масловой	Кирсанова
I	Очень низкая	< 30	< 25	< 50	< 40
II	Низкая	31–70	26–50	51–100	40–80
III	Средняя	71–120	51–100	101–150	81–120
IV	Повышенная	121–180	101–150	150–200	121–170
V	Высокая	181–250	151–250	201–300	171–250
VI	Очень высокая	> 250	> 250	> 300	> 250

Таблица 3. Теоретическая таблица сопряженности оценок обеспеченности почв элементами питания при использовании различных методов анализа

Table 3. Theoretical table of conjugacy of estimates of soil availability of nutrients using various methods of analysis

Градации обеспеченности		Градации обеспеченности при использовании метода Б (или другого года обследования)						Сумма
		I *	II	III	IV	V	VI	
Градации обеспеченности при использовании метода А (или другого года обследования)	I	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₊
	II	X ₂₁	X ₂₂	X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆	X ₂₊
	III	X ₃₁	X ₃₂	X ₃₃	X ₃₄	X ₃₅	X ₃₆	X ₃₊
	IV	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃	X ₄₄	X ₄₅	X ₄₆	X ₄₊
	V	X ₅₁	X ₅₂	X ₅₃	X ₅₄	X ₅₅	X ₅₆	X ₅₊
	VI	X ₆₁	X ₆₂	X ₆₃	X ₆₄	X ₆₅	X ₆₆	X ₆₊
Сумма		X ₊	X ₊	X ₊	X ₊	X ₊	X ₊	n

Примечание: * градации обеспеченности: I — очень низкая, II — низкая, III — средняя, IV — повышенная, V — высокая, VI — очень высокая.

серым цветом) представляется для каждого класса обеспеченности число образцов с совпадающими оценками, вне диагонали — несогласующиеся оценки обеспеченности.

По таблице 3 рассчитывается общая точность (θ_1) по формуле:

$$\theta_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r X_{ii}, \quad (1)$$

где: X_{ii} — совпадающие (расположенные по диагонали) значения оценок по каждому классу обеспеченности, получаемые при использовании разных методов; r — число градаций обеспеченности; n — общий объем выборки.

Затем рассчитывается гипотетическая вероятность случайного согласия (θ_2) по формуле:

$$\theta_2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i}), \quad (2)$$

где: X_{i+} — сумма совпадающих и несовпадающих значений оценок по каждому классу обеспеченности при использовании метода А (или одного года обследования); X_{+i} — сумма совпадающих и несовпадающих значений оценок по каждому классу обеспеченности при использовании метода Б (или другого года обследования); r — число градаций обеспеченности; n — общий объем выборки.

Значение коэффициента каппа рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2}, \quad (3)$$

Интерпретировали полученные значения коэффициента каппа, придерживаясь следующей градации согласованности⁸:

- < 0 — меньше, чем чисто случайное совпадение;
- 0,01–0,20 — слабое совпадение;
- 0,21–0,40 — удовлетворительное совпадение;
- 0,41–0,60 — умеренное совпадение;
- 0,61–0,80 — существенное совпадение;
- 0,80–0,99 — почти полное совпадение.

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

В таблице 4 представлены показатели согласованности оценок обеспеченности почв подвижным фосфором, определенных в 1965 г. по методу Труога и в 1987 г. по методу Кирсанова. В таблице 5 — показатели согласованности оценок обеспеченности почв подвижным фосфором, определенных в 1987 г. и 2021 г. по методу Кирсанова.

В таблице 6 указаны показатели согласованности оценок обеспеченности почв подвижным калием, определенных в 1965 г. и в 1987 г. по

Таблица 4. Таблица сопряженности оценок обеспеченности почв подвижным фосфором, определенных в 1965 г. по методу Труога и в 1987 г. по методу Кирсанова

Table 4. Table of conjugacy of estimates of soil availability of mobile phosphorus, determined in 1965 by the Truog method and in 1987 by the Kirsanov method

Градации обеспеченности	Обследование в 1987 г. по методу Кирсанова						Сумма
	I	II	III	IV	V	VI	
Обследование 1965 г. по методу Труога	I	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0
	IV	0	0	0	0	1	1
	V	0	0	0	0	10	10
	VI	0	0	0	0	1	25
Сумма	0	0	0	0	12	36	48

⁸ Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П., Докучаев П.М. Критерии для проверки точности моделей тематических карт. В кн. «Цифровая почвенная картография»: учеб. пособие. М.: РУДН. 2017; 156.

Таблица 5. Таблица сопряженности оценок обеспеченности почв подвижным фосфором, определенных в 1987 г. и 2021 г. по методу Кирсанова

Table 5. Table of conjugacy of estimates of soil availability of mobile phosphorus, determined in 1987 and 2021 using the Kirsanov method

Градации обеспеченности		Обследование в 2021 г. по методу Кирсанова						Сумма
		I	II	III	IV	V	VI	
Обследование 1987 г. по методу Кирсанова	I	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0
	IV	0	0	0	0	0	0	0
	V	0	0	0	0	11	1	12
	VI	0	0	0	1	6	29	36
Сумма		0	0	0	1	17	30	48

методу Масловой, в таблице 7 — определенных в 1987 г. по методу Масловой и в 2021 г. по методу Кирсанова.

Из таблиц 4–7 сопряженности были рассчитаны показатели согласия — общая точность оценок (θ_1), гипотетическая вероятность случайного согласия (θ_2), значение коэффициента согласия каппа Коэна (κ) оценок обеспеченности пахотных угодий подвижным фосфором и подвижным калием, полученных в разные годы с применением разных методов (табл. 8). В таблице 8 для сопоставления приведены данные расчета коэффициента корреляции Пирсона (r) между показателями содержания подвижного фосфора и обменного калия, полученными в разные годы с применением разных методов.

Из анализа данных таблицы 8 можно сделать вывод, что обеспеченность фосфором по коэффициенту каппа показывает между обследованиями 1965 г. и 1987 г. умеренное совпадение ($\kappa = 0,45$), между обследованиями 1987 г. и 2021 г. существенное совпадение ($\kappa = 0,62$), хотя по коэффициенту корреляции Пирсона практически не наблюдается разницы по согласованности данных, значения коэффициента очень близки и составляют $r = 0,51$ и $r = 0,52$ соответственно.

Высокую согласованность можно объяснить тем, что содержание доступного фосфора в почвах является достаточно постоянным во времени, и даже за десятилетия интенсивного использования полей структура внутрипольной пространственной вариабельности сильно не меняется. Совсем иные закономерности наблюдаются по подвижному калию. Обеспеченность подвижным калием по коэффициенту каппа между данными 1965 г. и 1987 г. показывает очень слабое совпадение ($\kappa = 0,10$), но между данными 1987 г. и 2021 г. согласованность может оцениваться уже как удовлетворительная ($\kappa = 0,25$), в то время как корреляция между данными статистически незначима.

Можно сделать вывод, что структура внутрипольной пространственной неоднородности пахотных угодий по содержанию обменного калия,

Таблица 6. Таблица сопряженности оценок обеспеченности почв обменным калием, определенных в 1965 г. и в 1987 г. по методу Масловой

Table 6. Table of conjugation of estimates of soil availability of mobile potassium, determined in 1965 and in 1987 using the Maslova method

Градации обеспеченности		Обследование 1987 г. по методу Масловой						Сумма
		I	II	III	IV	V	VI	
Обследование 1965 г. по методу Масловой	I	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	1	4	0	5
	IV	0	0	0	13	6	8	27
	V	0	0	0	6	7	3	16
	VI	0	0	0	0	0	0	0
Сумма		0	0	0	20	17	11	48

Таблица 7. Таблица сопряженности оценок обеспеченности почв обменным калием, определенных в 1987 г. по методу Масловой и в 2021 г. по методу Кирсанова

Table 7. Table of conjugacy of estimates of soil availability of mobile potassium, determined in 1987 and in 2021 using the Kirsanov method

Градации обеспеченности		Обследование в 2021 г. по методу Кирсанова						Сумма
		I	II	III	IV	V	VI	
Обследование 1987 г. по методу Масловой	I	0	0	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	0
	IV	0	0	3	11	5	0	19
	V	0	0	1	5	9	2	17
	VI	0	0	0	4	4	4	12
Сумма		0	0	4	20	18	6	48

Таблица 8. Результаты расчетов показателей согласия оценок обеспеченности почв доступными формами фосфора и калия, полученных в разные годы с применением разных методов (общей точности (θ_1), гипотетической вероятности случайного согласия (θ_2), коэффициента согласия каппа Коэна (κ), коэффициента корреляции Пирсона (r))

Table 8. The results of calculations of the agreement indicators for estimates of soil availability of available forms of phosphorus and potassium obtained in different years using different methods (general accuracy (θ_1), hypothetical probability of accidental agreement (θ_2), Kappa Cohen agreement coefficient (κ), Pearson correlation coefficient (r))

Показатели статистики каппа и корреляции	Подвижный фосфор		Обменный калий	
	1965–1987 гг.	1987–2021 гг.	1965–1987 гг.	1987–2021 гг.
θ_1	0,73	0,83	0,42	0,50
θ_2	0,51	0,56	0,35	0,33
κ	0,45	0,62	0,10	0,25
r	R = 0,51 при p = 0,00*	R = 0,52 при p = 0,00*	R = 0,08 при p = 0,58	R = 0,23 при p = 0,12
Уменьшение обеспеченности элементарных участков	1	7	6	17
Увеличение обеспеченности элементарных участков	12	1	22	7

Примечание: * жирным шрифтом выделены статистически значимые при $p < 0,05$ коэффициенты корреляции Пирсона.

как более лабильного агрохимического показателя, при длительном интенсивном их использовании в земледелии сохраняется в достаточно слабой степени.

Данные оценки как среднего содержания (табл. 1), так и увеличения обеспеченности P_2O_5 и K_2O отдельных элементарных участков отбора проб (табл. 8) показывают, что с 1965 по 1987 г. происходило увеличение обеспеченности пашни доступными формами фосфора и калия. По данным исследований, проведенных сотрудниками кафедры почвоведения Казанского университета с 1965 по 1977 г., в целом по ГСУ Татарской АССР наблюдался положительный баланс содержания доступных элементов питания, который для Арского ГСУ составил +38 мг/кг для подвижного P_2O_5 и +42 кг/га для обменного K_2O , что подтверждалось статистическими данными, в которых показывалось увеличение доз, вносимых на поля ГСУ в данный период времени минеральных и органических удобрений [14, 15].

С 1987 по 2021 г., наоборот, наблюдали снижение обеспеченности полей доступными формами фосфора и калия как по средним показателям их содержания на обследованной территории, так и по уменьшению обеспеченности отдельных элементарных участков (табл. 8), что можно считать вполне ожидаемым. Хотя Республика Татарстан является одним из лидеров среди субъектов Российской Федерации по объемам применения удобрений, в среднем за последние десятилетия степень восполнения выноса NPK с урожаем составила лишь 80–88%, в том числе по фосфору — 60–63%, по калию — лишь 40–43%.

С начала 2000-х годов содержание P_2O_5 на пахотных землях устойчиво снижается со среднегодовыми темпами 0,72–0,75 мг/кг, а среднереспубликанские показатели ежегодного снижения содержания для K_2O достигают 0,08 мг/кг⁹. Во многом данные негативные тенденции определяются снижением внесения органических удобрений. Если под урожай 1992 г. в республике их было внесено 17,7 млн т (или 5,8 т/га), то в 2022-м — только 3,52 млн т (или 1,31 т/га)¹⁰.

Однако, несмотря на разнонаправленные тенденции изменения обеспеченности обследованных полей доступными формами элементов питания, сохраняется одна закономерность: как при увеличении обеспеченности, так и при снижении обеспеченности внутрипольная вариабельность

содержания P_2O_5 и K_2O только увеличивалась. Если в 1965 г. коэффициент вариации содержания P_2O_5 составил 19,4%, K_2O — 16,3%, то в 1987 г. для P_2O_5 значение коэффициента вариации составило 25,5%, для K_2O — 22,1%, а в 2021 году вариабельность P_2O_5 составляла уже 32,1%, K_2O — 26,5%.

Иными словами, несмотря на различные тенденции изменения обеспеченности полей за 56 лет наблюдений, внутрипольная неоднородность содержания доступных форм фосфора и калия обследованной территории увеличилась от средней вариабельности до высокой (по фосфору близкой к очень высокой). Если данная тенденция сохранится в будущем, необходимость выравнивания полей по обеспеченности доступными элементами питания с применением технологий дифференцированного внесения минеральных удобрений, видимо, может стать безальтернативной.

Выводы/Conclusions

Анализ обеспеченности полей Арского ГСУ подвижным фосфором, проведенный с использованием коэффициента каппа, выявил умеренное совпадение данных между обследованиями в 1965 г. и 1987 г. (по методикам Труога и Кирсанова). В то же время между обследованиями в 1987 г. и 2021 г. (по методике Кирсанова) наблюдалось существенное совпадение. Однако при оценке согласованности данных с помощью коэффициента корреляции Пирсона значимых различий не выявлено: значения коэффициента составили $r = 0,51$ для 1965–1987 гг. и $r = 0,52$ для 1987–2021 гг.

Что касается обеспеченности полей калием, анализ по коэффициенту каппа показал очень слабое совпадение данных между 1965 г. и 1987 г. (по методике Масловой). При этом между данными 1987 г. и 2021 г. (по методикам Масловой и Кирсанова) согласованность может быть оценена как удовлетворительная. Однако статистически значимая корреляция между данными отсутствует, что указывает на необходимость учета дополнительных факторов при интерпретации результатов.

Таким образом, результаты анализа демонстрируют различную степень согласованности данных в зависимости от используемых методик и временных периодов, что подчеркивает важность комплексного подхода при оценке динамики изменения обеспеченности почв питательными элементами.

⁹ Система земледелия Республики Татарстан. Инновации на базе традиций. Ч. 1. Общие аспекты системы земледелия. Казань: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан. 2012; 168.

¹⁰ Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2022 году. Казань: Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан. 2023; 396.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан» (соглашение № 39/2024-ПД).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фрид А.С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. М.: Россельхозакадемия. 2002; 80. ISBN 5-94873-006-9
2. Гриц Н.В., Ростовцев Р.А., Диченский А.В. Использование элементов точного сельского хозяйства для получения климатически обоснованной урожайности сельскохозяйственных культур в специализированных севооборотах. *Аграрная наука*. 2023; (10): 88–94. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94>
3. Измайлов А.Ю., Годжаев З.А., Сычев В.Г., Афанасьев Р.А. Робототехника в агрохимии точного земледелия. *Плодородие*. 2018; (1): 53–57. <https://www.elibrary.ru/yphkxyt>
4. Якушев В.П. Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета «умное сельское хозяйство». *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019; (2): 11–15. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/11-15>
5. Fountas S. et al. Farm management information systems: Current situation and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 115: 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.011>
6. Oliver M.A. An Overview of Geostatistics and Precision Agriculture. Oliver M. (ed.). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Dordrecht: Springer. 2010; 1–34. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9133-8_1
7. Potdar R.P., Shirolkar M.M., Verma A.J., More P.S., Kulkarni A. Determination of soil nutrients (NPK) using optical methods: a mini review. *Journal of Plant Nutrition*. 2021; 44(12): 1826–1839. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1884702>
8. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на продуктивность агроценозов Европейского Северо-Востока. *Аграрная наука*. 2022; (5): 87–92. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-87-92>
9. Rossiter D.G. Assessing the thematic accuracy of area–class soil maps. Enschede, Holland: *Soil Science Division*. 2001; 46.
10. Jo J., Son Y., Park M.-K., Lee J.Y., Chu H., Ahn Y.G. Statistical comparison for assessing agreement between two mass spectrometric methods for the analysis of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and furans (PCDDs/Fs) in contaminated soils. *Chemosphere*. 2024; 363: 142806. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142806>
11. Yellareddygar S.K.R., Gudmestad N.C. Bland-Altman comparison of two methods for assessing severity of Verticillium wilt of potato. *Crop Protection*. 2017; 101: 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.019>
12. Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л. Количественный метод сравнения почвенных карт и картограмм. *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2011; (3): 3–5. <https://www.elibrary.ru/okkhan>
13. Пастухов А.В., Каверин Д.А., Щанов В.М. Построение региональных цифровых тематических карт (на примере карты запасов углерода в почвах бассейна р. Усы). *Почвоведение*. 2016; (9): 1042–1051. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16090100>
14. Колоскова А.В. (ред.). Фосфор в почвах Волжско-Камской лесостепи. Казань: Издательство Казанского университета. 1984; 107.
15. Колоскова А.В. (ред.). Калий в почвах Волжско-Камской лесостепи. Казань: Издательство Казанского университета. 1985; 119.

FUNDING

The work was carried out at the expense of a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, provided to young candidates of sciences (postdoctoral fellows) for the purpose of defending their doctoral dissertation, performing research, as well as performing labor functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan within the framework of the State Program of the Republic of Tatarstan “Scientific and Technological Development of the Republic of Tatarstan” (agreement No. 39/2024-PD).

REFERENCES

1. Frid A.S. Spatial variation and temporal dynamics of soil fertility in long-term field experiments. Moscow: *Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2002; 80 (in Russian). ISBN 5-94873-006-9
2. Grits N.V., Rostovtsev R.A., Dichensky A.V. The use of elements of digital agriculture to obtain climate-based crop yields in specialized crop rotations. *Agrarian science*. 2023; (10): 88–94 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94>
3. Izmailov A.Yu., Gojaev Z.A., Sychev V.G., Afanasyev R.A. Robotics in agrochemistry of precision agriculture. *Plodородие*. 2018; (1): 53–57 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yphkxyt>
4. Yakushev V.P. Digital technologies of precision farming in implementation of smart farming priority. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2019; (2): 11–15 (in Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/11-15>
5. Fountas S. et al. Farm management information systems: Current situation and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 115: 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.011>
6. Oliver M.A. An Overview of Geostatistics and Precision Agriculture. Oliver M. (ed.). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Dordrecht: Springer. 2010; 1–34. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9133-8_1
7. Potdar R.P., Shirolkar M.M., Verma A.J., More P.S., Kulkarni A. Determination of soil nutrients (NPK) using optical methods: a mini review. *Journal of Plant Nutrition*. 2021; 44(12): 1826–1839. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1884702>
8. Chebotarev N.T., Brovarova O.V. The effect of long-term use of organic and mineral fertilizers on the productivity of agroecosystems of the European Northeast. *Agrarian science*. 2022; (5): 87–92 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-87-92>
9. Rossiter D.G. Assessing the thematic accuracy of area–class soil maps. Enschede, Holland: *Soil Science Division*. 2001; 46.
10. Jo J., Son Y., Park M.-K., Lee J.Y., Chu H., Ahn Y.G. Statistical comparison for assessing agreement between two mass spectrometric methods for the analysis of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and furans (PCDDs/Fs) in contaminated soils. *Chemosphere*. 2024; 363: 142806. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142806>
11. Yellareddygar S.K.R., Gudmestad N.C. Bland-Altman comparison of two methods for assessing severity of Verticillium wilt of potato. *Crop Protection*. 2017; 101: 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.07.019>
12. Samsonova V.P., Meshalkina Yu.L. Quantitative method of soil maps and cartograms comparison. *Moscow University Bulletin. Series 17: Soil science*. 2011; (3): 3–5 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/okkhan>
13. Pastukhov A.V., Kaverin D.A., Shchanov V.M. The creation of digital thematic soil maps at the regional level (with the map of soil carbon pools in the Usa River basin as an example). *Eurasian Soil Science*. 2016; 49(9): 979–987. <https://doi.org/10.1134/S1064229316090106>
14. Koloskova A.V. (ed.). Phosphorus in the soils of the Volga-Kama forest-steppe. Scientific editor. Kazan: *Publishing house of Kazan University*. 1984; 107 (in Russian).
15. Koloskova A.V. (ed.). Potassium in the soils of the Volga-Kama forest-steppe. Kazan: *Publishing house of Kazan University*. 1985; 119 (in Russian).

ОБ АВТОРАХ

Ильназ Алимович Сахабиев

кандидат биологических наук, доцент
 lnASahabiev@kpfu.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4339-9704>

Камиль Гашикович Гиниятуллин

кандидат биологических наук, доцент
 ginijatullin@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4102-2209>

Елена Васильевна Смирнова

кандидат биологических наук, доцент,
 заведующая кафедрой
 elenavsmirnova@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-3081-7615>

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
 ул. Кремлевская, 18, Казань, 420008, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Ilnaz Alimovich Sakhabiev

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
 lnASahabiev@kpfu.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4339-9704>

Kamil Gashikovich Giniyatullin

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
 ginijatullin@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4102-2209>

Elena Vasilyevna Smirnova

Candidate of Biological Sciences,
 Associate Professor, Head of the Department
 elenavsmirnova@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-3081-7615>

Kazan (Volga region) Federal University,
 18 Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russia

15–17 ОКТЯБРЯ 2025

АГРОРУСЬ

34-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА



РЕКЛАМА



КОНГРЕССНАЯ ПРОГРАММА



ЭКСПОЗИЦИИ РЕГИОНОВ



ЦЕНТР ДЕЛОВЫХ КОНТАКТОВ

ОТРАСЛЕВОЙ КОНКУРС
«ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ»

AGRORUS.EXPOFORUM.RU

ПО ВОПРОСАМ УЧАСТИЯ:

+7 (812) 240 40 40, ДОБ. 2980, 2427, 2401

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1 | КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

16+



УДК 631.81.095.337:631.816.1

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-109-118

А.В. Ивенин ✉

В.В. Ивенин

Л.К. Петров

С.М. Голубев

Нижегородский государственный
агротехнологический университет
им. Л.Я. Флорентьева, Нижний
Новгород, Россия

✉ a.v.ivenin@mail.ru

Поступила в редакцию: 03.03.2025

Одобрена после рецензирования: 09.05.2025

Принята к публикации: 24.05.2025

© Ивенин А.В., Ивенин В.В., Петров Л.К.,
Голубев С.М.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-109-118

Alexey V. Ivenin ✉

Valentin V. Ivenin

Leonid K. Petrov

Sergey M. Golubev

Nizhny Novgorod State Florentyev
Agrotechnological University,
Nizhny Novgorod, Russia

✉ a.v.ivenin@mail.ru

Received by the editorial office: 03.03.2025

Accepted in revised: 09.05.2025

Accepted for publication: 24.05.2025

© Ivenin A.V., Ivenin V.V., Petrov L.K.,
Golubev S.M.

Влияние элементов технологии возделывания различных сортов озимой пшеницы на биометрические показатели их продуктивности в условиях Нижегородской области

РЕЗЮМЕ

Исследования проводили в полевом опыте в Нижегородской области на светло-серой лесной почве. Изучали влияние биопрепарата «Восток ЭМ-1», микро- («Нанокремний») и макроминеральных удобрений на урожайность и элементы структуры урожая различных сортов озимой пшеницы. Опыт закладывался по трехфакторной схеме.

Урожайность сортов озимой пшеницы изменялась в 2024 г. по опыту от 3,73 т/га (сорт Немчиновская 85) до 5,01 т/га (сорт Московская 82). Применение дозы минерального питания $N_{120}P_{60}K_{60}$ позволило повысить урожайность озимой пшеницы на 0,16 т/га по сравнению с вариантом без их применения — до 4,39 т/га. Опрыскивание растений пшеницы в фазу кущения микроудобрением «Нанокремний» и биопрепаратом «Восток ЭМ-1» позволяет повысить ее урожайность, соответственно, на 0,13 т/га (3,1%) и 0,31 т/га (7,5%) по сравнению с вариантом без обработок. Расчет биологической урожайности показал высокий потенциал изучаемых сортов — до 7,99 т/га (Московская 82). Применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{30}K_{30}$ и $N_{120}P_{60}K_{60}$ позволяет повысить данный показатель на 0,25–0,31 т/га. Применение в технологии возделывания озимой пшеницы биопрепарата «Восток ЭМ-1» и внекорневой подкормки препаратом «Нанокремний» позволяет повысить биологическую урожайность по сравнению с контрольным вариантом на 0,22–0,69 т/га (3,3–10,4%).

Ключевые слова: биопрепарат, микроудобрение, сорт, минеральные удобрения, озимая пшеница, урожайность, биологическая урожайность, масса 1000 зерен, продуктивный стеблестой

Для цитирования: Ивенин А.В., Ивенин В.В., Петров Л.К., Голубев С.М. Влияние элементов технологии возделывания различных сортов озимой пшеницы на биометрические показатели их продуктивности в условиях Нижегородской области. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 109–118.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-109-118>

The influence of elements of technology of cultivation of various varieties of winter wheat on biometric indicators of the unproductivity in the Nizhny Novgorod region

ABSTRACT

The research was conducted in a field experiment in Nizhny Novgorod region on light gray forest soil. The study examined the effects of a biological preparation “Vostok EM-1”, a microfertilizer “Nanosilicon”, and macro mineral fertilizers on yield and yield components of various winter wheat cultivars. The experiment followed a three-factor design.

In 2024, winter wheat yields in the experiment ranged from 3.73 t/ha (cv. Nemchinovskaya 85) to 5.01 t/ha (cv. Mokovskaya 82). Application of mineral fertilizers at $N_{120}P_{60}K_{60}$ increased wheat yield by 0.16 t/ha compared to the unfertilized control, reaching 4.39 t/ha. Foliar application of “Nanosilicon” microfertilizer and “Vostok EM-1” biopreparation during the tillering phase increased yields by 0.13 t/ha (3.1%) and 0.31 t/ha (7.5%), respectively, compared to untreated plots.

Biological yield potential calculations showed high productivity in studied cultivars — up to 7.99 t/ha (Moskovskaya 82). Mineral fertilizer application at $N_{60}P_{30}K_{30}$ and $N_{120}P_{60}K_{60}$ rates increased this parameter by 0.25–0.31 t/ha. Using “Vostok EM-1” biopreparation and “Nanosilicon” foliar application in winter wheat cultivation technology increased biological yield by 0.22–0.69 t/ha (3.3–10.4%) compared to the control.

Key words: biological product, micro-fertilizers, variety, mineral fertilizers, winter wheat, yield, biological yield, weight of 1000 grains, productive stem

For citation: Ivenin A.V., Ivenin V.V., Petrov L.K., Golubev S.M. The influence of elements of technology of cultivation of various varieties of winter wheat on biometric indicators of the productivity in the Nizhny Novgorod region. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 109–118 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-109-118>

Введение/Introduction

Решение стратегических задач устойчивого развития агропромышленного комплекса в Нижегородской области невозможно без оптимизации, модернизации и адаптации новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе и озимой пшеницы, к зональным условиям их возделывания [1, 2].

Уровень развития агропромышленного комплекса и продовольственную безопасность в России традиционно определяет эффективность производства зерна. Увеличение его объемов производства с целью удовлетворения внутренних и внешнеторговых потребностей является важной задачей сельскохозяйственного производства, а это возможно путем стабилизации и повышения урожайности зерновых культур, и особенно озимой пшеницы [3, 4].

Задача успешного развития производства зерна может быть решена, в том числе за счет внесения оптимальных доз минеральных макро- и микроудобрений, биопрепаратов, проведения различных видов обработок растений и семян, обеспечивающих оптимальное питание растений и улучшающих агроэкологическую ситуацию в агроценозах [4–7].

Развитие сельскохозяйственной биотехнологии в 80 годах XX века способствовало созданию концепции технологии эффективных микроорганизмов (ЭМ), которые в совокупности выполняют весь спектр функций по питанию растений, их защите от болезней и оздоровлению почвенной среды. Следующие группы обитателей почвы можно отнести к эффективным микроорганизмам: фотосинтезирующие бактерии, молочнокислые бактерии, азотфиксирующие микроорганизмы, дрожжи, ферментирующие грибы, актиномицеты [6, 8].

В растениеводстве стали достаточно широко применяться кремниевые удобрения. Признака положительная роль кремния (Si) в стимулировании роста и развития растений: он оказывает существенное влияние на их рост, развитие, повышает урожайность и улучшает качество продукции. Важен в стрессовых условиях, в частности снижает опасность полегания посевов, а также поражения их болезнями и вредителями [9–11].

Решение указанных проблем предполагает за счет формирования научных основ разработки адресных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе озимой пшеницы, обеспечивающих максимальное использование почвенно-климатического потенциала Нижегородской области при дифференцированном применении производственных средств: минеральных макро- и микроудобрений, биопрепаратов, средств химической защиты растений [1, 12, 13]. Поэтому разработка и оптимизация новых технологий, а также их адаптация к

условиям Нижегородской области являются актуальными задачами.

Цель исследований — изучить влияние элементов технологии (применения микро- и макроминеральных удобрений и биопрепарата) возделывания различных сортов озимой пшеницы на биометрические показатели продуктивности их посевов в условиях Нижегородской области.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в 2024 г. на опытном поле Нижегородского НИИСХ — подразделения ФГБОУ ВО «Нижегородский ГАУ им. Л.Я. Флорентьева» на светло-серой лесной среднесуглинистой почве. На момент закладки опыта почва имела следующую агрохимическую характеристику: содержание подвижных форм фосфора и калия очень высокое (252,0 и 221,0 мг/кг почвы соответственно), содержание гумуса низкое (1,43%), pH_{kc} — 5,1 слабокислая. Предшественник — чистый пар.

Полевой опыт был заложен по трехфакторной схеме.

Фактор А. Сорт пшеницы:

- 1) Московская 39 (стандарт),
- 2) Московская 40,
- 3) Московская 56,
- 4) Московская 82,
- 5) Немчиновская 17,
- 6) Немчиновская 57,
- 7) Немчиновская 85.

Фактор Б. Обработка препаратами «Восток ЭМ-1» и «Нанокремний»:

- 1) без обработки (б/о*);
- 2) внекорневая подкормка растений в фазу кущения озимой пшеницы препаратом «Нанокремний» в дозе 500 мл/га (в/п Si);
- 3) инокуляция семян препаратом «Восток ЭМ-1» в дозе 100 мл/т (о/с «Восток ЭМ-1»);
- 4) внекорневая подкормка растений в фазу кущения (весной) озимой пшеницы препаратом «Восток ЭМ-1» в дозе 500 мл/га (в/п «Восток ЭМ-1»).

Фактор С. Фон минерального питания:

- 1) без внесения минеральных удобрений;
- 2) $N_{60}P_{30}K_{30}$;
- 3) $N_{120}P_{60}K_{60}$.

Препарат «Восток ЭМ-1» — это активная культура эффективных микроорганизмов, получаемая из ЭМ-концентрата ферментированием с патокой. Препарат не содержит химических, минеральных и синтетических добавок, внесен в Реестр производителей натуральной продукции¹ (ООО «Приморский ЭМ-Центр»², Россия). В состав препарата входят вода питьевая, сахар-песок, патока,

¹ Единый реестр производителей органической продукции. <http://opendata.mcx.ru/opendata/7708075454-organicprod>

² <https://em-russia.ru/>

комплекс молочнокислых бактерий, дрожжей и продуктов их жизнедеятельности. В 1 см³ препарата содержится не менее 1 × 10 КОЕ молочнокислых бактерий и 1 × 10 КОЕ дрожжей. Эта живая микрофлора участвует своей биомассой в накоплении органического вещества в почве и играет огромную роль в образовании доступных форм питания растений.

«Нанокремний» содержит элементарные наночастицы кремния (в составе препарата 50%), размеры которых составляют величину от 1 до 100 нм, в биологически активной форме и микроэлементы (с содержанием в препарате железа — 6%, меди — 1%, цинка — 0,5%) (производитель ООО «Нанокремний», Россия)³.

В полевом опыте испытывали сорта озимой пшеницы селекции аграрного центра ФИЦ «Немчиновка». Нижегородский НИИСХ — структурное подразделение ФГБОУ ВО «Нижегородский ГАУ им. Л.Я. Флорентьева» ведет совместную селекционную работу по эколого-зональному испытанию сортов и сортообразцов данного научного центра.

В 2021 году в реестр селекционных достижений (4-й регион) был включен сорт озимой пшеницы совместной селекции Нижегородского НИИСХ (филиала аграрного научного центра Северо-Востока им. Рудницкого) и аграрного центра ФИЦ «Немчиновка» Московская 82. Кроме того, изучаемые сорта озимой пшеницы в Нижегородской области занимают более 50% посевных площадей, поэтому проведение научно-исследовательской работы с изучением элементов технологии возделывания данных сортов озимой пшеницы актуально в Нижегородской области.

Делянки для проведения эксперимента размещали систематически в четырехкратной повторности. Общая площадь делянки составила 12,4 м², учетная — 11,0 м². Под предпосевную культивацию, проводимую АКШ-4,2 (ПООО «Техмаш», Беларусь) на глубину заделки семян (4–6 см) вносили 6 сентября минеральные удобрения («Диаммофоска» 10:26:26) согласно приведенной выше схеме опыта.

Норма высева сортов озимой пшеницы составляла 4,5 млн всхожих семян на 1 га.

Протравливание посевного материала во всех вариантах проводили фунгицидом «Стингер-Трио» (доза 0,5 л/т) и инсектицидом «Имидор Про» (доза 1 л/т). За два часа до высева семян, согласно схеме опыта, в вариантах с обработкой «Восток ЭМ-1» проводили их инокуляцию данным биопрепаратом. Оба препарата произведены российской фирмой ООО «Агрохиминвест». Посев осуществили 7 сентября 2023 года сеялкой ССФК-7 («Омский АНЦ», Россия).

Уход за посевами включал весеннюю подкормку аммиачной селитрой (34,4%) в дозах согласно схеме опыта (вручную поделяночно) 11 апреля с последующей заделкой их зубowymi боронами. Опрыскивание вариантов полевого опыта с применением внекорневых обработок посевов озимой пшеницы биопрепаратами «Восток ЭМ-1» и «Нанокремний» провели 5 мая с помощью ранцевого аккумуляторного опрыскивателя. Перед уборкой проводили видовую и сортовую прочистку. Уборку проводили 24 июля поделяночно прямым комбайнированием «Сампо 130» (Sampo-Rosenlew, Финляндия).

Исследования были проведены в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур⁴. Массу 1000 зерен определяли по ГОСТ ISO 520-2014⁵. Математическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову⁶ с использованием компьютерной программы Statist (США).

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

По климатическим условиям Кстовский район (Нижегородская обл., Россия), где расположено опытное поле Нижегородского НИИСХ, относится к четвертому агроклиматическому району — умеренно теплому, влажному.

Метеорологические условия вегетационного периода за 2024 г. предоставлены метеостанцией «Ройка» (Кстовский р-н)⁷. В целом метеорологические условия зимне-весеннего периода 2024 г. характеризовались повышенной температурой воздуха и более обильными осадками (по сравнению со среднемноголетними значениями). Погодные условия в данный период в целом были благоприятными для накопления влаги, но способствовали выпреванию растений озимой пшеницы.

Несмотря на то что ГТК за вегетационный период 2024 года составил 2,2 — выше среднего многолетнего показателя (1,3), погодные условия вегетации сельскохозяйственных культур в весенне-летний период были неоднозначными. Так, в I декаде мая выпало много осадков (41,0 мм), а II и III декады были засушливыми. Июнь был засушливым (ГТК — 0,7 при среднемноголетнем значении 1,3). Июль характеризовался засушливыми погодными условиями в первых двух декадах (ГТК, соответственно, составил 0,3 и 1,0) и хорошим увлажнением в III (ГТК — 2,9 при среднемноголетнем значении 1,2). Первые две декады августа были с обильными осадками и повышенной температурой (ГТК в I и II декадах августа составил 3,6 и 4,7 при среднемноголетних значениях, соответственно, 1,2 и 1,3), а III декада августа была засушливой — ГТК — 0,2 (среднемноголетнее значение 1,3) (рис.).

³ <https://nano-si.ru/>

⁴ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. Москва. 2019; 384.

⁵ ГОСТ ISO 520-2014 Зерновые и бобовые. Определение массы 1000 зерен.

⁶ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат. 2011; 251.

⁷ Обзор агрометеорологических условий за 2024 г. [Агрометеостанция «Ройка»]. Нижний Новгород. 2024.

Рис. Гидротермический коэффициент по Солянинову
Fig. Selyaninov hydrothermal coefficient



Биометрические показатели структуры урожая являются количественным и качественным выражением жизнедеятельности органов и элементов растений, определяющих биологический (потенциальный) урожай и отражающих взаимодействие организма и среды на определенных этапах их развития. Одним из элементов структуры урожая является количество продуктивных стеблей (табл. 1).

Из полученных данных следует, что изучаемые в опыте сорта озимой пшеницы в среднем не различались по такому показателю, как количество растений перед

Таблица 1. Количество продуктивных стеблей растений озимой пшеницы в зависимости от сорта, минеральных удобрений и биопрепарата
Table 1. The number of productive stems of winter wheat plants depending on the variety, mineral fertilizers and biopreparation

Сорт	Фон удобрений	Характеристика варианта*	Количество растений, шт/м²		Гибель растений, %	Количество продуктивных стеблей, шт.	
			перед уходом в зиму	перед уборкой опыта		на 1 м²	на одно растение
1	2	3	4	5	6	7	8
Московская 39	без удобрений	б/о	242	100	58,7	469	4,7
		в/п Si	266	102	61,7	470	4,6
		о/с «Восток ЭМ-1»	264	102	61,4	461	4,5
		в/п «Восток ЭМ-1»	262	108	58,2	455	4,2
	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	б/о	248	108	56,5	462	4,3
		в/п Si	278	102	63,3	459	4,5
		о/с «Восток ЭМ-1»	272	108	60,3	450	4,2
		в/п «Восток ЭМ-1»	301	112	62,8	463	4,1
	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	б/о	254	104	59,1	468	4,5
		в/п Si	259	111	57,1	479	4,3
		о/с «Восток ЭМ-1»	260	106	59,2	475	4,5
		в/п «Восток ЭМ-1»	272	114	58,1	469	4,1
Московская 40	без удобрений	б/о	244	106	56,4	443	4,2
		в/п Si	266	109	59,9	459	4,2
		о/с «Восток ЭМ-1»	290	112	61,4	447	4,0
		в/п «Восток ЭМ-1»	288	110	61,8	448	4,1
	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	б/о	266	106	60,1	435	4,1
		в/п Si	290	108	62,7	447	4,1
		о/с «Восток ЭМ-1»	296	114	61,5	436	3,8
		в/п «Восток ЭМ-1»	310	110	64,5	459	4,2
	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	б/о	268	108	59,7	429	4,0
		в/п Si	284	110	61,3	440	4,0
		о/с «Восток ЭМ-1»	290	114	60,7	452	4,0
		в/п «Восток ЭМ-1»	296	112	62,2	465	4,2
Московская 56	без удобрений	б/о	242	96	60,3	430	4,5
		в/п Si	224	102	54,5	436	4,3
		о/с «Восток ЭМ-1»	236	112	52,5	445	4,0
		в/п «Восток ЭМ-1»	258	112	56,3	452	4,0
	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	б/о	240	106	55,8	427	4,3
		в/п Si	251	112	55,4	438	3,9
		о/с «Восток ЭМ-1»	266	114	57,1	445	3,9
		в/п «Восток ЭМ-1»	278	120	56,8	453	3,8
	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	б/о	260	102	60,7	439	4,3
		в/п Si	266	108	59,4	424	3,9
		о/с «Восток ЭМ-1»	269	112	58,4	452	4,0
		в/п «Восток ЭМ-1»	258	114	55,8	448	3,9

1	2	3	4	5	6	7	8
Московская 82	без удобрений	б/о	262	100	61,8	476	4,7
		в/п Si	272	106	61,1	476	4,5
		о/с «Восток ЭМ-1»	278	112	59,7	486	4,3
		в/п «Восток ЭМ-1»	290	106	63,5	481	4,5
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	296	108	63,4	482	4,5
		в/п Si	300	108	64,0	494	4,6
		о/с «Восток ЭМ-1»	306	112	63,4	489	4,4
		в/п «Восток ЭМ-1»	303	118	61,1	505	4,3
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	296	108	63,5	488	4,5
		в/п Si	298	112	62,4	508	4,5
		о/с «Восток ЭМ-1»	304	112	63,2	519	4,6
		в/п «Восток ЭМ-1»	316	120	62,3	521	4,3
Немчиновская 17	без удобрений	б/о	222	102	56,0	393	3,9
		в/п Si	236	108	54,2	408	3,8
		о/с «Восток ЭМ-1»	230	114	50,5	421	3,7
		в/п «Восток ЭМ-1»	224	114	49,1	435	3,8
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	218	102	53,2	405	4,0
		в/п Si	230	108	53,0	426	3,9
		о/с «Восток ЭМ-1»	232	114	50,9	434	3,8
		в/п «Восток ЭМ-1»	236	118	50,0	442	3,8
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	218	112	48,6	411	3,7
		в/п Si	224	108	57,8	423	3,9
		о/с «Восток ЭМ-1»	228	112	50,9	436	3,9
		в/п «Восток ЭМ-1»	236	112	52,5	448	4,0
Немчиновская 57	без удобрений	б/о	242	106	56,2	398	3,8
		в/п Si	260	108	58,5	422	3,9
		о/с «Восток ЭМ-1»	278	112	58,8	434	3,9
		в/п «Восток ЭМ-1»	266	114	57,1	438	3,8
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	248	112	54,8	402	3,6
		в/п Si	242	108	55,4	426	3,9
		о/с «Восток ЭМ-1»	257	108	58,0	439	4,1
		в/п «Восток ЭМ-1»	266	114	55,4	446	3,9
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	269	108	59,9	411	3,8
		в/п Si	278	112	59,8	423	3,8
		о/с «Восток ЭМ-1»	284	110	61,4	430	3,9
		в/п «Восток ЭМ-1»	296	114	61,5	449	3,9
Немчиновская 85	без удобрений	б/о	248	108	56,5	448	4,1
		в/п Si	264	108	59,1	467	4,3
		о/с «Восток ЭМ-1»	280	112	60,0	476	4,2
		в/п «Восток ЭМ-1»	275	112	59,3	483	4,3
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	262	106	59,5	459	4,3
		в/п Si	278	112	59,7	473	4,2
		о/с «Восток ЭМ-1»	265	112	57,4	482	4,3
		в/п «Восток ЭМ-1»	286	118	58,3	468	4,0
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	264	108	59,1	469	4,4
		в/п Si	279	114	59,1	477	4,2
		о/с «Восток ЭМ-1»	272	114	58,1	492	4,3
		в/п «Восток ЭМ-1»	282	120	57,4	489	4,1
Среднее по фактору А	Московская 39		265	106	59,7	465	4,4
	Московская 40		282	102	61,0	447	4,1
	Московская 56		254	109	56,9	441	4,1
	Московская 82		293	110	62,5	494	4,5
	Немчиновская 17		228	110	52,2	423	3,9
	Немчиновская 57		266	111	58,1	427	3,9
	Немчиновская 85		271	112	58,6	474	4,2

1	2	3	4	5	6	7	8
Среднее по фактору В	без удобрений		257	108	58,0	448	4,2
	$N_{60}P_{30}K_{30}$		269	111	58,4	452	4,1
	$N_{120}P_{60}K_{60}$		271	111	58,9	458	4,1
Среднее по фактору С	б/о		253	106	58,1	440	4,2
	в/п Si		264	108	59,2	451	4,2
	о/с «Восток ЭМ-1»		269	111	58,3	457	4,1
	в/п «Восток ЭМ-1»		276	113	58,3	463	4,1
HCP ₀₅ (фактор А — сорт)			68,9	10,3	12,3	10,4	0,4
HCP ₀₅ (фактор В — минеральные удобрения)			12,2	8,3	7,4	7,5	0,3
HCP ₀₅ (фактор С — биопрепараты)			27,2	4,3	4,1	4,6	0,2
HCP ₀₅ (взаимодействие ABC)			91,3	19,8	20,3	18,7	0,9

Примечание: * расшифровка сокращений представлена в разделе «Материалы и методы исследования».

уходом в зиму, и он составил 228–293 шт/м² (HCP₀₅ по фактору А — 68,9). Количество растений перед уборкой составило 102–112 шт/м² (HCP₀₅ по фактору А — 10,3).

К моменту уборки урожая отмечали значительную гибель растений, которая складывается из их гибели при перезимовке и в течение всей вегетации. Показатель гибели растений составил 52,2–62,5% (HCP₀₅ по фактору А — 12,3). В связи с такой гибелью растений важное значение приобретает показатель «количество продуктивных стеблей на 1 м² и на одно растение», которое может компенсировать отмеченные выше потери.

В данном опыте этот показатель изменялся от 423 шт. у сорта Немчиновская 17 до 494 шт. у Московской 82 (HCP₀₅ по фактору А — 10,4). При учете количества продуктивных стеблей на одно растение выявлено, что он варьировал от 3,9 шт. (сорт Немчиновская 17 и Немчиновская 57) до 4,5 шт. (сорт Московская 82) и различался в 1,3 раза (HCP₀₅ по фактору А — 0,4). Применение макро- и микроудобрений, биопрепарата не повлияло на показатели продуктивной кустистости в погодных условиях вегетационного периода.

В таблице 2 представлено формирование основных элементов структуры урожая озимой пшеницы в зависимости от сорта, применяемых минеральных удобрений и биопрепарата.

Элементы структуры урожая (количество продуктивных стеблей, количество зерен в колосе, масса зерна с одного колоса, масса 1000 зерен) позволяют рассчитать потенциальную (биологическую) урожайность озимой пшеницы (табл. 2).

Показатель массы 1000 зерен был значительным и колебался по вариантам опыта от 50,0 г у стандартного сорта Московская 40 до 60,1 г у сорта Московская 82. Внесение изучаемых доз минерального питания растений $N_{60}P_{30}K_{30}$ и $N_{120}P_{60}K_{60}$ позволило повысить изучаемый показатель, соответственно, на 1,4 г и 2,5 г по сравнению с контрольным вариантом. Применение биопрепарата и микроудобрения не повлияло на показатель массы 1000 зерен (табл. 2).

Количество зерен в колосе варьировало по опыту от 32,2 шт. у сортов Московская 39, Немчиновская 57 и Немчиновская 85 до 35,9 шт. у сорта Московская 82 (при HCP₀₅ по фактору А — 0,97). Применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{30}K_{30}$ и $N_{120}P_{60}K_{60}$ позволяет повысить данный

Таблица 2. Элементы структуры урожая озимой пшеницы в зависимости от сортов, минеральных удобрений и биопрепарата

Table 2. Elements of the winter wheat crop structure depending on varieties, mineral fertilizers and biological products

Сорт	Фон удобрений	Характеристика варианта*	** Высота растений, см	Масса 1000 зерен, г	Количество колосков в колосе, шт.	Количество зерен в колосе, шт.	Масса зерна с одного колоса, г	Биологическая урожайность, т/га
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Московская 39	без удобрений	б/о	70,1	48,8	17,5	33,3	1,40	6,57
		в/п Si	76,5	48,7	17,4	33,7	1,38	6,49
		о/с «Восток ЭМ-1»	75,6	49,2	16,8	33,5	1,45	6,68
		в/п «Восток ЭМ-1»	83,4	49,7	17,5	33,2	1,47	6,69
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	76,4	50,5	17,2	32,1	1,51	6,98
		в/п Si	70,3	48,6	17,8	30,3	1,49	6,84
		о/с «Восток ЭМ-1»	79,3	51,4	17,0	31,2	1,46	6,57
		в/п «Восток ЭМ-1»	78,6	51,2	17,7	32,7	1,48	6,85
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	81,0	50,4	17,8	32,1	1,41	6,60
		в/п Si	81,8	49,9	17,8	32,7	1,47	6,51
		о/с «Восток ЭМ-1»	79,1	50,9	17,4	30,9	1,51	6,93
		в/п «Восток ЭМ-1»	82,6	51,6	17,9	30,4	1,57	7,03

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Московская 40	без удобрений	б/о	72,9	50,2	17,2	34,7	1,43	6,51
		в/п Si	76,4	51,2	18,5	33,0	1,50	6,70
		о/с «Восток ЭМ-1»	74,4	51,6	17,5	30,9	1,49	6,66
		в/п «Восток ЭМ-1»	75,1	50,3	17,3	32,3	1,52	6,81
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	73,9	49,5	16,6	31,3	1,46	6,55
		в/п Si	68,3	49,7	16,9	32,7	1,62	7,24
		о/с «Восток ЭМ-1»	68,1	49,4	17,5	33,8	1,63	7,11
		в/п «Восток ЭМ-1»	68,7	49,6	17,4	33,2	1,67	7,66
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	66,5	49,0	16,5	31,2	1,37	6,15
		в/п Si	68,3	50,3	16,9	32,7	1,52	6,69
		о/с «Восток ЭМ-1»	69,2	49,3	17,2	31,4	1,59	7,19
		в/п «Восток ЭМ-1»	68,5	50,2	17,8	32,2	1,66	7,38
Московская 56	без удобрений	б/о	70,1	50,6	16,5	33,5	1,45	6,24
		в/п Si	72,7	51,7	17,8	33,1	1,54	6,71
		о/с «Восток ЭМ-1»	69,2	50,7	17,2	30,4	1,48	6,59
		в/п «Восток ЭМ-1»	80,7	53,5	17,7	34,2	1,55	7,00
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	82,8	55,3	17,3	30,3	1,56	6,66
		в/п Si	82,7	55,2	17,8	33,1	1,54	6,74
		о/с «Восток ЭМ-1»	67,3	55,1	17,2	34,5	1,51	6,72
		в/п «Восток ЭМ-1»	76,2	55,4	16,9	32,1	1,54	6,97
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	69,8	57,1	17,8	33,6	1,46	6,41
		в/п Si	84,1	57,9	18,0	33,9	1,47	6,23
		о/с «Восток ЭМ-1»	82,8	58,5	16,6	32,7	1,48	6,68
		в/п «Восток ЭМ-1»	86,2	58,7	18,5	31,6	1,65	7,39
Московская 82	без удобрений	б/о	74,1	57,9	17,8	33,9	1,47	7,00
		в/п Si	73,3	58,5	17,7	33,2	1,51	7,18
		о/с «Восток ЭМ-1»	82,8	58,5	16,6	32,7	1,58	7,67
		в/п «Восток ЭМ-1»	86,2	58,3	18,5	31,6	1,65	7,93
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	66,8	60,1	18,1	37,5	1,64	7,90
		в/п Si	73,5	60,2	18,4	35,2	1,61	7,95
		о/с «Восток ЭМ-1»	70,1	60,6	18,3	36,6	1,65	8,06
		в/п «Восток ЭМ-1»	66,9	61,0	17,2	38,3	1,62	8,18
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	73,2	60,9	17,5	37,8	1,64	8,00
		в/п Si	68,1	59,7	16,6	38,7	1,71	8,34
		о/с «Восток ЭМ-1»	67,2	62,1	16,7	36,3	1,74	8,70
		в/п «Восток ЭМ-1»	69,9	63,0	16,9	38,8	1,71	8,91
Немчиновская 17	без удобрений	б/о	60,3	49,3	16,7	31,3	1,52	5,97
		в/п Si	60,7	53,1	16,7	33,1	1,58	6,45
		о/с «Восток ЭМ-1»	61,5	51,6	17,3	31,8	1,58	6,70
		в/п «Восток ЭМ-1»	63,8	54,4	17,2	32,9	1,63	7,10
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	67,9	52,1	16,3	33,2	1,54	6,23
		в/п Si	67,8	52,6	15,8	31,7	1,52	6,47
		о/с «Восток ЭМ-1»	73,6	53,0	15,7	32,1	1,56	6,77
		в/п «Восток ЭМ-1»	63,8	53,2	18,3	34,2	1,58	6,98
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	64,5	53,3	17,9	38,3	1,55	6,37
		в/п Si	69,2	53,4	18,6	32,5	1,61	6,81
		о/с «Восток ЭМ-1»	79,3	52,1	18,2	34,5	1,61	7,02
		в/п «Восток ЭМ-1»	78,1	51,6	18,2	33,8	1,63	7,30
Немчиновская 57	без удобрений	б/о	71,4	51,6	16,8	32,6	1,52	6,05
		в/п Si	68,1	51,6	17,2	33,1	1,58	6,67
		о/с «Восток ЭМ-1»	71,1	52,0	17,0	32,8	1,61	6,99
		в/п «Восток ЭМ-1»	68,1	52,4	16,8	31,5	1,62	7,10
	$N_{60}P_{30}K_{30}$	б/о	59,6	50,8	18,1	30,5	1,50	6,03
		в/п Si	68,7	54,8	17,0	31,2	1,52	6,47
		о/с «Восток ЭМ-1»	68,7	55,1	17,7	30,3	1,55	6,80
		в/п «Восток ЭМ-1»	68,1	56,2	17,8	34,3	1,59	7,09
	$N_{120}P_{60}K_{60}$	б/о	74,1	55,3	16,4	31,5	1,55	6,37
		в/п Si	70,3	54,8	16,9	32,3	1,50	6,34
		о/с «Восток ЭМ-1»	73,1	55,7	17,0	31,7	1,62	6,96
		в/п «Восток ЭМ-1»	70,1	56,8	17,9	34,1	1,57	7,05

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Немчиновская 85	без удобрений	б/о	67,1	52,4	16,8	30,4	1,43	6,41
		в/п Si	68,5	52,9	16,9	30,9	1,40	6,54
		о/с «Восток ЭМ-1»	66,3	53,1	17,3	31,5	1,42	6,76
		в/п «Восток ЭМ-1»	67,9	54,1	17,2	34,1	1,47	7,10
	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	б/о	63,7	51,9	17,5	33,8	1,51	6,93
		в/п Si	64,2	52,6	17,2	33,2	1,48	7,00
		о/с «Восток ЭМ-1»	66,9	53,6	16,9	32,8	1,50	7,42
		в/п «Восток ЭМ-1»	68,3	55,2	17,1	32,0	1,54	7,21
	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	б/о	69,3	55,3	17,1	31,5	1,45	6,80
		в/п Si	66,3	55,7	16,7	32,3	1,49	7,11
		о/с «Восток ЭМ-1»	66,4	56,5	16,6	31,7	1,44	7,08
		в/п «Восток ЭМ-1»	71,1	56,3	16,9	32,4	1,54	7,53
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Среднее по фактору А	Московская 39		77,9	50,1	17,5	32,2	1,47	6,73
	Московская 40		70,9	50,0	17,3	32,5	1,54	6,89
	Московская 56		77,1	55,0	17,4	32,8	1,52	6,70
	Московская 82		72,7	60,1	17,5	35,9	1,63	7,99
	Немчиновская 17		67,5	52,5	17,2	33,3	1,58	6,68
	Немчиновская 57		69,3	53,9	17,2	32,2	1,56	6,66
	Немчиновская 85		62,2	54,1	17,0	32,2	1,47	6,99
Среднее по фактору В	без удобрений		71,7	52,4	17,3	32,6	1,46	6,76
	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀		70,4	53,7	17,3	33,0	1,55	7,01
	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀		73,2	54,9	17,4	33,3	1,55	7,07
Среднее по фактору С	б/о		67,1	54,9	17,2	33,1	1,49	6,61
	в/п Si		74,4	53,4	17,4	33,0	1,53	6,83
	о/с «Восток ЭМ-1»		72,0	53,7	17,1	32,6	1,55	6,83
	в/п «Восток ЭМ-1»		73,4	54,3	17,6	31,9	1,58	7,30
НСР ₀₅ (фактор А — сорт)			2,21	1,52	0,83	0,97	0,04	0,34
НСР ₀₅ (фактор В — минеральные удобрения)			3,37	0,98	0,23	0,30	0,09	0,24
НСР ₀₅ (фактор С — биопрепараты)			1,25	0,75	0,56	1,36	0,03	0,19
НСР ₀₅ (взаимодействие ABC)			4,01	2,43	1,57	2,47	0,21	0,63

Примечание: * расшифровка сокращений представлена в разделе «Материалы и методы исследования»; ** биометрический показатель не является элементом структуры урожая.

показатель на 0,4 шт. и 0,7 шт. зерен с одного колоса по сравнению с контрольным вариантом без их внесения (при HCP₀₅ по фактору В — 0,30). При этом внесение двойной дозы ($N_{120}P_{60}K_{60}$) минерального питания позволило увеличить число зерен в колосе по сравнению с применением одинарных доз ($N_{60}P_{30}K_{30}$) на 0,3 шт. (при HCP₀₅ по фактору В — 0,30).

Применение в технологии возделывания озимой пшеницы биопрепарата «Восток ЭМ-1» (как в виде предпосевной обработки семян) так и при внекорневом опрыскивании вегетирующих растений пшеницы в фазу кущения) и «Нанокремния» позволяет повысить показатель массы зерен с одного колоса по сравнению с контрольным вариантом на 0,04–0,10 г (при HCP₀₅ по фактору С — 0,03). При этом различий от применения таких элементов технологии возделывания озимой пшеницы, как предпосевная обработка биопрепаратом и внекорневая подкормка препаратом, содержащим микроэлементы, не выявлено (табл. 2).

Расчет биологической урожайности показал высокий потенциал изучаемых в опыте сортов — до 7,99 т/га (Московская 82). При этом у стандартного сорта Московская 39 эта биологическая урожайность составляла 6,73 т/га (при HCP₀₅

по фактору А — 0,34) (табл. 2). Применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{30}K_{30}$ и $N_{120}P_{60}K_{60}$ позволяет повысить данный показатель на 0,25–0,31 т/га (при HCP₀₅ по фактору В — 0,24). При этом различий от внесения как одинарных ($N_{60}P_{30}K_{30}$), так и двойных ($N_{120}P_{60}K_{60}$) доз минерального питания растений озимой пшеницы в погодных условиях вегетации не обнаружено.

Применение в технологии возделывания озимой пшеницы биопрепарата (как в виде предпосевной обработки семян, так и при внекорневом опрыскивании вегетирующих растений пшеницы в фазу кущения) и внекорневой подкормки препаратом, содержащим микроэлементы, позволяет повысить показатель биологической (потенциальной) урожайности по сравнению с контрольным вариантом на 0,22–0,69 т/га (3,3–10,4%) (при HCP₀₅ по фактору С — 0,19). При этом различий от предпосевной обработки семян биопрепаратом и внекорневой подкормки препаратом, содержащим микроэлементы, не выявлено (табл. 2), что согласуется с данными других авторов [14].

Высота растений не является элементом структуры урожая, но этот признак очень важен для понимания устойчивости растений к полеганию и возможным потерям в урожай. В результате

наблюдений выявлено, что сорта озимой пшеницы под общим названием Немчиновские (Немчиновская 17, Немчиновская 57, Немчиновская 85 — длина составила от 62,2 до 69,3 см) более низкорослые, чем сорта под общим названием Московские (Московская 39, Московская 40, Московская 56, Московская 82 — длина составила от 72,7 до 77,9 см). Это говорит о способности их в большей степени противостоять внешним факторам, способствующим к полеганию растений. Минеральные удобрения в погодных условиях вегетации растений пшеницы (теплая и продолжительная осень и ранняя, но холодная весна) не повлияли на высоту растений (табл. 2).

Сорт Московская 82 в почвенно-климатических условиях Нижегородской области показывает себя более урожайным по сравнению с другими изучаемыми сортами озимой пшеницы, так как это новый сорт интенсивного типа, отзывчивый к применению различных элементов технологии его возделывания (в том числе к внесению минеральных микро- и макроудобрений, биопрепаратов). Кроме того, данный сорт был выведен в результате совместной работы ученых ФИЦ «Немчиновка и Нижегородского НИИСХ в условиях Нижегородской области, и он лучше других исследуемых сортов адаптирован к местным условиям возделывания [15].

Таким образом, в исследованиях выявлено, что наиболее эффективным приемом для повышения биологической урожайности озимой пшеницы является прием внекорневого опрыскивания вегетирующих растений биопрепаратом в

фазу кущения, внесения изучаемых доз минерального питания и в сочетании с возделыванием современных сортов данной культуры (Московская 82).

Выводы/Conclusions

Установлено, что в погодных условиях 2024 г. расчет биологической урожайности показал высокий потенциал изучаемых сортов — до 7,99 т/га (Московская 82). Применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{30}K_{30}$ и $N_{120}P_{60}K_{60}$ позволяет повысить данный показатель на 0,25–0,31 т/га. Применение в технологии возделывания озимой пшеницы биопрепарата (как в виде предпосевной обработки семян, так и при внекорневом опрыскивании вегетирующих растений пшеницы в фазу кущения) и внекорневой подкормки препаратом «Нанокремний» позволяет повысить показатель биологической (потенциальной) урожайности по сравнению с контрольным вариантом на 0,22–0,69 т/га (3,3–10,4%).

В результате проведенной научно-исследовательской работы рекомендовать для сельхозтоваропроизводителей Нижегородской области внедрять в производство высокорентабельные современные сорта озимой пшеницы интенсивного типа Московская 82 и Немчиновская 85. В технологии возделывания применять биопрепарат «Восток ЭМ-1» и препарат «Нанокремний» путем опрыскивания растений в фазу кущения при возобновлении их вегетации весной в дозах 500 мл/га по фону минерального питания $N_{60}P_{30}K_{30}$.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет Минобрнауки РФ в рамках государственного задания «Разработка системы удобрения и защиты растений для технологий высокопродуктивного и экологически чистого производства зерновых, зернобобовых и масличных культур» (тема НИР, регистрационный номер НИР в ЕГИСУ НИОКТР 5-4.1.6-1024072200018).

FUNDING

The research was carried out at the expense of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state assignment "Development of a fertilizer and plant protection system for technologies of highly productive and environmentally friendly production of cereals, legumes and oilseeds" (research topic, research registration number. in EGISU R&D 1024072200018-5-4.1.6).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черкасов Г.Н., Пыхтин И.Г., Гостев А.В. Современный подход к систематизации обработок почвы в агротехнологиях нового поколения. Достижения науки и техники АПК. 2016; 30(1): 5–8. <https://elibrary.ru/tlfaht>
2. Козлова Л.М., Попов Ф.А., Носкова Е.Н., Денисова А.В. Применение основных элементов ресурсосберегающих экологически безопасных технологий при выращивании яровых зернофуражных культур в центральной зоне Северо-Востока европейской части России. Романюк В. (ред.). Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза. Фаленты; Варшава: Институт технологических и естественных наук в Фалентах. Отделение в Варшаве. 2018; 67–74. <https://elibrary.ru/uzokxv>
3. Жученко А.А. Обеспечение продовольственной безопасности России в XXI веке на основе адаптивной стратегии устойчивого развития АПК: (теория и практика). Киров: НИИСХ Северо-Востока. 2009; 273. ISBN 978-5-7352-0121-2

REFERENCES

1. Cherkasov G.N., Pykhtin I.G., Gostev A.V. Modern approach to tillage systematization in agricultural technologies of new generation. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2016; 30(1): 5–8 (in Russian). <https://elibrary.ru/tlfaht>
2. Kozlova L.M., Popov F.A., Noskova E.N., Denisova A.V. Technologies of growing of spring grain-forage crops in central part of European North-East of Russia. Romaniuk W. (ed.). Problems of intensification of animal production including environment protection and alternative energy production as well as biogas. Falenty; Warsaw: *Institute of Technology and Life Sciences. Branch Warsaw*. 2018; 67–74 (in Russian). <https://elibrary.ru/uzokxv>
3. Zhuchenko A.A. Ensuring Russia's foods security in the 21st century based on an adaptive strategy for the sustainable development of agriculture: (theory and practice). Kirov: *Scientific Research Institute of Agriculture of the Northeast*. 2009; 273 (in Russian). ISBN 978-5-7352-0121-2

4. Сандухадзе Б.И. и др. Сорты озимой пшеницы центра Нечерноземья РФ и реализация их потенциала в производственных условиях. Достижения и перспективы научного обеспечения агропромышленного комплекса Центрального региона России. Материалы научно-практической конференции, посвященной 80-летию Московского НИИИСК «Немчиновка». М.: Восход-А. 2012; 55–59.

<https://elibrary.ru/zfxrnv>

5. Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Крахмалева М.С., Бугрова В.В. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы, элементы ее структуры и адаптивные свойства в условиях Нечерноземной зоны. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021; (3): 17–22. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-17-22>

6. Фомин В.Н., Козин А.М., Мардиев И.И., Хуснутдинов Р.Г. Влияние различных схем применения макро- и микроудобрений и стимуляторов роста на водный режим почвы, водопотребление, урожайность и качество зерна озимой пшеницы. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022; 7(2): 19–29. https://doi.org/10.55471/19973225_2022_7_2_19

7. Васин В.Г., Трифонов Д.И., Саниев Р.Н. Показатели фотосинтетической деятельности растений в посевах кукурузы при выращивании на планируемый урожайность. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022; 7(2): 3–10. https://doi.org/10.55471/19973225_2022_7_2_3

8. Rusek P., Mikos-Szymańska M., Karsznia M., Sienkiewicz-Cholewa U., Igras J. The effectiveness of nitrogen-phosphorus fertilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2016; 22(5): 752–755.

9. Кошеляев В.В., Карпова Л.В. Влияние элементов технологии на урожай и посевные качества семян озимой пшеницы. *Нива Поволжья*. 2019; (4): 60–66. <https://elibrary.ru/tcvqqz>

10. Simsek S. et al. Effect of pre-harvest sprouting on physicochemical changes of proteins in wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014; 94(2): 205–212. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6229>

11. Куликова А.Х., Яшин Е.А., Волкова Е.С. Кремнистые породы в системе удобрения озимой пшеницы. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020; (3): 53–59. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-3-53-59>

12. Ивенин А.В., Ивенин В.В., Шубина К.В., Саков А.П. Влияние технологии возделывания залежных земель на урожайность и энергетическую эффективность выращивания зерновых культур в условиях юго-востока Волго-Вятского региона. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 121–125 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-121-125>

13. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Nasrulhaq Boyce A. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability — A Review. *Molecules*. 2016; 21(5): 573. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>

14. Насиёв Б.Н., Жылкыбай А.М., Беккалиев А.К., Жанаталпов Н.Ж., Беккалиева А.К. Использование посевов сафлора (*Carthamus tinctorius*) для фитомелиорации темно-каштановых почв Западного Казахстана. *Аграрная наука*. 2022; (3): 62–65. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-357-3-62-65>

15. Тедеева А.А., Тедеева В.В. Эффективность применения минеральных удобрений и гербицидов на посевах озимой пшеницы. *Аграрная наука*. 2023; 1(10): 95–99. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-95-99>

ОБ АВТОРАХ

Алексей Валентинович Ивенин

доктор сельскохозяйственных наук,
доцент, ведущий научный сотрудник
a.v.ivenin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7072-4029>

Валентин Васильевич Ивенин

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заведующий кафедрой
iveninvv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6903-8312>

Леонид Кириллович Петров

кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент, старший научный сотрудник
petrovk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2836-7491>

Сергей Михайлович Голубев

аспирант
Golubevvsergey@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-0458-4267>

Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л.Я. Флорентьева,
пр-т им. Гагарина, 97, Нижний Новгород, 603107, Россия

4. Sandukhadze B.I. et al. Varieties of winter wheat from the center of the Non-Chernozem region of the Russian Federation and the realization of their potential in production conditions. *Achievements and prospects of scientific support of the agro-industrial complex of the Central region of Russia. Proceedings of the scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Moscow Research Institute of Agriculture "Nemchinovka"*. Moscow: Voskhod-A. 2012; 55–59 (in Russian). <https://elibrary.ru/zfxrnv>

5. Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Krakhmaleva M.S., Bugrova V.V. Yield of winter bread wheat varieties, elements of its structure and adaptive properties in the conditions of the Nechernozem zone. *Legumes and groat crops*. 2021; (3): 17–22 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-17-22>

6. Fomin V.N., Kozin A.M., Mardiev I.I., Husnutdinov R.G. Influence of various application schemes of macro- and micro-fertilizers and growth stimulants on soil water regime and consumption, winter wheat grain yield and its class. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2022; 7(2): 19–29 (in Russian). https://doi.org/10.55471/19973225_2022_7_2_19

7. Vasin V.G., Trifonov D.I., Saniev R.N. Indicators of corn photosynthesis cultivated for targeted yield. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2022; 7(2): 3–10 (in Russian). https://doi.org/10.55471/19973225_2022_7_2_3

8. Rusek P., Mikos-Szymańska M., Karsznia M., Sienkiewicz-Cholewa U., Igras J. The effectiveness of nitrogen-phosphorus fertilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivation. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2016; 22(5): 752–755.

9. Koshelyayev V.V., Karpova L.V. The influence of technology elements on yield and sowing quality of winter wheat seeds. *Niva Povolzhya*. 2019; (4): 60–66 (in Russian). <https://elibrary.ru/tcvqqz>

10. Simsek S. et al. Effect of pre-harvest sprouting on physicochemical changes of proteins in wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014; 94(2): 205–212. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6229>

11. Kulikova A.Kh., Yashin E.A., Volkova E.S. Siliceous rocks in winter wheat fertilizer system. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020; (3): 53–59 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-3-53-59>

12. Ivenin A.V., Ivenin V.V., Shubina K.V., Sakov A.P. The influence of the technology of cultivation of fallow lands on the yield and energy efficiency of growing grain crops in the conditions of the south-east of the Volga-Vyatka region. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 121–125 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-121-125>

13. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Nasrulhaq Boyce A. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability — A Review. *Molecules*. 2016; 21(5): 573. <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>

14. Nasiyev B.N., Zhylybay A.M., Bekkaliyev A.K., Zhanatalapov N.Zh., Bekkaliyeva A.K. The use of safflower crops (*Carthamus tinctorius*) for phytomelioration of dark chestnut soils in Western Kazakhstan. *Agrarian science*. 2022; (3): 62–65 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-357-3-62-65>

15. Tedeewa A.A., Tedeewa V.V. Efficiency of using mineral fertilizers and herbicides on winter wheat crops. *Agrarian science*. 2023; 1(10): 95–99 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-95-99>

ABOUT THE AUTHORS

Alexey Valentinovich Ivenin

Doctor of Agricultural Sciences,
Associate Professor, Leading Researcher
a.v.ivenin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7072-4029>

Valentin Vasilyevich Ivenin

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Head of the Department
iveninvv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6903-8312>

Leonid Kirillovich Petrov

Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor, Senior Researcher
petrovk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2836-7491>

Sergey Mikhailovich Golubev

Graduate Student
Golubevvsergey@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-0458-4267>

Florentyev Agrotechnological University,

97 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russia

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-119-125

И.М. Засыпкина

Аграрный научный центр «Донской»,
Зерноград, Ростовская обл., Россия

✉ irinka_kolosok92@mail.ru

Поступила в редакцию: 21.02.2024

Одобрена после рецензирования: 09.05.2025

Принята к публикации: 24.05.2025

© Засыпкина И.М.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-119-125

Irina M. Zasyapkina

Agricultural Research Center "Donskoy",
Zernograd, Rostov region, Russia

✉ irinka_kolosok92@mail.ru

Received by the editorial office: 21.02.2024

Accepted in revised: 09.05.2025

Accepted for publication: 24.05.2025

© Zasyapkina I.M.

Оценка показателей стрессоустойчивости, стабильности и пластичности сортов озимого ячменя по массе 1000 зерен

РЕЗЮМЕ

Масса 1000 зерен относится к важному критерию адаптивности сортов, так как данный признак отражает конечный результат взаимодействия между сортом и окружающей средой в процессе формирования продуктивности.

Цель исследования — оценка изменчивости значений пластичности, стабильности, стрессоустойчивости и гомеостатичности по признаку «масса 1000 зерен» у 20 сортов и линий озимого ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Исследования по оценке параметров адаптивности проводили в отделе селекции и семеноводства ячменя с 2021 по 2023 год на опытных полях ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Ростовская область). Для расчета параметров адаптивности использовали следующие коэффициенты и показатели: показатель гомеостатичности (Hom) и селекционной ценности (Sc), стрессоустойчивости ($(Y_{\min} - Y_{\max})$) и генетической гибкости ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$), коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания (Kp) и показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) по соответствующим методикам. Были выявлены сорта, отличающиеся высокими параметрами адаптивности и стабильности. Сорта Маруся и Степ выделялись как адаптированные к условиям региона, способные формировать высокую продуктивность и адаптироваться к изменяющимся условиям среды и в меньшей степени снижающие значение массы 1000 зерен. Образцы Параллелум 2086, Паллидум 2100 и Параллелум 2136 отмечены как стабильные, способные сводить к минимуму неблагоприятные условия воздействия внешней среды, показывающие слабую реакцию сорта на изменения условий возделывания, способные динамично изменять показатель массы 1000 зерен под влиянием изменчивой природной среды. Линия Паллидум 2100 проявила себя как стрессоустойчивая ($(Y_{\min} - Y_{\max}) = -4,1$, $(Y_{\min} + Y_{\max})/2 = 44,5$). Вышеназванные сорта и линии выделились по комплексу изученных признаков и являются наиболее приспособленными к формированию крупного, тяжеловесного зерна.

Ключевые слова: озимый ячмень, масса 1000 зерен, экологическая пластичность, адаптивность

Для цитирования: Засыпкина И.М. Оценка показателей стрессоустойчивости, стабильности и пластичности сортов озимого ячменя по массе 1000 зерен. *Аграрная наука*. 2025; 395 (06): 119–125.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-119-125>

Estimation of stress resistance, stability and adaptability indicators of the winter barley varieties according to 1000-grain weight

ABSTRACT

The trait '1000-grain weight' is an important criterion of the adaptability of varieties, since this trait demonstrates the final correlation result between the variety and the environment during productivity formation. The purpose of the current study was to estimate the variability of such values as adaptability, stability, stress resistance and homeostasis according to the trait '1000-grain weight' in 20 winter barley varieties and lines developed by the FSBSI "ARC "Donskoy". The study on the estimation of adaptability parameters was carried out in the department of barley breeding and seed production on the experimental plots of the FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Rostov Region) from 2021 to 2023. In order to calculate the adaptability parameters, there have been used such coefficients and indicators as an indicator of homeostasis (Hom), breeding value (Sc), stress resistance ($(Y_{\min} - Y_{\max})$) and genetic flexibility ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$), the coefficient of response to favorable growing conditions and an indicator of the variety stability level according to the relevant methods. There have been identified the varieties with high adaptability and stability parameters. The varieties 'Marusya' and 'Step' were identified as those adapted to the conditions of the region, capable to have large productivity and adapt to changing environmental conditions and reduce the value of '1000-grain weight' to a lesser extent. The samples 'Parallelum 2086', 'Pallidum 2100' and 'Parallelum 2136' proved to be stable, capable to minimize unfavorable environmental conditions, show a weak response of a variety to changing cultivation conditions, capable to change dynamically the indicator of '1000-grain weight' under the effect of a changing environment. The line 'Pallidum 2100' has proven to be stress-resistant ($(Y_{\min} - Y_{\max}) = -4.1$, $(Y_{\min} + Y_{\max})/2 = 44.5$). The above-mentioned varieties and lines possessed a complex of studied traits and were the most adapted to the formation of large, heavy grain.

Key words: winter barley, 1000-grain weight, ecological plasticity, adaptability

For citation: Zasyapkina I.M. Estimation of stress resistance, stability and adaptability indicators of the winter barley varieties according to 1000-grain weight. *Agrarian science*. 2025; 395 (06): 119–125 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-119-125>

Введение/Introduction

Ячмень — одна из важнейших зернофуражных культур, занимающая ведущие позиции как в российском, так и в мировом сельском хозяйстве. Его широкое распространение обусловлено высокой урожайностью, неприхотливостью к условиям выращивания и, что особенно важно, богатым химическим составом, делающим его незаменимым компонентом в различных отраслях. Более 65% собранного урожая ячменя используется в качестве корма для животных [1–3], что обусловлено его питательной и биологической ценностью.

Выращивание ячменя имеет свои особенности. Культура достаточно засухоустойчива и хорошо переносит холодные условия, что позволяет культивировать ее в различных климатических зонах. Селекционеры постоянно работают над выведением новых высокопродуктивных сортов, адаптированных к изменяющимся климатическим условиям [4–6].

Разработка адаптивных сортов — это сложная задача, требующая междисциплинарного подхода. Необходимо учитывать не только генетические аспекты, но и агротехнические приемы, экологические аспекты применения новых сортов и экономическую эффективность их внедрения. Важно учитывать генетическое разнообразие исходного материала, чтобы избежать снижения генетической устойчивости новых сортов к другим стресс-факторам или болезням. Поэтому исследования должны быть направлены на разработку интегрированных стратегий, комбинирующих генетические улучшения с оптимизацией агротехники и устойчивым управлением почвенными ресурсами [7, 8]. Это позволит создать не только высокопродуктивные, но и экологически безопасные сельскохозяйственные системы, устойчивые к изменениям климата и способные обеспечить продовольственную безопасность в условиях глобальных вызовов.

Продуктивность сорта формируется за счет различных элементов структуры урожая, которые находятся в сложной корреляции как между собой, так и с урожайностью зерна. Масса 1000 зерен — это сортовой признак и один из наиболее значимых элементов структуры урожая. Этот параметр может варьироваться в зависимости от условий выращивания, таких как тип почвы, уровень влагообеспечения и температура [9].

Важно отметить, что сорта с крупными зернами, как правило, более устойчивы к неблагоприятным факторам окружающей среды, таким как засуха или болезни. Это делает их более предпочтительными для сельхозпроизводителей,

особенно в регионах с нестабильным климатом. Семена с высокой массой 1000 зерен не только имеют отличные посевные и урожайные характеристики, но и обеспечивают больший выход продукции [10–13]. Это означает, что при их использовании можно ожидать более высоких результатов в плане сбора урожая. Кроме того, крупные зерна облегчают процесс отделения семян от сорняков на сеяноочистительных машинах, что значительно упрощает обработку и подготовку семян к посеву [14, 15].

Показатель «масса 1000 зерен» рассматривается как важный критерий адаптивности сортов [16]. Исследования показывают, что чаще демонстрируют устойчивость к стрессам сорта с крупным, хорошо выполненным зерном, что позволяет им лучше адаптироваться к изменяющимся условиям. Таким образом, масса 1000 зерен не только является важным сортовым признаком, но и критерием, который помогает определить адаптивность сорта к различным условиям.

Цель исследования — оценка изменчивости значений пластичности, стабильности, стрессоустойчивости и гомеостатичности по признаку «масса 1000 зерен» у 20 сортов и линий озимого ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»».

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования по изучению стрессоустойчивости и адаптивности сортов и линий озимого ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»» проводили с 2021 по 2023 год в зерноградском районе Ростовской области Российской Федерации.

Объект исследований — 20 сортов и линий озимого ячменя местной селекции, из них 5 сортов внесены в Государственный реестр РФ (Тимофей, Ерема, Маруся, Фокс 1, Квант), сорт Степ проходит изучение в Госсортсети РФ и 14 перспективных линий. Посев производили сеялкой Wintersteiger Plotseed (Австрия), площадь учетной делянки — 10 м², количество повторений — 3.

Для определения показателей гомеостатичности (Hom) и селекционной ценности (Sc) применяли методику В.В. Хангильдина и Н.А. Литвиненко (1981 г.)¹.

Показатели стрессоустойчивости (Y_{min} , Y_{max}) и генетической гибкости ($(Y_{max} + Y_{min})/2$) рассчитаны по уравнениям А.А. Росиелле, Ж. Гамблина в изложении А.А. Гончаренко (2005 г.)².

Коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания (Кр) определяли по методу В.А. Зыкина (2005 г.)³, показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) — по уравнению Э.Д. Неттевича (2001 г.)⁴.

¹ Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы. Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1981; 1: 8–14.

² Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник Россельхозакадемии. 2005; 6: 49–53.

³ Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа: БашГАУ. 2005; 100.

⁴ Неттевич Э.Д. Потенциал урожайности рекомендованных для возделывания в центральном регионе РФ сортов яровой пшеницы и ячменя и его реализация в условиях производства // Доклады РАСХН. 2001; 3: 3–6.

Математическую обработку результатов исследований и расчет коэффициента вариации (C_v) проводили по методике полевого опыта Б.А. Доспехова (2014 г.)⁵. Массу 1000 зерен определяли согласно ГОСТ 10842-89⁶.

2020/21 с.-х. год отличался повышенным температурным режимом — как в осенний, так и в весенне-летний период. Среднегодовая температура воздуха составила 11,7 °С, превысив многолетнюю на 2,0 °С. В весенний период в фазе выхода в трубку, цветения и налива зерна (апрель, май) выпали 160,9 мм осадков, что больше среднемноголетнего на 66,9 мм.

2021/22 с.-х. год был наиболее благоприятным для роста и развития озимого ячменя. Температурный режим был повышенный (+3,7 °С к среднемноголетней температуре), что способствовало благоприятной перезимовке растений озимого ячменя. Весенний период отличался достаточным количеством осадков — 164 мм (среднемноголетнее — 131 мм), что способствовало благоприятному развитию растений.

2022/23 с.-х. год характеризовался повышенным температурным режимом (+17,5 °С к среднемноголетней температуре) и снижением осадков по сравнению со среднемноголетними значениями — 220 мм и 277 мм соответственно. Однако в весенний период (апрель, май) большое количество влаги в виде ливней (204 мм) (среднемноголетнее — 94 мм) с порывами ветра и градом способствовало существенному полеганию посевов, что впоследствии негативно повлияло на формирование массы 1000 зерен.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Перед анализом адаптивных свойств сортов и линий была проведена оценка и установлена достоверность источников среды, сортовых влияний на выраженность признака. Методом двухфакторного дисперсионного анализа выявлены значимые эффекты среды и генотипа на показатель «масса 1000 зерен». Фактор «погодные условия» оказывал доминирующее влияние на формирование массы 1000 зерен (90,2%), что охарактеризовало его как основной влияющий показатель на формирование признака при сложившихся погодных условиях года, тогда как влияние фактора «сорт» составило 8,7%, а влияние взаимодействия этих факторов — 1,1%.

Крупность зерна у изучаемого набора сортов и линий озимого ячменя за период исследования была высокой, но варьировала по годам. В среднем за годы испытания среднее значение признака «масса 1000 зерен» колебалось от 29,8 г у линии Параллелум 2016 (2023 г.) до 47,4 г у сорта Степ (2021 г.) (табл. 1).

При расчете I_j установили, что 2023 год был неблагоприятным для формирования массы 1000 зерен ($I_j = -4,31$), среднее значение признака составило 35,1 г. Благоприятными факторами среды для роста и развития ячменя характеризовались 2021 с.-х. год и 2022-й ($I_j = +2,22-2,08$). В условиях данных лет было сформировано крупное и хорошо выполненное зерно, среднее значение массы 1000 зерен составило 41,6 г и 41,5 соответственно.

Варьирование по крупности зерна в среднем за период испытания составило от 33,7 у сорта Ерема до 45,1 у сорта Степ. Массу 1000 зерен более 40 г сформировали сорта и линии Маруся, Степ,

Таблица 1. Масса 1000 зерен сортов и линий озимого ячменя (2021–2023 гг.)

Table 1. 1000-grain weight of the winter barley varieties and lines (2021–2023)

№ п/п	Название сорта	Масса 1000 зерен, г		
		2021 г.	2022 г.	2023 г.
1	Тимофей, стандарт	39,8	40,3	34,6
2	Ерема	32,5	36,9	31,8
3	Виват	38,7	39,5	35,5
4	Маруся	46,6	46,5	40,7
5	Фокс I	41,4	40,3	35,3
6	Степ	47,4	47,1	40,9
7	Параллелум 1990	39,5	37,8	31,0
8	Параллелум 2015	42,0	43,1	36,7
9	Параллелум 2016	41,2	41,0	29,8
10	Параллелум 2017	41,2	39,6	31,5
11	Параллелум 2019	43,9	43,1	36,5
12	Параллелум 2054	42,8	40,1	34,1
13	Параллелум 2083	41,7	42,5	35,4
14	Квант	40,5	36,2	31,7
15	Параллелум 2084	40,5	37,5	35,1
16	Параллелум 2086	42,2	43,0	37,9
17	Параллелум 2093	43,0	41,0	32,8
18	Паллидум 2100	44,4	46,5	42,4
19	Параллелум 2123	42,9	41,1	34,2
20	Параллелум 2136	40,0	43,3	38,0
	Соткл.	3,1	3,1	3,5
	Y_j^*	41,6	41,5	35,1
	I_j^*	+2,22	+2,09	-4,31

Примечание: Y_j — средняя масса 1000 зерен, I_j — индекс условий среды.

⁵ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс. 2014; 352.

⁶ ГОСТ 10842-89 Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян. М.: Стандартинформ. 2009.

Параллелум 2015, Параллелум 2019, Параллелум 2086, Паллидум 2100, Параллелум 2136 (табл. 2).

Важным этапом в алгоритме подсчета адаптивных свойств является оценка сортов по стрессоустойчивости. Показатель разницы между минимальным и максимальным значениями признака ($Y_{\min}$, $Y_{\max}$) характеризует сорт как устойчивый к стрессу. Сорт Виват и линия Паллидум 2100 имели самые низкие показатели по данному признаку (-4,0-4,1), что указывает на их широкий интервал приспособительных возможностей по формированию крупного зерна. Лучшие результаты по показателю генетической гибкости ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$) отмечены у сортов Маруся, Степ и линии Паллидум 2100 — 43,7, 44,2, 44,5 соответственно, высокое значение признака обуславливает степень соответствия между крупнозерностью сортов и факторами среды, влияющими на нее.

На основе вычисленных для каждого генотипа коэффициентов регрессии (b_i) установлено, что варьирование данного показателя находилось в пределах от 0,44 у сорта Ерема до 1,83 у линии Параллелум 2016 (табл. 3).

Таблица 2. Масса 1000 зерен и оценка стрессоустойчивости сортов и линий озимого ячменя (2021–2023 гг.)
Table 2. 1000-grain weight and estimation of stress resistance of the winter barley varieties and lines (2021–2023)

№ п/п	Название сорта (линии)	Y_i	Стрессоустойчивость	
			$Y_{\min}$, $Y_{\max}$	$(Y_{\min} + Y_{\max})/2$
1	Тимофей, стандарт	38,2	-5,7	37,5
2	Ерема	33,7	-5,1	34,4
3	Виват	37,9	-4,0	37,5
4	Маруся	44,6	-5,9	43,7
5	Фокс I	39,0	-8,4	39,5
6	Степ	45,1	-6,5	44,2
7	Параллелум 1990	36,1	-8,5	35,3
8	Параллелум 2015	40,6	-6,4	39,9
9	Параллелум 2016	37,3	-11,4	35,5
10	Параллелум 2017	37,4	-9,7	36,4
11	Параллелум 2019	41,2	-7,4	40,2
12	Параллелум 2054	39,0	-8,7	38,5
13	Параллелум 2083	39,8	-7,1	39,0
14	Квант	36,1	-8,8	36,1
15	Параллелум 2084	37,7	-5,4	37,8
16	Параллелум 2086	41,0	-5,1	40,5
17	Параллелум 2093	38,9	-10,2	37,9
18	Паллидум 2100	44,4	-4,1	44,5
19	Параллелум 2123	39,4	-8,7	38,6
20	Параллелум 2136	40,5	-5,3	40,7

Примечание: Y_i — средняя масса 1000 зерен за 2021–2023 гг.

У 40% образцов коэффициент регрессии больше 1, что характеризует их как отзывчивые на условия выращивания. Коэффициент регрессии менее 1, указывающий на слабую реакцию сорта на изменения условий возделывания, имели 40% сортов и линий, 20% образцов относились к сортам нейтрального типа ($b_i \approx 1$), которые являются адаптированными к условиям региона и в меньшей степени снижают показатель «масса 1000 зерен». Сорта Маруся, Степ и линия Параллелум 2019 выделились как стабильные ($b_i = 0,98, 1,03$ и $1,09$ соответственно), что подтверждается показателем среднеквадратического отклонения ($\sigma^2 d = 0,02, 0,15$ и $0,15$ соответственно), данные сорта способны динамично изменять показатель «масса 1000 зерен» под влиянием изменчивой природной среды, сохраняя при этом высокие значения данного признака.

Сильная изменчивость согласно коэффициенту вариации ($Cv > 20\%$) отмечена у линии Параллелум 2016 (24,8%), остальные изучаемые сорта проявили слабую изменчивость ($Cv < 20\%$).

Таблица 3. Параметры адаптивных свойств и экологической устойчивости показателя «масса 1000 зерен» у исследованных сортов и линий озимого ячменя (2021–2023 гг.)
Table 3. Parameters of adaptive properties and ecological stability of the trait “1000-grain weight” of the winter barley varieties and lines (2021–2023)

№ п/п	Название сорта	b_i	$\sigma^2 d$	$Cv, \%$	Hom	Sc
1	Тимофей, стандарт	0,87	1,60	11,6	57,8	32,8
2	Ерема	0,44	8,82	11,5	57,6	29,1
3	Виват	0,58	0,37	8,0	118,2	34,1
4	Маруся	0,98	0,02	10,7	70,6	39,0
5	Фокс I	0,90	0,59	11,7	39,5	31,5
6	Степ	1,03	0,15	11,6	60,1	38,9
7	Параллелум 1990	1,25	0,45	17,7	23,9	28,3
8	Параллелум 2015	0,94	1,43	12,0	53,0	34,6
9	Параллелум 2016	1,83	0,79	24,8	13,2	27,0
10	Параллелум 2017	1,46	0,31	19,7	19,5	28,6
11	Параллелум 2019	1,09	0,15	13,9	39,9	34,2
12	Параллелум 2054	1,21	2,17	16,2	27,8	31,1
13	Параллелум 2083	1,08	0,55	13,8	40,6	33,2
14	Квант	1,14	5,22	17,3	23,8	28,3
15	Параллелум 2084	0,64	4,65	10,1	68,8	32,7
16	Параллелум 2086	0,75	1,12	9,3	86,1	36,2
17	Параллелум 2093	1,50	1,90	19,7	19,3	29,7
18	Паллидум 2100	0,48	1,33	6,5	105,8	40,5
19	Параллелум 2123	1,27	0,86	16,5	27,5	31,4
20	Параллелум 2136	0,57	10,91	9,3	82,1	35,5

Примечание: Y_i — средняя масса 1000 зерен; b_i — коэффициент линейной регрессии; $\sigma^2 d$ — среднеквадратическое отклонение; $Cv, \%$ — коэффициент вариации; Hom — показатель гомеостатичности; Sc — показатель селекционной ценности; min, max — минимальная и максимальная средняя урожайность сорта в среднем за годы исследований.

Показатель гомеостатичности (Ном) варьировался от 13,2 у линии Параллелум 2016 до 118,2 у сорта Виват. Виват, Паллидум 2100, Параллелум 2086 и Параллелум 2136 имели высокий показатель гомеостатичности, что говорит об их способности сводить к минимуму неблагоприятные условия внешней среды (Ном = 118,2, 105,8, 86,1 и 82,1 соответственно).

Один из параметров оценки сорта, объединяющий высокую продуктивность со способностью адаптироваться к изменяющимся условиям среды, является показатель селекционной ценности генотипа (Sc). По признаку «масса 1000 зерен» показатели селекционной ценности генотипа у изучаемых образцов были высокими. Выделились Маруся, Степ и Паллидум 2100 (Sc = 39,0, 38,9 и 40,5 соответственно).

Коэффициент отзывчивости на условия окружающей среды (Кр) показывает разницу между урожайностью сорта, выращенного в благоприятной внешней среде, и урожайностью этого же сорта, полученной в неблагоприятных условиях, согласно которому все сорта хорошо реагируют на улучшение условий возделывания ($K_p > 1,0$). Наибольшие значения ($K_p \geq 1,30$) имели линии Параллелум 2016, Параллелум 2093, Параллелум 2017 (рис. 1).

В данном исследовании показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) варьировал от 45% (Параллелум 2016) до 189% (Паллидум 2100). Повышенные показатели уровня стабильности сорта относительно стандартного сорта Тимофей выявлены у 40% образцов (рис. 2).

Рис. 1. Коэффициент отзывчивости на улучшение условий выращивания образцов озимого ячменя (2021–2023 гг.)

Fig. 1. Coefficient of response to improving growing conditions of the winter barley samples (2021–2023)

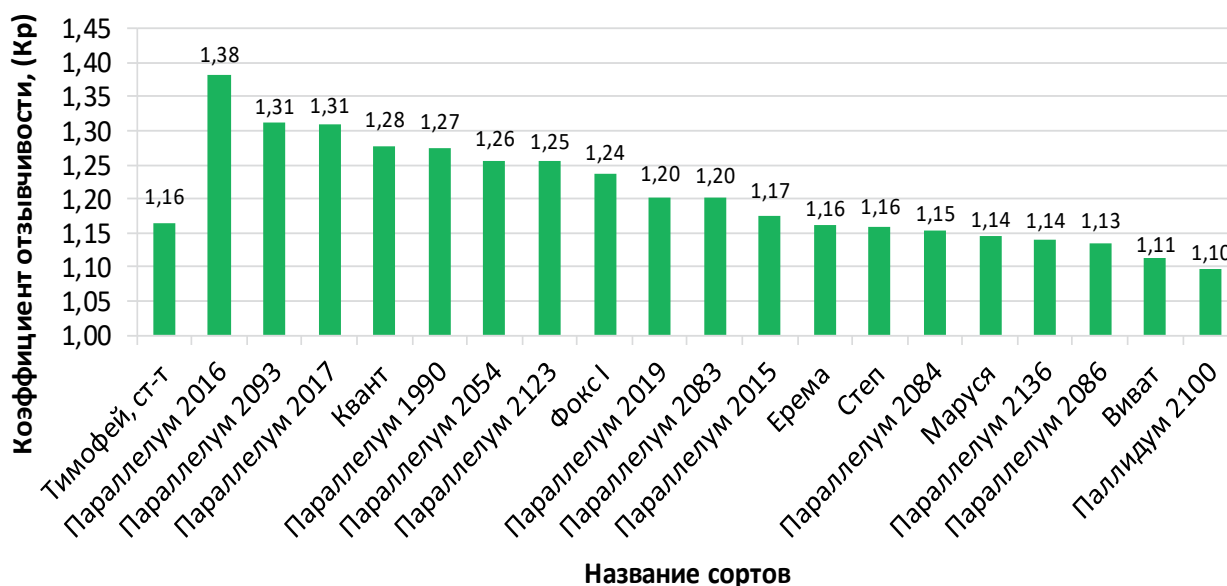
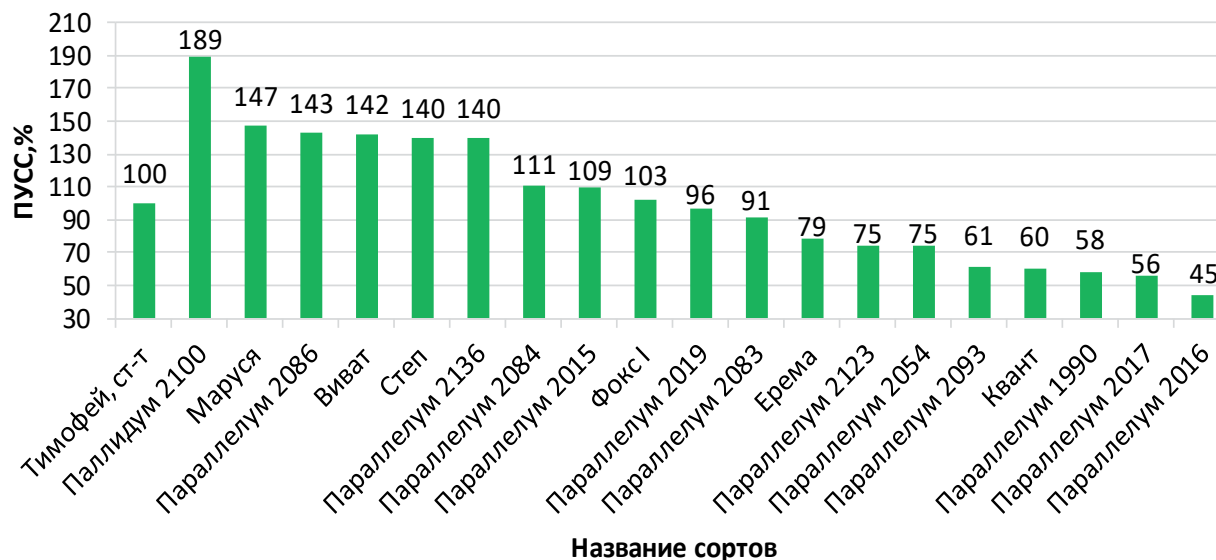


Рис. 2. Показатель уровня стабильности сорта (2021–2023 гг.)

Fig. 2. Indicator of the variety stability level (2021–2023)



Выводы/Conclusions

Результаты исследований позволили выявить адаптивные к условиям выращивания и стабильные сорта озимого ячменя по признаку «масса 1000 зерен». Сорта Маруся и Степ выделены как адаптивные, способные формировать высокую продуктивность и адаптироваться к изменяющимся условиям среды и в меньшей степени снижающие показатель «масса 1000 зерен». Данные сорта способны реализовать генетический потенциал, формируя выполненное крупное зерно, сохраняя высокую массу 1000 зерен.

Линии Параллелум 2086, Паллидум 2100 и Параллелум 2136 оценены как стабильные и способные сводить к минимуму неблагоприятные условия воздействия внешней среды, показывающие слабую реакцию сорта на изменения условий возделывания, сохраняя при этом высокие показатели массы 1000 зерен. Линия Паллидум 2100 проявила себя как стрессоустойчивая.

Данные сорта и линии были выделены на основании совокупности проанализированных характеристик и демонстрировали наилучшую приспособленность к формированию высокой массы 1000 зерен.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»» по теме № 0505-2022-0002.

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 of the «Donskoy» Agrarian Research Center on topic No. 0505-2022-0002.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Морозов Н.А., Самсонов И.В., Панкратова Н.А. Оценка адаптивности ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» к засушливым условиям Ставропольского края. *Зерновое хозяйство России*. 2022; (4): 16–21.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21>
2. Elakhdar A. et al. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*. 2022; 201: 104965.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104965>
3. Дорошенко Э.С., Филиппов Е.Г. Оценка сортов озимого ячменя различного эколого-географического происхождения по хозяйственно ценным признакам и свойствам. *Аграрная наука*. 2023; (4): 110–115.
<https://doi.org/https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-110-115>
4. Новикова А.А., Грецишклина О.С., Емельянова А.А., Пустовалова А.А., Замерзляк М.В. Параметры адаптивности и гомеостатичности ярового ячменя в условиях Оренбургской области. *Земледелие*. 2022; (8): 35–38.
<https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-8-35-38>
5. Морозов Н.А., Ходжаева Н.А., Хрипунов А.И., Община Е.Н. Экологическая пластичность урожайности озимой пшеницы при возделывании по различным предшественникам в засушливых условиях Восточного Предкавказья. *Аграрная наука*. 2022; (10): 106–110.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-106-110>
6. Засыпкина И.М., Филиппов Е.Г. Оценка сортов озимого ячменя по величине урожайности и показателям адаптивности в условиях Нижнего Дона. *Зерновое хозяйство России*. 2023; (1): 56–63.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-84-1-56-63>
7. Полонский В.И., Сумина А.В. Оценка образцов зерновых культур на экологическую стабильность по ценным селекционным признакам. *Вестник КрасГАУ*. 2024; (2): 111–122.
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-2-111-122>
8. Подгорный С.В., Скрипка О.В., Самофалов А.П., Громова С.Н., Чернова В.Л., Кравченко Н.С. Создание и внедрение в производство нового сорта мягкой озимой пшеницы для возделывания по парам и лучшим непаровым предшественникам. *Аграрная наука*. 2023; (10): 100–105.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-100-105>
9. Тойгильдин А.Л., Хайртдинова Н.А., Тойгильдина И.А., Сыромиятников В.В., Аюпов Д.Э. Прогноз вредоносности видов щетинника в агрофитоценозах с яровым ячменем. *Аграрная наука*. 2024; (4): 80–84.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-80-84>
10. Анисков Н.И., Сафонова И.В. Оценка показателей стрессоустойчивости, стабильности и пластичности сортов озимой ржи по массе 1000 зерен. *Вестник КрасГАУ*. 2020; (9): 27–35.
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-9-27-35>

REFERENCES

1. Morozov N.A., Samsonov I.V., Pankratova N.A. Estimation of spring barley adaptability to the aridity of the Stavropol Territory according to the trait '1000-grain weight'. *Grain Economy of Russia*. 2022; (4): 16–21 (in Russian).
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21>
2. Elakhdar A. et al. Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. *Environmental and Experimental Botany*. 2022; 201: 104965.
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104965>
3. Doroshenko E.S., Filippov E.G. Evaluation of varieties of winter barley of different ecological and geographical origin according to economically valuable traits and properties. *Agrarian science*. 2023; (4): 110–115 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-110-115>
4. Novikova A.A., Grechishkina O.S., Yemelyanova A.A., Pustovalova A.A., Zamerzlyak M.V. Parameters of adaptability and homeostasis of spring barley varieties under the conditions of the Orenburg region. *Zemledelie*. 2022; (8): 35–38 (in Russian).
<https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-8-35-38>
5. Morozov N.A., Khodzhaeva N.A., Khripunov A.I., Obshchiya E.N. Ecological plasticity of winter wheat yield when cultivating on different predecessors in arid conditions of Eastern Caucasus. *Agrarian science*. 2022; (10): 106–110 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-106-110>
6. Zasyapkina I.M., Filippov E.G. Estimation of winter barley varieties according to productivity and adaptability indicators in the conditions of the Lower Don. *Grain Economy of Russia*. 2023; (1): 56–63 (in Russian).
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-84-1-56-63>
7. Polonsky V.I., Sumina A.V. Grain crops samples assessment for ecological stability according to valuable breeding traits. *Bulletin of KrasGAU*. 2024; (2): 111–122 (in Russian).
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-2-111-122>
8. Podgorny S.V., Skripka O.V., Samofalov A.P., Gromova S.N., Chernova V.L., Kravchenko N.S. Creation and introduction into production of a new variety of soft winter wheat for cultivation in fallows and the best non-fallow predecessors. *Agrarian science*. 2023; (10): 100–105 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-375-10-100-105>
9. Toigildin A.L., Khairtdinova N.A., Toigildina I.A., Syromyatnikov V.V., Ayupov D.E. Prediction of the harmfulness of bristle species in agrophytocenoses with spring barley. *Agrarian science*. 2024; (4): 80–84 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-80-84>
10. Aniskov N.I., Safonova I.V. The assessment of the indicators of stress resistance, stability and plasticity of winter rye varieties according to the "mass of 1000 grains". *Bulletin of KrasGAU*. 2020; (9): 27–35 (in Russian).
<https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-9-27-35>

11. Shewry P.R., Lovegrove A., Wingen L.U., Griffiths S. Opinion Exploiting genomics to improve the benefits of wheat: Prospects and limitations. *Journal of Cereal Science*. 2022; 105: 103444. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103444>

12. Pankin A., von Korff M. Co-evolution of methods and thoughts in cereal domestication studies: a tale of barley (*Hordeum vulgare*). *Current Opinion in Plant Biology*. 2017; 36: 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.12.001>

13. Левакова О.В., Гладышева О.В., Ерошенко Л.М. Хозяйственно ценные показатели ячменя Любооя. *Аграрная наука*. 2024; (4): 75–79. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79>

14. Забалуева Д.В., Сатарина З.Е., Ерошенко Л.М., Семенова Е.Ю. Влияние климатических факторов на урожайность ярового ячменя в условиях Владимирской области. *Владимирский земледелец*. 2024; (1): 56–61. <https://doi.org/10.24412/2225-2584-2024-1107-56-61>

15. Николаев П.Н., Юсова О.А. Стрессоустойчивость сортов ярового ячменя омской селекции в условиях Западной Сибири. *Таврический вестник аграрной науки*. 2020; (4): 135–142. <https://elibrary.ru/uxtxi>

16. Гольдварг Б.А., Боктаев М.В. Экологическое испытание сортов озимого ячменя, рекомендованных госкомиссией по Нижневолжскому региону в условиях сухой степи Республики Калмыкия. *Вопросы степеведения*. 2023; (3): 128–134. <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2023-3-128-134>

11. Shewry P.R., Lovegrove A., Wingen L.U., Griffiths S. Opinion Exploiting genomics to improve the benefits of wheat: Prospects and limitations. *Journal of Cereal Science*. 2022; 105: 103444. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103444>

12. Pankin A., von Korff M. Co-evolution of methods and thoughts in cereal domestication studies: a tale of barley (*Hordeum vulgare*). *Current Opinion in Plant Biology*. 2017; 36: 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.12.001>

13. Levakova O.V., Gladysheva O.V., Eroshenko L.M. Economically valuable indicators of Lyuboyar barley. *Agrarian science*. 2024; (4): 75–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-75-79>

14. Zabalueva D.V., Satarina Z.E., Eroshenko L.M., Semenova E.Yu. Impact of climatic factors on the yielding capacity of spring barley in the conditions of Vladimir oblast. *Vladimir agricolist*. 2024; (1): 56–61 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2225-2584-2024-1107-56-61>

15. Nikolaev P.N., Yusova O.A. Resistance of spring barley varieties bred by the Omsk Agrarian Scientific Center to stress under conditions of Western Siberia. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2020; (4): 135–142 (in Russian). <https://elibrary.ru/uxtxi>

16. Goldvarg B.A., Boktaev M.V. Ecological testing of winter barley varieties recommended by the state commission for the Lower Volga region under the conditions of the dry steppe of the Republic of Kalmykia. *Steppe Science*. 2023; (3): 128–134 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2023-3-128-134>

ОБ АВТОРАХ

Ирина Михайловна Засыпкина

младший научный сотрудник

irinka_kolosok92@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1281-5317>

Аграрный научный центр «Донской»,
Научный городок — 3, Зерноград, Ростовская обл.,
347740, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Irina Mikhailovna Zasypkina

Junior Researcher

irinka_kolosok92@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1281-5317>

Agricultural Research Center “Donskoy”,
3, Nauchny Gorodok, Zernograd, Rostov region, 347740,
Russia



3-я Международная
агропромышленная
выставка



НОВЫЕ
ВЕРШИНЫ
АГРОБИЗНЕСА

14–16
августа 2025

Минеральные Воды
МВЦ «МинводыЭКСПО»

ПОЛУЧИТЕ
БЕСПЛАТНЫЙ БИЛЕТ
minvodyagro.ru

РЕКЛАМА

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



Министерство
сельского хозяйства
Ставропольского края

ОРГАНИЗАТОР



Международная
Выставочная
Компания

+7 (861) 200-12-37
+7 (861) 200-12-87
minvodyagro@mvk.ru

12+

А.Г. Тулинов

Институт агробиотехнологий
им. А.В. Журавского Коми научного
центра Уральского отделения
Российской академии наук,
Сыктывкар, Республика Коми, Россия

✉ toolalgen@mail.ru

Поступила в редакцию: 03.03.2025

Одобрена после рецензирования: 09.05.2025

Принята к публикации: 24.05.2025

© Тулинов А.Г.

Alexey G. Tulinov

A.V. Zhuravsky Institute
of Agro-Biotechnologies of Komi Science
Centre of the Ural Branch of the Russian
Academy of Sciences, Syktывkar, Komi
Republic, Russia

✉ toolalgen@mail.ru

Received by the editorial office: 03.03.2025

Accepted in revised: 09.05.2025

Accepted for publication: 24.05.2025

© Tulinov A.G.

Изучение перспективных гибридов картофеля питомников предварительного и основного испытаний в условиях Республики Коми

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В статье представлены результаты Института агробиотехнологий им. А.В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (г. Сыктывкар, Республика Коми) с 2021 по 2023 год по селекционной работе в питомниках предварительного и основного испытаний (третье, четвертое, пятое клубневое поколение).

Цель исследований — создание новых сортов путем отбора перспективных селекционных линий и гибридов, адаптивных к изменяющимся почвенно-климатическим условиям северных регионов страны, с отличными показателями по толерантности к различным болезням, высокой урожайностью и достаточно качественными показателями клубней.

Методы. Объектами для изучения были 12 гибридов (сортообразцов) картофеля четырех селекционных линий: Бриз х Крепыш, Ред Скарлетт х Крепыш, Оксания х Гала, Беллароза х Гала. Контролируемое скрещивание (гибридизация) было проведено в Федеральном исследовательском центре картофеля им. А.Г. Лорха (п. г. т. Коренево, Московская обл.).

Результаты. В результате исследований по полученным товарно-потребительским параметрам картофеля, продуктивности одного куста, фракционности клубней и их качества для последующих этапов селекционной работы были отобраны три перспективных гибрида двух селекционных линий, относящиеся к среднеранней и среднеспелой группе, с урожайностью 28,1–34,5 т/га: 2971-3 (Оксания х Гала) и 2984-50, 2984-60 (Беллароза х Гала). Гибриды, полученные в ходе работы, могут использоваться как ценный исходный материал для дальнейшего селекционного процесса получения сортов картофеля для северных регионов Российской Федерации.

Ключевые слова: картофель (*Solanum tuberosum* L.), гибриды, урожайность, качество, питомники, предварительное испытание, основное испытание

Для цитирования: Тулинов А.Г. Изучение перспективных гибридов картофеля питомников предварительного и основного испытаний в условиях Республики Коми. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 126–132.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-126-132>

Study of promising potato hybrids from nurseries of preliminary and main trials in the conditions of the Komi Republic

ABSTRACT

Relevance. The article presents the results of the A.V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktывkar, Komi Republic) from 2021 to 2023 on breeding work in nurseries of preliminary and basic tests (third, fourth, fifth tuberous generation).

The purpose of the research is to create new varieties by selecting promising breeding lines and hybrids that are adaptive to the changing soil and climatic conditions of the northern regions of the country, with excellent tolerance to various diseases, high yields and high-quality tuber indicators.

Methods. The objects of the study were twelve hybrids (varietal samples) of potatoes of four breeding lines: Briz x Krepysh, Red Scarlett x Krepysh, Oksania x Gala, Bellarosa x Gala. Controlled crossing (hybridization) was carried out at the Federal Research Center of Potatoes named after A.G. Lorkh (Korenevo, Moscow Region).

Results. As a result of the studies on the obtained commodity and consumer parameters of potatoes, productivity of one bush, fractionalization of tubers and their quality for the subsequent stages of breeding work, three promising hybrids of two breeding lines belonging to the mid-early and mid-season group, with a yield of 28.1–34.5 t/ha were selected: 2971-3 (Oksania x Gala) and 2984-50, 2984-60 (Bellarosa x Gala). The hybrids obtained in the course of the work can be used as valuable source material for further breeding process of obtaining potato varieties for the northern regions of the Russian Federation.

Key words: potato (*Solanum tuberosum* L.), hybrids, yield, quality, nurseries, preliminary testing, main testing

For citation: Tulinov A.G. Study of promising potato hybrids from nurseries of preliminary and main trials in the conditions of the Komi Republic. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 126–132 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-126-132>

Введение/Introduction

Конкурентное производство возделывания картофеля базируется на основных принципах и законах, к которым в первую очередь относят используемые сорта с комплексом ценных товарных признаков. Это высокая урожайность и качество продукции [1–3].

Рассматривая статистические данные доли зарубежных сертифицированных семян на рынке возделывания картофеля, его переработки и производства картофелепродуктов, можно констатировать отставание современной отечественной селекции от мировых показателей. Процентное отношение сортов иностранной селекции к отечественной составляет 86,7 к 13,3 [4], что не соответствует обеспечению технологического суверенитета в рамках Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации¹.

Непрерывность селекционной работы и ее совершенствование связаны с разнообразием природно-климатических зон и районов, а также их нестабильностью в границах огромной по площади страны, что накладывает особый подход при создании конкурентных сортов сельскохозяйственных культур [5, 6]. Рост спроса на качественные продукты питания в России и потребность сельхозпроизводителей в отечественных семенах и посадочном материале подчеркивают важность разработки новых сортов сельскохозяйственных культур. При этом ключевыми факторами являются их высокие товарные качества и перспективная урожайность. Проще говоря, нужны новые сорта, которые были бы не только урожайными, но и давали бы продукцию, соответствующую современным требованиям качества (товарной фракционности клубней, резистентности к различным патогенам), чтобы полностью обеспечить возникающий спрос как населения, так и сельхозпроизводителей [7, 8].

Для выполнения поставленных задач и выведения сортов картофеля, отличающихся от конкурентов по урожайности, высокой иммунной способности к заболеваниям легкими и тяжелыми формами вирусов, бактериями, грибами и различными вредителями, при этом обладая пластичностью и адаптивностью к почвенно-климатическим условиям регионов России, в том числе и Республики Коми и особенно арктических зон страны, научно-исследовательскими институтами проводятся исследования сортообразцов и гибридов на разных стадиях испытаний в сравнении с районированными и рекомендованными для данной зоны сортами, проводятся этапы селекционного процесса — начиная с питомника одноклубневок и заканчивая государственным сортоиспытанием с подачей документов на новый оригинальный сорт [9, 10].

Рассматривая северные регионы и Арктическую зону России в качестве площадки для развития отрасли картофелеводства, следует отметить ряд ее преимуществ, таких как низкий инфекционный фон, позволяющий минимизировать распространение вирусных заболеваний данной культуры. В сравнении с южными регионами менее представлены разнообразие вредителей — переносчиков болезней картофеля, достаточная влагообеспеченность и многие другие факторы [11].

Учитывая тот факт, что на рынке возделывания, переработки и производства картофелепродуктов доля семенного материала отечественной селекции составляет только 10%, и принимая во внимание поставленную в том числе и перед учеными-селекционерами задачу по достижению этого показателя до 50% к 2030-му году, вопрос по получению новых, перспективных сортов, способных удовлетворить потребности сельхозтоваропроизводителей не только в Республике Коми, но и в других регионах Арктической зоны, является актуальным и значимым [12, 13].

Цель исследований — создание новых сортов картофеля путем отбора перспективных селекционных линий и гибридов, адаптивных к изменяющимся почвенно-климатическим условиям северных регионов страны, с отличными показателями по толерантности к различным болезням, высокой урожайностью и достаточно качественными показателями клубней.

Задача исследований — провести всестороннюю оценку по фенологическим и биометрическим параметрам, учету ранней и общей урожайности, химическому составу клубней в условиях Севера.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевой опыт проводили в 2021–2023 гг. на экспериментальных участках, находящихся в системе шестипольного культурного севооборота, Федерального исследовательского центра «Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук» — структурного подразделения Института агробиотехнологий им. А.В. Журавского по соответствующим методикам².

Схема посадки соответствовала междурядьям 70 см с шагом 30 см, на каждой делянке ручным способом в предварительно сформированные гребни высаживались по 60 клубней на площади 12,6 м². Для повышения точности и получения математической достоверности полученных результатов питомники закладывались в четырехкратной повторности, общая площадь опыта составила 756 м². Предшественник — однолетние травы (вика, овес). Агротехника возделывания картофеля общепринятая для Республики Коми, без химических обработок против болезней [11].

¹ Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации».

² Методические указания по технологии селекции картофеля. М.: Россельхозакадемия. 1994; 22.

Схема опыта включала в себя изучение 12 комбинаций (семей) гибридов четырех селекционных линий картофеля: Бриз х Крепыш — один гибрид, Ред Скарлетт х Крепыш — два гибрида, Оксания х Гала — пять гибридов, Беллароза х Гала — четыре гибрида. Гибридизация родительских форм выполнена в Федеральном исследовательском центре картофеля им. А.Г. Лорха (п. г. т. Коренево, Московская обл.).

Стандартами выбраны районированные сорта, представленные в Государственном реестре по первому региону допуска: Крепыш (ранний), Рябинушка (среднеранний), Аврора (среднеспелый). Следует отметить, что данные группы спелости выбраны в качестве контроля по результатам первых этапов испытания изучаемых сортообразцов в питомниках первого и второго клубневых поколений (до 2021 г.).

Определение агрохимических свойств почвы³ и биохимических характеристик клубней⁴ проводили в соответствии с методами, используемыми при обследовании земельных участков и выполнении физиолого-биохимического анализа картофеля. Почва экспериментальных полей по зональному типу соответствует дерново-подзолистой, а по классификации механического состава — среднесуглинистой с агрохимическими показателями в среднем за три года: органическое вещество — 7,2%, гумус — 3,5%, кислотность почвы ($pH_{\text{сол.}}$) — 6,0 ед., азот ($N_{\text{общ.}}$) — 95,0 мг/кг почвы, подвижные фосфор (P_2O_5) и калий (K_2O) — 795,5 мг/кг и 201,4 мг/кг почвы соответственно.

Испытание селекционных гибридов и сортов, учет фенологических, биометрических показателей растений, урожайности, динамики ее накопления, определение фракционности, товарности клубней, их качественных параметров, устойчивость к болезням проведены согласно методическим указаниям⁵.

Для характеристики погодных условий проведения исследований в течение вегетационного периода роста и развития картофеля рассчитан ГТК, представленный в таблице 1.

Для статистической оценки и анализа полевых опытов использовали надстройку AgCSTAT для Excel (США), адаптированную под дисперсионный анализ⁶.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Закладку гибридов на экспериментальных участках проводили одновременно с сортами-стандартами ежегодно в первых числах июня. Наступление фазы «начало — полные всходы» у

Таблица 1. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова

Table 1. Selyaninov's hydrothermal coefficient of humidification

Период исследований (месяц)	Год исследований		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Июнь	1,15	1,53	0,84
Июль	1,22	0,52	2,20
Август	0,74	1,40	0,16
За весь период	1,03	1,14	1,06

большинства изучаемых номеров, учитываемое возшедшими растениями, отмечено в среднем за годы наблюдения к 21-му и до 43-го дня от посадки, лишь у двух гибридов картофеля данный период составил менее трех недель — 2853-100 и 2984-50 (20–21 день), что характеризуется по темпу как хорошее.

В дальнейшем только гибриды 2971-37 и 2984-60 имели бутонизацию растений более 80%, что соответствует наступлению полной рассматриваемой фазы, а у номера 2984-50 лишь половина высаженных растений образовала почки, и по скорости развития гибрид был на уровне сортов-стандартов Рябинушка и Аврора. Особенно сильные различия между вариантами отмечены в прохождении дальнейших фазовых этапов. К 65-му дню от посадки, что в среднем за годы наблюдений соответствовало концу июля, восемь номеров имели либо 80%, либо полное цветение: 2893-21 (Ред Скарлетт х Крепыш), почти все образцы линий Беллароза х Гала — 2984-23, 2984-50, 2984-60, Оксания х Гала — 2971-3, 2971-36, 2971-37, 2971-78. У четырех образцов отмечены начало и середина цветения, что составляло от 10 до 30% от количества высаженных растений на опытных делянках: 2853-100 (Бриз х Крепыш), 2893-20 (Ред Скарлетт х Крепыш), 2971-39 (Оксания х Гала), 2984-17 (Беллароза х Гала). Сорта-стандарты находились в фазе «середина — полное цветение» — 50% Рябинушка, по 100% Крепыш и Аврора.

Одной из задач, проводимой в рамках селекционного исследования, являлось обязательное определение примерных групп спелости изучаемых гибридов картофеля. Для этого на основании методик, представленных в соответствующем разделе выше, 12 образцов проходили сравнение по фазам развития растений с эталонными сортами, районированными в Республике Коми по первой зоне возделывания. Результат классификации представлен в таблице 2, в которой по срокам созревания среднеранние определены в количестве

³ Практикум по агрохимии: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. М.: Издательство МГУ. 2001; 689.

⁴ Кирюхин В.П., Ладыгина Е.А., Чеголина М.М., Парфенова А.В. Методика физиолого-биохимических исследований картофеля. М.: НИИХХ. 1989; 142.

⁵ Симаков Е.А., Склярова Н.П., Яшина И.М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. М.: Достижения науки и техники АПК. 2006; 70.

⁶ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат. 1985; 351.

шести образцов, среднеспелые — двух, среднепоздние — четырех. Однако определение данного параметра — это лишь один из множества критериев, используемых в селекционной работе [14].

Для окончательного выбора перспективных гибридов были проанализированы и другие важные показатели. В частности, оценивались товарные и качественные характеристики клубней, а также устойчивость растений к распространенным в регионе болезням [15]. Предпочтение было отдано среднеранним и среднеспелым гибридам. Выбор был обусловлен стремлением получить новые сорта картофеля, оптимально адаптированные к условиям Республики Коми с учетом особенностей ее климата и почв⁷.

Учет, проведенный на 65-й день от времени посадки и включающий определение параметров ранней урожайности и некоторые биометрические измерения растений картофеля, представлен в таблице 2 и на рисунке 1. Гибрид картофеля 2971-36, имея три основных стебля на одном растении, уступил по данному показателю не только стандартам (4,0–6,0 шт.), но и другим образцам, у которых параметр варьировался от 4 до 7 шт. ($НСП_{05}$ — 1,0 шт.). Высота надземной части растения картофеля трех гибридов (2984-60, 2971-39, 2984-23) на 1,0–6,0 см превысила эталонный сорт Рябинушка со значением 70,0 см, остальные номера и стандарты находились по данному показателю в пределах от 56,0 до 68,0 см ($НСП_{05}$ — 6,5 см). Количество основных стеблей, равное 7,0 шт., и их высота в 62,0 см позволили получить максимальную среднюю массу ботвы у образца 2971-37 — 27,6 т/га при значении $S_m = 0,79$, сопоставимую с результатами сорта Крепыш — 27,4 т/га и 0,68. Остальные номера превосходили или были на уровне стандартов Рябинушка и Аврора, урожайность надземной части растений которых была в пределах от 13,6 до 23,7 т/га.

Таблица 2. Фракционные показатели клубней картофеля и урожайность ботвы (в среднем за 2021–2023 гг.)
Table 2. Fractional indicators of potato tubers and tops yield on average for 2021–2023)

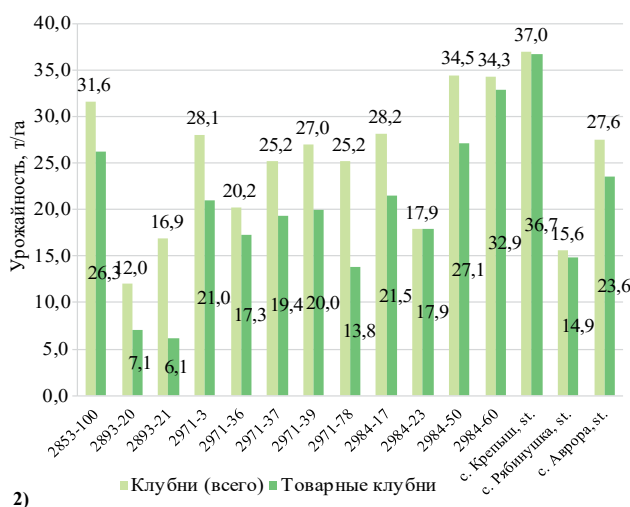
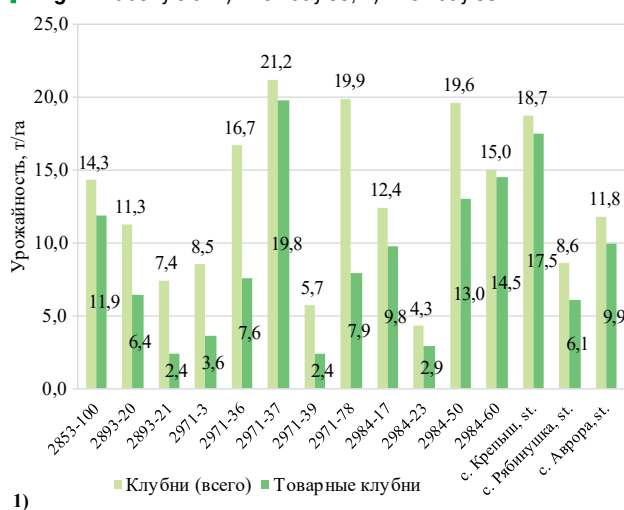
Гибрид, сорт (группа спелости*)	Кол-во клубней в кусте, шт.	Масса клубня, г**	Товарность, %***	Масса ботвы, т/га	S_m ...
Бриз х Крепыш					
2853-100 (СП)	10,0/13,0	27,0/51,0	83,2/83,2	16,5	0,87
Ред Скарлетт х Крепыш					
2893-20 (СП)	9,0/14,0	26,0/17,0	56,6/59,2	23,7	0,48
2893-21 (СС)	12,0/16,0	13,0/22,0	32,4/36,1	18,2	0,41
Оксания х Гала					
2971-3 (СС)	12,0/16,0	15,0/37,0	42,4/74,7	22,0	0,39
2971-36 (СР)	20,0/10,0	18,0/39,0	45,5/85,6	16,7	0,99
2971-37 (СР)	9,0/20,0	50,0/27,0	93,4/77,0	27,6	0,79
2971-39 (СП)	11,0/18,0	10,0/32,0	42,1/74,1	13,6	0,42
2971-78 (СР)	27,0/20,0	15,0/25,0	49,7/54,8	20,0	0,99
Беллароза х Гала					
2984-17 (СП)	13,0/16,0	20,0/37,0	79,0/76,2	18,1	0,69
2984-23 (СР)	9,0/6,0	10,0/63,0	67,4/99,0	16,1	0,27
2984-50 (СР)	20,0/15,0	21,0/48,0	66,3/78,6	19,4	1,01
2984-60 (СР)	6,0/11,0	45,0/65,0	96,7/95,9	19,4	0,77
Сорта-стандарты, st.					
Крепыш (Р)	9,0/8,0	44,0/86,0	93,6/99,2	27,4	0,68
Рябинушка СР	9,0/7,0	20,0/47,0	70,9/95,5	14,6	0,59
Аврора (СС)	8,0/13,0	31,0/41,0	83,9/85,5	14,6	0,81
$НСП_{05}$	1,5/2,0			4,6	

Примечание: * группы спелости: Р — ранний, СР — среднеранний, СС — среднеспелый, СП — среднепоздний; ** числитель — показатели на 65-й день от посадки, знаменатель — показатели на 85-й день от посадки; *** S_m — коэффициент отношения массы клубней к массе ботвы.

Три гибрида сформировали 20,0–27,0 шт. клубней под кустом (2971-36, 2971-78, 2984-50), что хотя, с одной стороны, конечно, и повысило раннюю урожайность, варьировавшуюся от 16,7 до 19,9 т/га, но с другой — сильно затянуло по времени период формирования клубней товарной

Рис. 1. Урожайность клубней: 1) — на 65-й день, 2) — на 85-й день

Fig. 1. Tuber yield: 1) — on day 65, 2) — on day 85



⁷Шморгунов Г.Т., Тулинов А.Г., Конкин П.И., Коковкина С.В., Юдин А.А., Облизов А.В. Развитие агротехнологий повышения продуктивности картофелеводства в условиях Севера. Сыктывкар: ФГБНУ НИИСХ Республики Коми; ГОУ ВО КРАСГСиУ. 2016; 127.

фракции в связи с невыровненностью их в гнезде по размеру, характеризуя тем самым не только сортовую характеристику изучаемых образцов, но и особенности вегетации картофеля, являющегося короткодневной культурой, в условиях северных регионов, в том числе и Республики Коми, обладающей особыми климатическими условиями, в том числе и длинным световым днем [16, 17].

Таким образом, из всех изучаемых гибридов следует выделить 2971-37, который при девяти клубнях со средней массой в 50,0 г каждый сформировал раннюю урожайность 21,2 т/га, превысив остальные образцы на 1,3–16,9 т/га и стандарты на 2,5–12,6 т/га (HCP_{05} — 3,1 т/га). Учитывая статистическую урожайность среднеранних сортов картофеля по Республике Коми в 18,0–20,0 т/га, можно сделать вывод о перспективности гибрида для дальнейшего получения сорта, способного уже к 65-му дню сформировать массу клубней, превосходящих средние показатели по региону.

Учет общей урожайности, проведенный на 85-й день от посадки, позволил окончательно выделить перспективные образцы картофеля за счет увеличения количества клубней в кусте и их средней массы. Следует отметить гибриды 2853-100 (13,0 шт., 51,0 г) и 2984-60 (11,0 шт., 65,0 г), набравшие урожайность до 31,6–34,3 т/га (HCP_{05} — 5,2 т/га), что соответствовало показателям сорта Крепыш (37,0 т/га), но превысило остальные стандарты: сорт Аврора — на 4,0 т/га, сорт Рябинушка — на 18,7 т/га. Данные гибриды можно характеризовать как образцы с высоким фотосинтетическим потенциалом⁸, способные в последние две недели до уборки за счет активного роста клубней и формирования мощного листового аппарата набирать урожайность до 1,2–1,4 т/га в сутки, тогда как у контрольных сортов показатель составил 0,5–1,3 т/га в сутки [18].

Проведя анализ полученных результатов, следует особенно выделить и образец 2984-23 с товарностью клубней до 99% и их средней массой 63,0 г, но низким значением количества в кусте — 6,0 шт., что не позволило получить высокую урожайность, тем самым уступив стандартам на 9,7–19,1 т/га. Учитывая это и тот факт, что урожайность образцов должна в том числе превышать средние показатели по Республике Коми (20,0 т/га), данный гибрид не может однозначно рекомендоваться для дальнейшей селекционной работы и получения нового сорта продовольственного картофеля для сельскохозяйственной промышленности республики.

Контрольные сорта значительно опережали большинство номеров по товарности, средней массе одного клубня, их количеству в кусте и, как следствие, общей урожайности.

Фитопатологическая оценка гибридов, проведенная в полевых условиях за годы исследований, позволила сделать выводы о высокой

устойчивости образцов к грибным и вирусным болезням как по ботве, так и по клубням: фитофтороз (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) — до 8–9 баллов (единичные пятна на отдельных листьях и отсутствие пораженных клубней), ризоктониоз (*Rhizoctonia solani* Kühn) — до 9 баллов (склеротии на клубнях отсутствуют, ботва не поражена), парша обыкновенная (*Streptomyces scabies* (Thaxter) Waksman et Henrici) — до 9 баллов (отсутствие клубневых язв), альтернариоз (*Alternaria solani* Sorauer.) — до 8 баллов (единичные пятна на листьях). Вирусные болезни, в том числе и тяжелые формы, не отмечены. Устойчивость к патогенам контрольных сортов в среднем была ниже гибридов: фитофтороз и альтернариоз по ботве — до 7 баллов (относительно высокая, поражено до 25% поверхности листьев), по клубням — до 8 баллов (поражены единичные клубни), парша обыкновенная — до 7 баллов (единичные язвы клубней). Ризоктониоз и вирусные болезни, так же как и у гибридов, не выявлены.

Анализ клубней картофеля селекционных питомников на содержание сухого вещества, крахмала витамина С и нитратов представлен в таблице 3.

По содержанию сухого вещества следует выделить гибриды 2984-50 и 2893-21 (20,2–20,5%), опередившие другие варианты и сорт Крепыш на 0,5–3,9 п. п. соответственно (HCP_{05} — 1,7%), но уступившие сортам среднеранней и среднеспелой групп на 1,3–4,5 п. п.

Таблица 3. Биохимические показатели клубней картофеля (в среднем за 2021–2023 гг.)

Table 3. Biochemical parameters of potato tubers (average for 2021–2023)

Гибрид, сорт	Содержание в клубнях			
	сухое вещество, %	крахмал, %	витамин С, мг%	нитраты, мг/кг
<i>Бриз х Крепыш</i>				
2853-100	17,4	8,4	20,4	27,0
<i>Ред Скарлетт х Крепыш</i>				
2893-20	18,8	10,0	27,8	51,0
2893-21	20,5	12,5	17,6	64,0
<i>Оксания х Гала</i>				
2971-3	17,5	11,0	21,2	70,0
2971-36	19,2	11,7	20,7	19,0
2971-37	19,7	10,5	17,5	51,0
2971-39	18,2	10,5	17,5	46,0
2971-78	19,3	11,9	18,6	83,0
<i>Беллароза х Гала</i>				
2984-17	19,7	11,5	17,6	43,0
2984-23	17,7	9,3	21,2	52,0
2984-50	20,2	13,0	25,4	40,0
2984-60	18,9	8,8	17,6	93,0
<i>Сорта-стандарты, st.</i>				
Крепыш	16,6	9,8	24,7	61,0
Рябинушка	21,8	11,9	23,9	47,0
Аврора	24,7	15,7	21,2	35,0
HCP_{05}	1,7	1,0	1,9	9,4

⁸ Карманов С.Н., Кирюхин В.П., Коршунов А.В. Урожай и качество картофеля. М.: Россельхозиздат. 1988; 167.

Следует отметить высокое крахмалосодержание среднеспелого сорта Аврора (15,7%) в сравнении с изучаемыми образцами, которые по данному показателю уступили стандарту на 2,7–7,3 п. п. и были на уровне двух остальных контрольных сортов ($HC_{05} = 1,0\%$). Это можно объяснить влиянием, оказываемым как самим сортом (его особенностью), так и погодными условиями вегетационных периодов годов исследования, особенно в фазу активного накопления крахмала (70–80 дней от посадки) — относительно сухая и солнечная погода [19]. У номеров 2893-21 и 2984-50 отмечено максимально содержание крахмала клубней, которое составило 12,5–13,0%, превысив остальные образцы (8,4–11,9%) на 0,6–4,6 п. п.

Анализируя качественные показатели клубней картофеля, можно выделить высокую витаминную активность гибрида 2893-20 — 27,8 мг%, что на 2,4–10,3 мг% выше значения сортообразцов и на 3,1–6,6 мг% — сортов-стандартов ($HC_{05} = 1,9$ мг%), что связано с биосинтезом витамина С в клубнях в период сухой и ясной погоды, особенно в фазу окончания цветения растений, согласующимся с исследованиями других авторов⁹.

Предельно допустимая концентрация нитратов в клубнях соответствовала нормам, утвержденным в Российской Федерации, и за изучаемый период не превышала значение в 250,0 мг/кг сырых клубней — 19,0–93,0 мг/кг [20, 21].

⁹ Литвяк В.В., Лукин Н.Д., Симаков Е.А., Дегтярев В.А., Кузьмина Л.Г., Кузина Л.Б. Картофель и технология его глубокой переработки. М.: ФЛИНТА. 2021; 896.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

Выводы/Conclusions

В результате выполнения селекционной научно-исследовательской работы из представленных 12 образцов гибридов картофеля на основании проведенного химического анализа на качество клубней и ряда основных товарно-потребительских признаков перспективных сортов, адаптированных к почвенно-климатическим условиям Республики Коми, отобраны три номера двух селекционных линий — 2971-3 (Оксания х Гала) и 2984-50, 2984-60 (Беллароза х Гала) с урожайностью 28,1–34,5 т/га, не уступающей и даже превосходящей некоторые значения выбранных районированных стандартов (15,6–37,0 т/га) на 6,9–18,9 т/га.

Сортообразцы характеризуются оптимальной спелостью для возделывания в рассматриваемых агроусловиях — среднеранние и среднеспелые, способны сформировать к концу вегетационного периода порядка 11,0–16,0 шт. клубней со средней их массой в 37,0–65,0 г, при этом имеют относительно высокие химические показатели по сухому веществу (17,5–20,2%) и крахмалу (8,8–13,0%), что считается оптимальным как по количеству, так и по качественному составу клубней для условий северных регионов страны. В дальнейшем номера будут отправлены в питомник размножения гибридов картофеля с целью проведения предварительных и государственных селекционных испытаний.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования проведены по государственному заданию № FUUU-2023-0001 (регистрационный № 123033000036-5) при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

FUNDING

The research was conducted under state assignment No. FUUU-2023-0001 (registration No. 123033000036-5) with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Симаков Е.А., Анисимов Б.В., Митюшкин А.В., Журавлев А.А. Сортовые ресурсы картофеля для целевого выращивания. *Картофель и овощи*. 2017; (11): 24–26. <https://elibrary.ru/zrqlff>
2. Lynch D.H., Zheng Z., Zebarth B.J., Martin R.C. Organic amendment effects on tuber yield, plant N uptake and soil mineral N under organic potato production. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2008; 23(3): 250–259. <https://doi.org/10.1017/S1742170508002330>
3. da Silva G.O., Pereira A.d.S., Azevedo F.Q., de Carvalho A.D.F., Pinheiro J.B. Selection of Canadian potato clones for agronomic and frying quality traits. *Horticultura Brasileira*. 2019; 37(4): 423–428. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190410>
4. Симаков Е.А., Анисимов Б.В., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Гаизатулин А.С. Развитие отечественной селекции и семеноводства картофеля на принципах государственно-частного партнерства. *Картофель и овощи*. 2021; (12): 3–7. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.13.13.001>
5. Яковлева Н.С., Охлопкова П.П., Ефремова С.П. Селекция картофеля в условиях Якутии. *Аграрная наука*. 2021; (1): 81–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-81-84>
6. Гаджиев Н.М., Лебедева В.А., Комаров А.А. Испытание сортов картофеля российской селекции в условиях Ленинградской области. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2024; 113: 95–99. <https://elibrary.ru/dijcof>

REFERENCES

1. Simakov E.A., Anisimov B.V., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A. Varietal resources for intended potato growing. *Potatoes and Vegetables*. 2017; (11): 24–26 (in Russian). <https://elibrary.ru/zrqlff>
2. Lynch D.H., Zheng Z., Zebarth B.J., Martin R.C. Organic amendment effects on tuber yield, plant N uptake and soil mineral N under organic potato production. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2008; 23(3): 250–259. <https://doi.org/10.1017/S1742170508002330>
3. da Silva G.O., Pereira A.d.S., Azevedo F.Q., de Carvalho A.D.F., Pinheiro J.B. Selection of Canadian potato clones for agronomic and frying quality traits. *Horticultura Brasileira*. 2019; 37(4): 423–428. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190410>
4. Simakov E.A., Anisimov B.V., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A., Gaizatulin A.S. Development of domestic potato breeding and seed production on the principles of public-private partnership. *Potatoes and Vegetables*. 2021; (12): 3–7 (in Russian). <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.13.13.001>
5. Yakovleva N.S., Okhlopova P.P., Efremova S.P. Potato breeding in Yakutia. *Agrarian science*. 2021; (1): 81–84 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-81-84>
6. Gadzhiev N.M., Lebedeva V.A., Komarov A.A. Evaluation of some Russian potato varieties in conditions of Leningrad region. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2024; 113: 95–99 (in Russian). <https://elibrary.ru/dijcof>

7. Никишин А.Ф., Карашчук О.С., Майорова Е.А., Болдысов А.И. Исследование социальных функций торговли по поддержке развития товарности фермерской продукции. *Аграрная наука*. 2024; (9): 146–151. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-146-151>
8. Казаков О.Г., Поливанова О.Б., Деревягина М.К., Бирюкова В.А. Выявление гибридов *Solanum tuberosum* с высоким уровнем устойчивости к фитофторозу. *Аграрная наука*. 2024; (11): 109–116. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-109-116>
9. Гуреева Ю.А., Батов А.С., Березовская А.Г., Кондратьева И.В. Селекция сортов картофеля различного целевого направления в условиях лесостепи Новосибирского Приобья. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2024; (4): 45–53. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-45-53>
10. Травина С.Н. Мировая дублетная коллекция картофеля ВИР — ценный источник генетических ресурсов для селекции. *Овощи России*. 2025; (1): 14–18. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-14-18>
11. Тулинов А.Г., Лобанов А.Ю. Результаты испытания гибридов картофеля селекционных питомников в условиях Республики Коми. *Аграрная наука*. 2021; (7–8): 85–88. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-85-88>
12. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В., Конкин П.И. Возделывание сортов картофеля, адаптированных к почвенно-климатическим условиям Евро-Северо-Востока. *Аграрная наука*. 2020; (9): 106–109. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-106-109>
13. Захарова М.Н., Рожкова Л.В., Ушакова Е.Ю. Формирование семенного материала картофеля сорта Евпатий с использованием различных доз минеральных удобрений и сроков скашивания ботвы. *Аграрная наука*. 2022; (5): 78–81. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-78-81>
14. Ревазова З.И., Гериева Т.А. Оценка продуктивности сортов картофеля в этапе активной селекции. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2024; 111: 123–128. <https://elibrary.ru/ftxqgn>
15. Митюшкин А.В. и др. Повышение эффективности подбора родительских пар в селекции картофеля. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2024; 26(6): 249–259. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2024-26-6-249-259>
16. Овэс Е.В., Гаитова Н.А., Шишкина О.А., Фенина Н.А. Результаты отбора базовых клонов картофеля в условиях Европейского Севера и высокогорья Северного Кавказа. *Земледелие*. 2020; (4): 29–32. <https://elibrary.ru/kqjgxd>
17. Тулинов А.Г., Конкин П.И. Оценка перспективных сортообразцов картофеля в условиях Республики Коми. *Земледелие*. 2016; (8): 45–47. <https://elibrary.ru/vlchug>
18. Владимиров В.П., Владимиров К.В., Шарапова А.Р., Мостякова А.А. Пути повышения использования фотосинтетически активной радиации при возделывании картофеля. *Картофель и овощи*. 2022; (7): 29–32. <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.36.70.007>
19. Травина С.Н. Раскрытие потенциала сортов картофеля с цветной мякотью в условиях Мурманской области. *Vavilovia*. 2021; 4(1): 36–47. <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-1-36-47>
20. Бутов А.В., Мандрова А.А. Экологически чистый картофель для детского и диетического питания. *Техника и технология пищевых производств*. 2015; (3): 121–126. <https://elibrary.ru/ukqtnv>
21. Гукасян А.Г. Влияние разных технологий на содержание нитратов в клубнях картофеля и овощных культурах. *Sciences of Europe*. 2022; 99: 3–6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7014295>
7. Nikishin A.F., Karashchuk O.S., Mayorova E.A., Boldiasov A.I. Research on the social functions of trade to support the development of marketability of farm products. *Agrarian science*. 2024; (9): 146–151 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-146-151>
8. Kazakov O.G., Polivanova O.B., Derevyagina M.K., Biryukova V.A. Identification of promising *Solanum tuberosum* hybrids with high resistance to late blight. *Agrarian science*. 2024; (11): 109–116 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-388-11-109-116>
9. Gureeva Yu.A., Batov A.S., Berezovskaya A.G., Kondratieva I.V. Selection of potato varieties of various target areas in the conditions of the forest-steppe of the Novosibirsk Ob region. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024; (4): 45–53 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-73-4-45-53>
10. Travina S.N. VIR potato doublet collection, its significance for breeding. *Vegetable crops of Russia*. 2025; (1): 14–18 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-14-18>
11. Tulinov A.G., Lobanov A.Yu. Results of testing potato hybrids in breeding nurseries in the Komi Republic. *Agrarian science*. 2021; (7–8): 85–88 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-85-88>
12. Chebotarev N.T., Brovarova O.V., Konkin P.I. Cultivation of potato varieties adapted to the soil and climate conditions of the Euro-North-East. *Agrarian science*. 2020; (9): 106–109 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-341-9-106-109>
13. Zakharova M.N., Rozhkova L.V., Ushakova E.Yu. Formation of potato seed of Evpatiy variety with the use of different doses of mineral fertilizers and timings of top mowing. *Agrarian science*. 2022; (5): 78–81 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-359-5-78-81>
14. Revazova Z.I., Gerieva T.A. Potato varieties productivity evaluation in the adaptive breeding stage. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2024; 111: 123–128 (in Russian). <https://elibrary.ru/ftxqgn>
15. Mityushkin A.V. et al. Improving the efficiency of the selection of parent pairs in potato breeding. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2024; 26(6): 249–259 (in Russian). <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2024-26-6-249-259>
16. Oves E.V., Gaitova N.A., Shishkina O.A., Fenina N.A. The results of the selection of basic potato clones in the European North of the Russian Federation and highlands of the North Caucasus. *Zemledelie*. 2020; (4): 29–32 (in Russian). <https://elibrary.ru/kqjgxd>
17. Tulinov A.G., Konkin P.I. Evaluation of promising variety samples of potato under conditions of the Komi Republic. *Zemledelie*. 2016; (8): 45–47 (in Russian). <https://elibrary.ru/vlchug>
18. Vladimirov V.P., Vladimirov K.V., Sharapova A.R., Mostyakova A.A. Ways to increase the use of photosynthetically active radiation in potato cultivation. *Potatoes and Vegetables*. 2022; (7): 29–32 (in Russian). <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.36.70.007>
19. Travina S.N. Revealing the potential of potato varieties with colored pulp in the conditions of the Murmansk region. *Vavilovia*. 2021; 4(1): 36–47 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2658-3860-2021-1-36-47>
20. Butov A.V., Mandrova A.A. Environmentally friendly potatoes for infant and dietetic foods. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2015; (3): 121–126 (in Russian). <https://elibrary.ru/ukqtnv>
21. Ghukasyan A.G. Influence of different technologies on nitrate content in potato tubers and vegetable crops. *Sciences of Europe*. 2022; 99: 3–6 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7014295>

ОБ АВТОРАХ

Алексей Геннадьевич Тулинов

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
toolalgen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7184-6113>

Институт агробиотехнологий им. А.В. Журавского Коми
научного центра Уральского отделения Российской
академии наук,
ул. Ручейная, 27, Сыктывкар, Республика Коми, 167023,
Россия

ABOUT THE AUTHORS

Alexey Gennadievich Tulinov

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
toolalgen@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7184-6113>

A.V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi
Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences,
27 Rucheynaya Str., Syktывkar, Komi Republic, 167023,
Russia

УДК 632.954:631.8.022.3:582.661.21(470.0)

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-133-138

В.Д. Бочкарев ✉

В.В. Волгин

А.В. Ивойлов

А.С. Пыресеv

И.В. Шахин

Национальный исследовательский
Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва,
Саранск, Россия

✉ aln1k1986@yandex.ru

Поступила в редакцию: 10.02.2025

Одобрена после рецензирования: 09.05.2025

Принята к публикации: 24.05.2025

© Бочкарев В.Д., Волгин В.В., Ивойлов А.В.,
Пыресеv А.С., Шахин И.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-133-138

Vladimir D. Bochkarev ✉

Viktor V. Volgin

Alexander V. Ivoilov

Alexander S. Piresev

Igor V. Shakhin

Ogarev Mordovia State University,
Saransk, Russia

✉ aln1k1986@yandex.ru

Received by the editorial office: 10.02.2025

Accepted in revised: 09.05.2025

Accepted for publication: 24.05.2025

© Bochkarev V.D., Volgin V.V., Ivoilov A.V.,
Piresev A.S., Shakhin I.V.

Совершенствование технологии возделывания амаранта на зерно и зеленую массу в условиях юга Нечерноземной зоны

РЕЗЮМЕ

В полевом двухфакторном опыте на черноземе выщелоченном среднесуглинистом в условиях юга Нечерноземной зоны России была проведена оценка эффективности комплексного применения гербицидов и хелатного борного удобрения при возделывании амаранта (*Amaranthus L. sp.*) на зерно и зеленую массу. В качестве объекта исследования использовали сорт амаранта Воронежский 36. Установлено, что в посевах амаранта со сложным типом засоренности, включающем малолетние однодольные и двудольные сорные растения, а также многолетние корнеотпрысковые, наибольший биологический и агрономический эффект при наименьшем угнетении культурных растений установлен для гербицида Трейсер, КЭ (кломазон 480 л/га) в дозе 0,3 л/га, от применения которого численность и масса сорняков снижались на 91% и 93% соответственно, а сбор зерна увеличивался по сравнению с контролем на 0,35 т/га, зеленой массы — на 5,4 т/га. Использование баковой смеси гербицидов Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ уменьшало засоренность посева, но оказывало герботоксическое действие на растения амаранта и снижало их продуктивность. Обработка посева амаранта хелатным борным удобрением (150 г/л) купировала угнетающее действие гербицида Трейсер, КЭ, способствовала лучшему развитию растений и формированию дополнительного сбора зерна и зеленой массы. Наибольшую урожайность зерна амаранта (1,80 т/га) обеспечила комбинация Трейсер, КЭ 0,3 л/га + хелатное борное удобрение 2 л/га, зеленой массы (30,2 т/га) — сочетание Трейсер, КЭ 0,3 л/га + хелатное борное удобрение 3 л/га.

Ключевые слова: амарант, гербицид, хелатное борное удобрение, урожайность, засоренность

Для цитирования: Бочкарев В.Д., Волгин В.В., Ивойлов А.В., Пыресеv А.С., Шахин И.В. Совершенствование технологии возделывания амаранта на зерно и зеленую массу в условиях юга Нечерноземной зоны. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 133–138. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-133-138>

Improving the technology of amaranth cultivation for grain and green mass in the conditions of the southern Non-Chernozem zone

ABSTRACT

In a two-factor field experiment on leached medium-loamy chernozem in the conditions of the south of the Non-Chernozem zone of Russia, an assessment was made of the effectiveness of the complex use of herbicides and chelated boron fertilizer in the cultivation of amaranth (*Amaranthus L. sp.*) for grain and green mass. The amaranth variety Voronezhsky 36 was used as the object of the study. It was found that in amaranth crops with a complex type of weed infestation, including annual monocotyledonous and dicotyledonous weeds, as well as perennial root-suckering weeds, the greatest biological and agronomic effect with the least suppression of cultivated plants was established for the herbicide Traser (clomazone 480 l/ha) at a dose of 0,3 l/ha, from the use of which the number and weight of weeds decreased by 91 and 93%, respectively, and the grain harvest increased compared to the control by 0,35 t/ha, green mass — by 5,4 t/ha. The use of a tank mixture of herbicides Demetra + Quickstep reduced the weed infestation of the crop, but had a herbotoxic effect on amaranth plants and reduced their productivity. Treatment of amaranth crops with chelated boron fertilizer (150 g/l) suppressed the inhibitory effect of the herbicide Traser, contributed to better plant development and the formation of additional grain and green mass. The highest yield of amaranth grain (1,80 t/ha) was provided by the combination of Traser 0,3 l/ha + chelated boron fertilizer 2 l/ha, green mass (30,2 t/ha) — the combination of Traser 0,3 l/ha + chelated boron fertilizer 3 l/ha.

Key words: amaranth, herbicide, chelated boric fertilizer, yield, contamination

For citation: Bochkarev V.D., Volgin V.V., Ivoilov A.V., Piresev A.S., Shakhin I.V. Improving the technology of amaranth cultivation for grain and green mass in the conditions of the southern Non-Chernozem zone. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 133–138 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-133-138>

Введение/Introduction

В мировом земледелии амарант (*Amaranthus L. sp.*) является одной из древнейших культур. История начала его культивирования связана с племенами ацтеков и майя, возделывавших его в тропических и субтропических районах Южной Америки более 8000 лет назад [1, 2].

Распространение амаранта в России связано с именем Н.И. Вавилова после его экспедиции по странам Латинской Америки в 1930 г., который из-за высокой продуктивности и устойчивости к неблагоприятным воздействиям предложил включить амарант в число растений, подлежащих незамедлительному широкому внедрению в культуру в СССР [3]. Внимание к этому псевдозлаку обусловлено рядом его неоспоримых преимуществ. Зерно амаранта богато протеином (до 20%), а его качество приравнивается к идеальному белку. В амаранте содержатся до 10% полезных жиров, из которых около 8% занимают производные три-терпенового ряда (сквалены), ценность которых как иммуномодуляторов и антиоксидантов признана во всем мире [4–7].

Амарант обладает исключительной экологической пластичностью и может произрастать в различных климатических условиях. При сложившейся зерновой специализации севооборотов его возделывание будет способствовать увеличению биоразнообразия агрофитоценозов и их фитосанитарной стабилизации.

При универсальности использования и высоком спросе на продукцию площади, занятые этой культурой в Российской Федерации, составляют не более 60 тыс. га и сосредоточены в основном в Ростовской и Челябинской областях, Алтайском и Краснодарском краях. Одно из препятствий расширения посевных площадей под амарант — недостаточная изученность элементов технологии возделывания, в особенности вопросов, связанных с защитой культуры от сорняков. В начальный период развития амарант в связи с низкой конкурентоспособностью испытывает негативное воздействие со стороны сеgetалов. На сегодняшний день в России нет ни одного гербицида, зарегистрированного на культуре, что значительно осложняет процесс ее возделывания.

Поиску гербицидов на посевах амаранта в условиях юга Нечерноземья посвящен ряд исследований. В работах М.О. Наумова с соавт. изучался вопрос применения граминицида Миура, КЭ (хизалофоп-П-этил 125 г/л) какотдельно, так в комплексе с Торнадо 500, ВР (глифосат (изопропиламинная соль) 500 г/л) [8–11]. Установлена высокая эффективность от применения в фазу 3–4 настоящих листьев баковой смеси препаратов клопираллида, галоксифоп-Р-метила и клетодима¹.

В то же время продуктивность культуры может быть увеличена при использовании других элементов технологии. Так, многими исследователями отмечено положительное влияние листовых обработок бором на урожайность и качество растениеводческой продукции [12–15]. На амаранте подобных исследований не проводили.

Цели исследования — оценка возможности комплексного применения гербицидов и борного удобрения, определение их биологической и хозяйственной эффективности на посевах амаранта в условиях юга Нечерноземной зоны.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевой опыт по оценке биологической и хозяйственной эффективности комплексного применения гербицидов и борного удобрения был проведен в 2023–2024 гг. на территории ООО «Меддаевское» (Чамзинский р-н, Республика Мордовия).

Двухфакторный опыт был заложен методом расщепленных делянок в 4-кратной повторности.

Фактор А: 1) без гербицидов (контроль); 2) Трейсер, КЭ (кломазон, 480 г/л) 0,3 л/га; 3) Де-метра, КЭ (флуроксипир, 350 г/л) 0,5 л/га + Квик-степ, МКЭ (галоксифоп-Р-метил 80 г/л, клетодим 130 г/л) 0,5 л/га.

Фактор Б: 1) без борного удобрения (контроль); 2–4) борное удобрение (150 г/л) в норме 1 л/га, 2 л/га и 3 л/га.

Гербициды, используемые в опыте российского производства (АО «Август»). Борное удобрение в хелатной форме (борэтанолламин) синтезировано в ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» (г. Саранск). За три дня до посева семена обрабатывали 0,2%-ным раствором хелата меди (150 г/л). Фооновые средства защиты и удобрения в опыте не использовали.

Площадь опытной делянки 1-го порядка — 1200 м², 2-го порядка — 300 м² (25 × 12 м), учетной делянки — 80 м² (уборка на зеленую массу) + 80 м² (уборка на семена).

Почва опытного участка — чернозем выщелоченный среднесуглинистый, содержание гумуса (по Тюрину)² — 5,7–5,9%, P₂O₅ и K₂O (по Кирсанову)³ — 119–126 мг/кг и 134–142 мг/кг соответственно, pH водной вытяжки⁴ — 5,6–5,8.

Гидротермический коэффициент (ГТК) по месяцам вегетации в 2023 г. изменялся от 1,01 до 2,05, в 2024-м — от 0,49 до 1,02. Изучаемый в опыте сорт амаранта Воронежский 36 внесен в реестр селекционных достижений с допуском к возделыванию в 7-м (Средневолжском) регионе, является перспективным для возделывания на территории юга Нечерноземной зоны⁵.

¹ Бочкарев В.Д. Патент № 2821019 С1 Российская Федерация, МПК A01N 33/06, A01N 33/08, A01N 37/10. Способ борьбы с сорняками в посевах амаранта метельчатого: № 2023122861. Опубл. 17.06.2024. EDN RUSRXR

² ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества.

³ ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО.

⁴ ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки.

⁵ Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию [электронный ресурс]. Поиск по реестру (gossortrf.ru).

Видовой состав и количество сорняков определяли на учетных площадках 0,25 м² в 10-кратной повторности перед обработкой посевов гербицидами, через 15, 30, 45 дней после обработки и перед уборкой культуры на зерно. Массу сорняков определяли перед уборкой количественно-весовым способом⁶.

Гербицидную обработку проводили в фазу 3–4 настоящих листьев амаранта, борное удобрение применяли в фазу бутонизации — начала цветения. Уборку зеленой массы проводили в фазу молочно-восковой спелости зерна. Зерно убирали при наступлении влажности 14%. Структуру урожая определяли согласно Методике государственного сортоиспытания⁷.

Статистическая обработка данных проведена при помощи пакетов AgroR и ExpDes языка программирования R методом фиксированных эффектов рендомизированного блочного плана (randomized block design). Анализ средней урожайности выполнен методом обобщенной линейной модели с равными весами факторов (GLM). Обобщенная линейная модель (GLM) для двухфакторного опыта представлена в следующем виде:

$$X_{ij} = \mu + a_i + b_j + ab_{ij}, \quad (1)$$

где X_{ij} — значение отдельного признака в опыте, μ — общее среднее (базовое) значение признака, a_i — воздействие уровня i фактора А, b_j — воздействие уровня j фактора В, ab_{ij} — дополнительное воздействие комбинации уровней i и j взаимодействия факторов АВ.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Одним из факторов, снижающих продуктивность культуры, выступает засоренность посевов, особенно в гербокритический период — в начале его роста и развития.

Анализ спектра сорных растений опытного участка в посевах амаранта перед обработкой гербицидами выявил, что в структуре фитоценоза из монокарпиков преобладали как однодольные мятликовые (*Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult., *Setaria viridis* (L.) P. Beauv., *Echino-chloa crus-galli* (L.) P. Beauv., *Avena fatua* L.), так и двудольные (*Chenopodium album* L., *Galium aparine* L., *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip., *Amaranthus retroflexus* L.). Из поликарпиков значительное распространение имел *Convolvulus arvensis* L. Реже встречались *Cirsium setosum* (Willd.) Besser и *Sonchus arvensis* L. Многообразие отмеченных видов говорит о сложном типе засоренности посевов амаранта, формирующемся в условиях юга Нечерноземной зоны.

К моменту применения гербицидов численность малолетних однодольных сорняков в среднем составляла 27 шт/м², малолетних двудольных — 34 шт/м², многолетних двудольных — 9 шт/м². К 15-му дню наблюдений численность малолетних однодольных при использовании гербицида Трейсер, КЭ снижалась на 58% (28 шт/м²), двудольных — на 56% (табл. 1).

Биологический эффект в отношении однодольных от применения баковой смеси Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ был выражен сильнее и составлял 73% (35 шт/м²), плотность малолетних двудольных снижалась на 45% (28 шт/м²).

Технологический эффект в снижении численности многолетних сорных видов к этому периоду

Таблица 1. Биологическая эффективность применения гербицидов и борного удобрения на посевах амаранта (в среднем за 2023–2024 гг.)

Table 1. Biological efficiency of herbicide and boron fertilizer application on amaranth crops (average for 2023–2024)

Фактор А (гербицид)	Фактор В (борное удобрение)	Численность сорняков после обработки, шт.								Масса сорных растений перед уборкой	
		через 15 дней		через 30 дней		через 45 дней		перед уборкой		малолетние	многолетние
		малолетние	многолетние	малолетние	многолетние	малолетние	многолетние	малолетние	многолетние		
Без гербицида (контроль)	без удобрения	48* 62	12	56 68	13	67 72	13	63 62	13	105,2 163,1	83,8
	1 л/га	49 65	11	56 72	12	69 71	15	63 67	15	104,2 160,7	89,3
	2 л/га	44 62	13	52 71	14	67 75	14	61 70	14	101,1 159,5	86,4
	3 л/га	49 65	11	61 70	12	70 75	13	65 66	13	92,8 145,2	77,4
Трейсер, КЭ	без удобрения	20 27	11	8 12	9	6 6	3	10 12	7	5,2 15,8	14,3
	1 л/га	17 28	10	10 12	8	7 6	2	10 10	6	5,7 17,5	15,1
	2 л/га	19 26	9	11 10	7	8 5	3	12 9	6	3,8 12,9	13,7
	3 л/га	20 28	11	9 11	8	6 7	3	9 11	7	2,0 8,1	9,0
Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ	без удобрения	13 34	13	5 17	5	8 14	2	12 21	2	7,7 24,7	13,1
	1 л/га	11 33	10	5 18	6	9 16	3	15 20	4	7,1 23,0	10,7
	2 л/га	13 33	8	7 18	6	9 16	4	14 21	4	6,1 19,6	9,3
	3 л/га	14 34	10	6 16	4	8 17	4	13 19	4	3,8 14,2	9,1
НСР ₀₅ ч. р.		2,1 4,7	1,1	4,5 5,2	1,7	4,1 5,3	1,5	3,9 4,5	1,1	6,22 8,86	3,27

Примечание: *над чертой — однодольные, под чертой — двудольные.

⁶ Методические рекомендации по проведению регистрационных испытаний гербицидов. СПб.: ФГБНУ ВИЗР. 2020; 80.

⁷ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / Под ред. М.А. Федина. Москва. 1989; 194.

наблюдений был выражен слабо. К 30-му дню наблюдений на варианте с Трейсер, КЭ обилие мятликовых снижалось на 79% (44 шт/м²), двудольных малолетников — на 82% (56 шт/м²), на варианте с баковой смесью Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ — на 91% и 75% соответственно. Количество многолетних сорных растений при обработке амаранта гербицидом Трейсер, КЭ было меньше на 46% (6 шт/м²), баковой смесью Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ — на 62% (8 шт/м²).

На 45-й день после применения гербицидов закономерность действия сохранялась, а эффект от их применения был максимальным. В среднем на Трейсер, КЭ плотность популяции малолетних сорняков снижалась на 91% (127 шт/м²), многолетних — на 77% (10 шт/м²), на Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ малолетних — на 84% (117 шт/м²), многолетних — на 85% (11 шт/м²). Перед уборкой закономерность сохранялась. Влияние внесения возрастающих доз хелатного борного удобрения на численность сорняков во все периоды учета было статистически незначимым.

В гербологических исследованиях для оценки эффективности гербицидов большое значение имеет эффект в отношении биомассы сорных растений. Применение гербицида Трейсер, КЭ снижало данный показатель в среднем по фону удобрения по малолетним сорным растениям на 93%, по многолетним — на 84%. При внесении Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ масса малолетних сорняков снижалась на 90%, многолетних — на 88%. Использование борного удобрения выступало в качестве фитоценотического метода угнетения сорных растений. Наибольший эффект в снижении массы отмечался при комплексном применении гербицидов и удобрения в дозе 3 л/га: на Трейсер, КЭ уменьшение составило 95%, на Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ — на 92% к контролю, в то время как на аналогичных вариантах без борного удобрения биологический эффект составлял 90% и 87% соответственно.

Интегральным показателем оценки действия гербицидов и удобрений является урожайность амаранта. Установлено, что наибольшей она была при использовании Трейсер, КЭ. Прибавка зерна по сравнению с контрольным вариантом составляла 0,35 т/га (34%), зеленой массы — 5,4 т/га (39%) (табл. 2).

Применение Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ снижало урожайность зерна на 0,06 т/га (6%), зеленой массы — на 2,45 т/га (18%), что связано со значительным гербитоксическим

(угнетающим) действием в отношении культуры.

Применение хелатного борного удобрения достоверно увеличивало урожайность зерна и зеленой массы. На вариантах с Трейсер, КЭ в среднем за два года наибольший эффект был получен при внесении 2 л/га борного удобрения, прибавка урожайности зерна составила 0,42 т/га (31%). На фоне данного гербицида сбор зеленой массы был наибольшим, увеличение составляло до 11 т/га к абсолютному контролю. На фоне внесения баковой смеси Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ наибольшее увеличение урожайности зерна от применения хелатного борного удобрения было на варианте с нормой 2 л/га (0,26 т/га), зеленой массы — с нормой 3 л/га (2,8 т/га).

Обобщенная линейная модель (GLM) влияния гербицидов и борного удобрения на продуктивность амаранта подтвердила ранее установленные тенденции.

Таблица 2. Влияние гербицида и борного удобрения на продуктивность амаранта, т/га

Table 2. Effect of herbicide and boron fertilizer on amaranth productivity, t/ha

Вариант		Урожайность, т/га					
		зерна			зеленой массы		
Гербицид (фактор А)	Борное удобрение (фактор В)	2023 г.	2024 г.	Среднее за два года	2023 г.	2024 г.	Среднее за два года
Без гербицида (контроль)	Без удобрения	1,10	0,93	1,02	16,1	11,6	13,8
	1 л/га	1,21	1,12	1,17	21,6	13,4	17,5
	2 л/га	1,42	1,31	1,37	24,6	15,3	19,9
	3 л/га	1,20	1,12	1,16	27,1	17,2	22,2
Трейсер, КЭ	Без удобрения	1,51	1,22	1,37	21,2	17,4	19,3
	1 л/га	1,66	1,33	1,50	25,4	19,1	22,2
	2 л/га	2,15	1,45	1,80	31,9	21,2	26,6
	3 л/га	1,89	1,36	1,63	36,2	24,2	30,2
Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ	Без удобрения	1,01	0,91	0,96	12,3	10,5	11,4
	1 л/га	1,21	0,98	1,10	15,0	11,4	13,2
	2 л/га	1,35	1,21	1,28	16,7	14,3	15,5
	3 л/га	1,29	1,11	1,20	17,8	15,6	16,7
Среднее по фактору А							
Без гербицида		1,23 ^b	1,12 ^b		22,3 ^b	14,4 ^b	
Трейсер, КЭ		1,80 ^a	1,34 ^a		28,7 ^a	20,5 ^a	
Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ		1,22 ^b	1,05 ^b		15,5 ^c	13,0 ^b	
Среднее по фактору В							
Без удобрения		1,20 ^c	1,02 ^c		16,5 ^d	13,2 ^d	
1 л/га		1,36 ^{bc}	1,14 ^b		20,7 ^c	14,6 ^c	
2 л/га		1,64 ^a	1,32 ^a		24,4 ^b	16,9 ^b	
3 л/га		1,46 ^b	1,20 ^b		27,1 ^a	19,0 ^a	
НСР ₀₅ ч. р.		0,27	0,20		1,4	0,8	

Примечание: значения главных эффектов с различными индексами достоверно различаются между собой на уровне $p \leq 0,05$, Fisherposthoc test.

Таблица 3. Обобщенная линейная модель влияния гербицидов и борных удобрений на урожайность зерна и зеленой массы амаранта — среднее за 2023–2024 гг. (т/га)

Table 3. Generalized linear model of the effect of herbicides and boric fertilizers on the yield of grain and green mass of amaranth — average for 2023–2024 (t/ha)

Главные эффекты и взаимодействия	Зерно	Зеленая масса
Без гербицида × без удобрения	1,02	13,9
Трейсер, КЭ (A1)	0,35*	5,4*
Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ (A2)	-0,06	-2,4*
Бор 1 л/га (B1)	0,15*	3,6*
Бор 2 л/га (B2)	0,35*	6,1*
Бор 3 л/га (B3)	0,14*	8,3*
A1 × B1	-0,02	-0,7
A1 × B2	0,08	1,2*
A1 × B3	0,12*	2,7*
A2 × B1	-0,02	-1,9*
A2 × B2	-0,03	-1,9*
A2 × B3	0,10	-3,0*

Примечание: * коэффициенты модели главных эффектов и взаимодействий значимы на уровне $p = \leq 0,05$, Fisherposthoc test.

В среднем прибавка урожайности зерна амаранта от применения гербицида Трейсер, КЭ составила 35%, от внесения баковой смеси Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ незначимо снижала продуктивность культуры. Формирование зеленой массы культурой при использовании Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ достоверно снижалось, а на вариантах с применением Трейсер, КЭ — увеличивалось (на 38%).

Достоверное увеличение урожайности зерна и зеленой массы установлено при использовании борного удобрения в норме 2 л/га и 3 л/га. Положительные эффекты взаимодействия выявлены при внесении удобрений на фоне применения

гербицида Трейсер, КЭ, отрицательные — на фоне использования баковой смеси Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ.

Выводы/Conclusions

Исследованиями установлено, что в условиях юга Нечерноземной зоны России в посевах амаранта со сложным типом засоренности, включающим малолетние однодольные и двудольные сорные растения, а также многолетние корнеотпрысковые, наибольший биологический эффект при наименьшей герботоксичности установлен для гербицида Трейсер, КЭ (кломазон 480 л/га) в дозе 0,3 л/га. От его применения численность и масса сорняков снижались на 91% и 93% соответственно, а урожайность зерна увеличивалась по сравнению с контролем на 0,35 т/га, зеленой массы — на 5,4 т/га.

Использование баковой смеси гербицидов Деметра, КЭ + Квикстеп, МКЭ уменьшало засоренность посева, но оказывало угнетающее (герботоксическое) действие на растения амаранта и снижало их продуктивность.

Обработка посева амаранта хелатным борным удобрением в дополнение гербициду Трейсер, КЭ купировала его угнетающее действие и обеспечивала дополнительный сбор зерна и зеленой массы. Наибольшую урожайность зерна амаранта (1,80 т/га) обеспечила комбинация Трейсер, КЭ 0,3 л/га + хелатное борное удобрение 2 л/га, зеленой массы (30,2 т/га) — сочетание Крейсер, КЭ 0,3 л/га + хелатное борное удобрение 3 л/га.

Впервые на черноземе выщелоченном средне-суглинистом юга Нечерноземья экспериментально обосновано совместное применение гербицида Трейсер, КЭ и хелатного борного удобрения для создания высокопродуктивных посевов амаранта сорта Воронежский 36.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского научного фонда по проекту № 24-76-00047. <https://rscf.ru/project/24-76-00047/>

FUNDING

This research was funded by Russian Science Foundation under Project No. 24-76-00047. <https://rscf.ru/project/24-76-00047/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Casini P., Biancofiore G. Palchetti E. Mechanical weed control strategies for grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). *Agronomy Research*. 2022; 20(1): 73–90. <https://doi.org/10.15159/AR.22.018>
- Kudsk P., Taberner A., de Troiani R.M., Sánchez T.M., Mathiassen S.K. Herbicide tolerance and seed survival of grain amaranth (*Amaranthus* sp.). *Australian Journal of Crop Science*. 2012; 6(12): 1674–1680.
- Магомедов И.М., Чиркова Т.В. Амарант: прошлое, настоящее и будущее. *Успехи современного естествознания*. 2015; (1–7): 1108–1113. <https://elibrary.ru/twqhpp>
- Высочина Г.И. Амарант (*Amarantus* L.): химический состав и перспективы использования (обзор). *Химия растительного сырья*. 2013; (2): 5–14. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1302005>

REFERENCES

- Casini P., Biancofiore G. Palchetti E. Mechanical weed control strategies for grain amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). *Agronomy Research*. 2022; 20(1): 73–90. <https://doi.org/10.15159/AR.22.018>
- Kudsk P., Taberner A., de Troiani R.M., Sánchez T.M., Mathiassen S.K. Herbicide tolerance and seed survival of grain amaranth (*Amaranthus* sp.). *Australian Journal of Crop Science*. 2012; 6(12): 1674–1680.
- Magomedov I.M., Chirkova T.V. Amaranth: past, present and future. *Advances in current natural sciences*. 2015; (1–7): 1108–1113 (in Russian). <https://elibrary.ru/twqhpp>
- Vysochina G.I. Amaranth (*Amarantus* L.): chemical composition and prospects of using (review). *Chemistry of plant raw material*. 2013; (2): 5–14 (in Russian). <https://doi.org/10.14258/jcprm.1302005>

5. Rastogi A., Shukla S. Amaranth: A New Millennium Crop of Nutraceutical Values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2013; 53(2): 109–125. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.517876>
6. Maurya N.K., Arya P. Amaranthus grain nutritional benefits: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018; 7(2): 2258–2262.
7. Nardo A.E., Suárez S., Quiroga A.V., Añón M.C. Amaranth as a Source of Antihypertensive Peptides. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 11: 578631. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.578631>
8. Наумов М.О., Бочкарев Д.В., Бочкарев В.Д., Письмарова С.А. Эффективность применения гербицида и органоминерального удобрения при возделывании амаранта. *Аграрный научный журнал*. 2018; (8): 26–31. <https://doi.org/10.28983/asj.v0i8.544>
9. Наумов М.О., Тюкина Е.В., Бочкарев Д.В., Смолин Н.В., Емельянов С.В., Солдатов Е.О. Совместное применение гербицида и органоминерального удобрения при возделывании амаранта на зерно. *Плодородие*. 2021; (1): 10–12. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.118.03>
10. Наумов М.О., Бочкарев Д.В., Смолин Н.В., Никольский А.Н., Емельянов С.В. Урожайность, содержание и вынос элементов минерального питания амарантом при использовании органоминерального удобрения и гербицида. *Агрохимический вестник*. 2020; (5): 41–44. <https://elibrary.ru/aaevup>
11. Наумов М.О., Бочкарев Д.В., Никольский А.Н., Бочкарев В.Д., Письмарова С.А. Эффективность системного применения гербицидов при возделывании амаранта на залежных землях. *Аграрный научный журнал*. 2019; (7): 23–27. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i7pp23-27>
12. Фокин С.А., Куркова И.В. Влияние применения жидких удобрений на качественные показатели зерна сорта яровой пшеницы ДальГАУ 1. *Аграрная наука*. 2023; (9): 74–78. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-74-78>
13. Лыбенко Е.С., Хлопов А.А., Титова Е.Л. Изучение влияния хелатных форм меди, цинка и бора на семенную продуктивность масличного льна в условиях Кировской области. *Вестник аграрной науки*. 2023; (1): 87–92. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.1.87>
14. Galeriani T.M. et al. Calcium and Boron Fertilization Improves Soybean Photosynthetic Efficiency and Grain Yield. *Plants*. 2022; 11(21): 2937. <https://doi.org/10.3390/plants11212937>
15. Bodeerath S., Veeradittakit J., Jamjod S., Prom-U-Thai C. Applying Boron Fertilizer at Different Growth Stages Promotes Boron Uptake and Productivity in Rice. *Rice Science*. 2024; 31(6): 751–760. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2024.08.007>
5. Rastogi A., Shukla S. Amaranth: A New Millennium Crop of Nutraceutical Values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2013; 53(2): 109–125. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.517876>
6. Maurya N.K., Arya P. Amaranthus grain nutritional benefits: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018; 7(2): 2258–2262.
7. Nardo A.E., Suárez S., Quiroga A.V., Añón M.C. Amaranth as a Source of Antihypertensive Peptides. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 11: 578631. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.578631>
8. Naumov M.O., Bochkarev D.V., Bochkarev V.D., Pismarova S.A. Efficiency of the application of herbicide and organomineral fertilizer for amaranth cultivating. *Agrarian scientific journal*. 2018; (8): 26–31 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.v0i8.544>
9. Naumov M.O., Tyukina E.V., Bochkarev D.V., Smolin N.V., Emelyanov S.V., Soldatov E.O. Complex application of a herbicide and an organomineral fertilizer under amaranth cultivation on grain. *Plodородie*. 2021; (1): 10–12 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.118.03>
10. Naumov M.O., Bochkarev D.V., Smolin N.V., Nikolsky A.N., Yemelyanov S.V. Yield, content and removal of mineral nutrients by amaranth when use fertilizer and herbicide. *Agrochemical Herald*. 2020; (5): 41–44 (in Russian). <https://elibrary.ru/aaevup>
11. Naumov M.O., Bochkarev D.V., Nikolsky A.N., Bochkarev V.D., Pismarova S.A. Efficiency of systemic application of herbicides in the growing of amaranth on protective lands. *Agrarian scientific journal*. 2019; (7): 23–27 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i7pp23-27>
12. Fokin S.A., Kurkova I.V. Influence of the use of liquid fertilizers on the quality indicators of grain of the spring wheat variety DalGAU 1. *Agrarian science*. 2023; (9): 74–78 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-74-78>
13. Lybenko E.S., Khlopov A.A., Titova E.L. Study of the influence of chelated forms of copper, zinc and boron on the seed productivity of oilseed flax in the conditions of the Kirov region. *Bulletin of agrarian science*. 2023; (1): 87–92 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.1.87>
14. Galeriani T.M. et al. Calcium and Boron Fertilization Improves Soybean Photosynthetic Efficiency and Grain Yield. *Plants*. 2022; 11(21): 2937. <https://doi.org/10.3390/plants11212937>
15. Bodeerath S., Veeradittakit J., Jamjod S., Prom-U-Thai C. Applying Boron Fertilizer at Different Growth Stages Promotes Boron Uptake and Productivity in Rice. *Rice Science*. 2024; 31(6): 751–760. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2024.08.007>

ОБ АВТОРАХ

Владимир Дмитриевич Бочкарев

аспирант
aln1k1986@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0005-0893-4179>

Виктор Владимирович Волгин

кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
kafedra_paz@agro.mrsu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0552-3084>

Александр Васильевич Ивойлов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ivoilov.av@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5355-6251>

Александр Сергеевич Пыресеv

студент
alekpyresev@yandex.ru

Игорь Владимирович Шахин

аспирант
Igor.shahin@icloud.com

Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н.П. Огарёва,
ул. Большевикская, 68, Саранск, 430005, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir Dmitrievich Bochkarev

Graduate Student
aln1k1986@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0004-6751-7490>

Viktor Vladimirovich Volgin

Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
kafedra_paz@agro.mrsu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0552-3084>

Alexander Vasilyevich Ivoilov

Doctor Agricultural Sciences, Professor
ivoilov.av@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5355-6251>

Alexander Sergeevich Pyresev

Student
alekpyresev@yandex.ru

Igor Vladimirovich Shakhin

Graduate Student
Igor.shahin@icloud.com

National Research Ogarev Mordovia State
University,
68 Bolshevistskaya Str., Saransk, 430005, Russia

УДК 633.111 «324»:631.542.7(470.61)

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-139-147

С.В. Подгорный ✉

О.В. Скрипка

А.П. Самофалов

В.Л. Чернова

Н.С. Кравченко

Аграрный научный центр
«Донской», Зерноград, Россия

✉ podgorny128@rambler.ru

Поступила в редакцию: 25.02.2025

Одобрена после рецензирования: 09.05.2025

Принята к публикации: 24.05.2025

© Подгорный С.В., Скрипка О.В.,
Самофалов А.П., Чернова В.Л.,
Кравченко Н.С.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-139-147

Sergey V. Podgorny ✉

Olga V. Skripka

Alexander P. Samofalov

Valentina L. Chernova

Nina S. Kravchenko

Agricultural Research Center
“Donskoy”, Zernograd, Russia

✉ podgorny128@rambler.ru

Received by the editorial office: 25.02.2025

Accepted in revised: 09.05.2025

Accepted for publication: 24.05.2025

© Podgorny S.V., Skripka O.V., Samofalov A.P.,
Chernova V.L., Kravchenko N.S.

Новый адаптивный, высокопродуктивный сорт озимой мягкой пшеницы Василич, созданный в ФГБНУ «АНЦ “Донской”»

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Озимая пшеница занимает значительные площади на полях Ростовской области. Селекционные работы по выведению новых сортов озимой пшеницы должны быть направлены на то, чтобы создать растения, которые будут способны давать высокий урожай и при этом будут устойчивы к неблагоприятным условиям окружающей среды. Для этого необходимо повышать адаптивность растений.

Методы. Работу проводили в южной зоне Ростовской области с 2022 по 2024 год на полях селекционного севооборота ФГБНУ «АНЦ “Донской”» по методикам ГСИ и полевого опыта.

Результаты. В статье изложены результаты по созданию сорта озимой мягкой пшеницы Василич. В ходе конкурсного сортоиспытания, проведенного по пяти предшественникам (сидеральный пар, горох, кукуруза на зерно, подсолнечник, озимая пшеница), средняя урожайность нового сорта за три года составила 8,97 т/га, что на 1,43 т/га превышает показатели стандартного сорта Ермак. Сорт Василич отличается низкорослостью, устойчивостью к полеганию и осыпанию зерна в колосе, а также высокой морозостойкостью, засухоустойчивостью и устойчивостью к патогенам. Он формирует крупное зерно с высокой натурой, плотностью 820 г/л. Содержание белка в нем составляет 14,2%, а клейковины — 28,6%. Удельная работа деформации теста, или сила муки, достигает 278 е. а. Объемный выход хлеба из 100 г муки составляет 690 куб. см. Сорт внесен в Государственный реестр селекционных достижений на 2025 год и допущен к использованию в Российской Федерации в пяти регионах: Центральном (3), Центрально-Чернозёмном (5), Северо-Кавказском (6), Средневолжском (7) и Нижневолжском (8).

Ключевые слова: пшеница мягкая озимая, гибридизация, сорт, урожайность, качество, устойчивость, патогены

Для цитирования: Подгорный С.В., Скрипка О.В., Самофалов А.П., Чернова В.Л., Кравченко Н.С. Новый адаптивный, высокопродуктивный сорт озимой мягкой пшеницы Василич, созданный в ФГБНУ «АНЦ “Донской”». *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 139–147. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-139-147>

A new adaptive, highly productive variety of winter soft wheat Vasilich, created at the Federal State Budgetary Scientific Institution ANTS “Donskoy”

ABSTRACT

Relevance. Winter wheat occupies significant agricultural areas in the Rostov region. Breeding work on developing new winter wheat varieties should be aimed at developing plants that will be of high productivity and at the same time will be resistant to unfavorable environmental conditions. It necessitates to increase the adaptability of plants.

Methods. The current work was carried out in the southern part of the Rostov region on the fields of the breeding crop rotation of the FSBSI «ARC “Donskoy”» in 2022–2024 according to the methods of the SVT and a field trial.

Results. The current paper has presented the results of developing the winter common wheat variety Vasilich. During the competitive variety testing, conducted on five forecrops (green manure fallow, peas, maize for grain, sunflower, winter wheat), the mean productivity of the new variety over three years was 8.97 t/ha, which was 1.43 t/ha higher than that of the standard variety Ermak. The variety Vasilich is characterized by its low height, resistance to lodging and to grain shedding in the ear, as well as high frost resistance, drought resistance and resistance to pathogens. The variety forms large grain with high nature weight, with density of 820 g/l. Protein percentage in grain is 14.2%, and 28.6% of gluten. The specific work of dough deformation, or flour strength reaches 278 u. a. The volume yield of bread from 100 grams of flour is 690 cubic centimeters. The variety has been included in the State List of Breeding Achievements for 2025 and approved for use in the Russian Federation in five regions, such as Central (3), Central Blackearth (5), North Caucasus (6), Middle Volga (7) and Lower Volga (8).

Key words: winter common wheat, hybridization, variety, productivity, quality, resistance, pathogens

For citation: Podgorny S.V., Skripka O.V., Samofalov A.P., Chernova V.L., Kravchenko N.S. A new adaptive, highly productive variety of winter soft wheat Vasilich, created at the Federal State Budgetary Scientific Institution ANTS “Donskoy”. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 139–147 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-139-147>

Введение/Introduction

Пшеница мягкая озимая (*Triticum aestivum* L.) занимает центральное место в системе обеспечения продовольственной и стратегической безопасности Российской Федерации, являясь доминирующей культурой в структуре зернового клина как по объемам производства, так и по занимаемым площадям. Ее значимость обусловлена не только высокой адаптивностью к различным агроэкологическим условиям, но и ключевой ролью в формировании продовольственного баланса страны [1].

Селекция выступает в качестве одного из наиболее действенных инструментов интенсификации агропромышленного комплекса, направленного на увеличение продуктивности сельскохозяйственных культур, оптимизацию их качественных параметров и минимизацию ресурсозатрат на единицу производимой продукции [2].

Разработка высокоадаптивных и высокопродуктивных сортов предполагает не только глубокое понимание закономерностей наследования количественных и качественных признаков, но и интеграцию инновационных подходов, включая методы молекулярной генетики, геномики и биотехнологии [3].

В мировом масштабе пшеница (*Triticum aestivum* L.) является самой распространенной культурой по площади посевов и второй по значимости после кукурузы по объему производства. Она обеспечивает 20% калорий и 21% белка в рационе более 4 млрд человек в развивающихся странах. Прогнозируемый рост населения Земли к 2050 году (примерно до 10 млрд человек) требует значительного увеличения темпов роста урожайности основных продовольственных культур, таких как пшеница, рис и кукуруза [4]. Эта проблема усугубляется постоянным сокращением пахотных земель в условиях глобализации и серьезными опасениями по поводу доступности воды для орошения. Кроме того, ожидается, что изменение климата окажет негативное влияние на сельское хозяйство. По последним оценкам, в 2022–2023 годах пшеницу выращивали на более чем 219,59 млн га земли по всему миру, а общий объем производства составил примерно 789 млн т [5].

Селекция пшеницы внесла значительный вклад в повышение потенциала урожайности и стабильности на протяжении многих лет. За последние шесть десятилетий средняя урожайность пшеницы выросла в три раза и составляет около 3,6 метрических т/га.

Несмотря на выведение новых сортов пшеницы с достаточной урожайностью, темпы прироста урожайности пшеницы в последние годы не соответствуют требуемым ~1,5–1,7% ежегодно прироста урожайности. Чтобы удовлетворить прогнозируемый спрос, крайне важно изучить малоиспользуемые, но инновационные подходы, которые позволят преодолеть барьеры урожайности пшеницы и повысить устойчивость к стрессовым

факторам. Одним из многообещающих подходов является разработка гибридной пшеницы [5].

В настоящее время гибридная пшеница выращивается в некоторых частях Европы, включая Францию, Венгрию, Германию, и Азии, в основном в Китае и Индии, в совокупности занимая ~1% мировых площадей производства пшеницы [6].

Большинство оценок повышения урожайности, связанного с гетерозисом у пшеницы, составляют от 3,5 до 15%. В ходе предварительных испытаний, проведенных в США Брунсом и Петерсоном (1997 г.), гибриды показали примерно на 11% более высокую урожайность по сравнению с чистыми сортами, а в последнее время — до 24% по сравнению с лучшим гибридным родителем [6].

Чтобы использовать гибридную силу, родительские линии (как мужские, так и женские) должны обладать достаточным генетическим разнообразием. Крайне важно изучить фенотипическое и генетическое разнообразие интересующих признаков как в мужской, так и в женской зародышевой плазме, чтобы принимать решения о селекции для создания гибридов.

В недавних исследованиях изучалось фенотипическое и генетическое разнообразие по ряду признаков, необходимых для селекции гибридной пшеницы, таких как цветковые и ауткроссинговые признаки (длина пыльника, размер пыльника, высота растения, длина рыльца, выдвижение пыльника, раскрытие цветка, количество пыльцы, восприимчивость рыльца и продолжительность цветения) [7, 8]. Молекулярные маркеры, в том числе простые последовательности (SSR), оказались очень эффективными для выявления генетического разнообразия и филогенетических связей у многих сельскохозяйственных культур. Благодаря высокому уровню генетического полиморфизма SSR-маркеры успешно используются для изучения генетической дивергенции и вариаций в зародышевой плазме пшеницы и ее диких сородичей [9, 10].

Создание новых сортов пшеницы базируется на комплексном подходе, включающем изучение генетического полиморфизма, идентификацию аллелей, ассоциированных с хозяйственно ценными признаками, и их последующую интрогрессию в селекционный материал [11]. Это позволяет достичь значительного прогресса в улучшении таких ключевых характеристик, как урожайность, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам, а также технологические и пищевые качества зерна [12].

Таким образом, современная селекция пшеницы представляет собой междисциплинарную науку, объединяющую достижения генетики, биоинформатики, физиологии растений и агрономии, что позволяет создавать сорта, отвечающие вызовам современного агропромышленного комплекса и требованиям устойчивого развития сельского хозяйства [13]. Для достижения успеха в деле увеличения и стабилизации производства зерна, а также повышения его качественных

характеристик необходимо уделить первостепенное внимание ускорению и модернизации селекционного процесса, а также созданию и внедрению в производство новых сортов, отличающихся высокой урожайностью и качеством [14].

Стратегия селекции пшеницы основана на генетической информации о наследовании основных количественных признаков, связанных с урожайностью. Для получения такой информации необходимо использовать генетическую модель, соответствующую используемому исходному материалу. В рамках обычной селекционной программы важно определить лучших родителей для гибридизации и скрещивания, чтобы выбрать ценные генотипы [15].

В условиях современного производства возникает потребность в сортах сельскохозяйственных культур, которые отличаются высокой урожайностью, а также качеством зерна и способностью адаптироваться к различным климатическим условиям, включая устойчивость к холоду, засухе, болезням и другим неблагоприятным факторам [16]. Сорт будет пользоваться спросом, если он удовлетворяет специфическим запросам производства и обеспечивает прибыль. Иными словами, его выращивание должно быть экономически целесообразным [17]. Разработка новых сортов пшеницы, которые будут иметь развитую систему генетического регулирования, позволит максимально эффективно использовать природные и технологические условия для обеспечения высоких и стабильных показателей основных экономических характеристик в процессе производства [18].

В АНЦ «Донской» занимаются выведением новых сортов озимой мягкой пшеницы. Эти сорта отличаются высокой урожайностью и хорошим качеством зерна [19]. Они подходят как для посева по парам, так и по непаровым предшественникам. Эти сорта предназначены для интенсивного и полунтенсивного выращивания. Они обладают стабильными характеристиками и могут быть использованы в различных условиях [20].

Цель исследования — оценить основные хозяйственно ценные признаки нового сорта озимой мягкой пшеницы Василич, а также показатели качества зерна, его адаптивность и устойчивость к распространенным болезням пшеницы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

С 2022 по 2024 год на полях селекционного севооборота ФГБНУ «АНЦ «Донской»» проводили исследования, объектом которых стал новый сорт озимой мягкой пшеницы Василич, внесенный в Государственный реестр селекционных¹ достижений. В качестве стандарта использовали сорт Ермак, принятый на Государственном сортоиспытательном участке (ГСУ).

Почва опытного участка — обыкновенный чернозем (предкавказский, карбонатный), глинистый и легкоглинистый. Реакция почвенного раствора слабощелочная (рН = 7,0–7,5). Сумма поглощенных оснований в слое 0–20 см — 49,4 м/экв. Структура почвы зернисто-комковатая [21].

Исследования проведены в питомнике конкурсного сортоиспытания по пяти предшественникам (сидеральный пар (горчица), кукуруза на зерно, горох, подсолнечник, озимая пшеница). Размещение вариантов проводили систематически в шестикратной повторности. Площадь делянок составляла 10 м², а норма высева варьировалась от 4,0 до 5,5 млн всхожих семян на 1 га в зависимости от предшественника. Посев осуществляли сеялкой Wintersteiger Plotseed (Австрия), а урожай убирали комбайном Wintersteiger Classic (Австрия) в фазу полной спелости.

Экологические испытания по сорту Василич были заложены в различных эколого-географических зонах Волгоградской, Белгородской и Ростовской областей Российской Федерации. Все исследования, наблюдения и оценки, включая фенологические наблюдения, анализ устойчивости к полеганию, учет урожайности, структурный анализ растений и другие, проводили в строгом соответствии с методикой Государственного сортоиспытания².

Исследование качественных характеристик зерна проводили в соответствии с «Методикой оценки технологических качеств зерна»³. Были использованы следующие стандарты: метод определения натурности зерна — по ГОСТ 10840⁴, стекловидность — опико-компьютерный метод по ГОСТ Р 70629⁵, количество и качество клейковины — по ГОСТ Р 54478⁶, число падения — по ГОСТ 27676⁷, характеристики теста — по ГОСТ ISO 5530-1⁸, определение реологических свойств с применением альвеографа (ALVEOPC, Китай) — по ГОСТ Р 51415⁹, определение белка — по ГОСТ 10846¹⁰.

¹ Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Сорта растений (официальное издание). М.: Росинформагротех. 2025; 1: 631.

² Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва. 1989; 194.

³ Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. Москва. 1988; 120.

⁴ ГОСТ 10840-2017 Метод определения натурности. М.: Стандартинформ. 2019; 19.

⁵ ГОСТ Р 70629-2023 Определение стекловидности опико-компьютерным методом. М.: Стандартинформ. 2023; 5.

⁶ ГОСТ Р 54478-2011 Метод определения количества и качества клейковины в пшенице. М.: Стандартинформ. 2012; 23.

⁷ ГОСТ 27676-88 Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения. М.: Стандартинформ. 2019; 5.

⁸ ГОСТ (ISO) 5530-1-2013 Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение фотопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа. М.: Стандартинформ. 2019; 12.

⁹ ГОСТ Р 51415-99 Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение реологических свойств с применением альвеографа. М.: Госстандарт России. 1999; 14.

¹⁰ ГОСТ 10846-91 Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М.: Стандартинформ. 2009; 9.

Исследование устойчивости сорта к воздействию низких температур проводили посредством процесса промораживания растений, помещенных в посевные ящики и камеры низких температур КНТ-1 (Россия)¹¹.

Степень поражения сорта бурой ржавчиной определяли в соответствии с методикой R.F. Peterson¹², а степень поражения мучнистой росой — в соответствии с методикой С.И. Ригиной¹³.

Математическую обработку данных урожайности и структурного анализа снопов проводили с помощью компьютерных программ Excel 2010 (США).

Для анализа общей приспособляемости сорта были применены критерии экологической пластичности и стабильности, разработанные S.A. Eberhart и W.A. Russell¹⁴.

В период проведения исследований метеорологические условия отличались высокой изменчивостью. Особенно это касалось количества осадков, которое выпадало за вегетационный период, а также температурного режима.

Погодные условия 2022 года были нестабильными. Зима выдалась холодной, с резкими перепадами температур — от сильных морозов до оттепели. Июнь был засушливым — выпало всего 9,57 мм осадков. При этом среднемесячная температура составила 23,2 °С, что на 2,7 °С выше нормы. В отдельные дни температура поднималась до 36,6 °С. Несмотря на это, год оказался благоприятным для роста и развития растений благодаря накопленным запасам влаги в зимний период.

Сельскохозяйственный 2022/23 год характеризовался аномально высокими температурами и неравномерным распределением осадков по сезонам, условия для роста и развития озимой пшеницы сложились неблагоприятные, особенно с конца весны до начала лета.

Интенсивные осадки, сопровождавшиеся сильными порывистыми ветрами в конце мая — начале июня, привели к полеганию посевов озимой пшеницы и активному развитию грибковых заболеваний. Это в свою очередь стало причиной формирования щуплого зерна с низкой стекловидностью, а также снижения урожайности.

В период изучения (2023–2024 гг.) наблюдалось повышение температурного режима на 3,44° (13,09°) по сравнению со среднемноголетними показателями (9,65°).

Весна 2024 года отличалась аномально высокими температурами в марте (+2,9 °С) и апреле (+5,9 °С), а также дефицитом осадков (34,4% от нормы).

Температурный режим в мае был ниже нормы на 0,9 °С, выпало всего 12,7 мм осадков, что составляет 42,9% от нормы. В I декаде месяца наблюдались ночные заморозки (до -2,0 °С), что негативно сказалось на раннеспелых сортах, попавших под воздействие низких температур в фазе колошения и цветения.

В летний сезон были зафиксированы рекордные температурные показатели: в июне столбик термометра поднялся до 24,7°, в июле — до 27,9°, в августе — до 25,5°. За этот период выпали 42 мм осадков, что составляет 24,1% от нормы. Жаркая и засушливая погода, характерная для июня, привела к тому, что уборка озимой пшеницы началась раньше средних многолетних сроков.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В АНЦ «Донской» был выведен новый сорт мягкой озимой пшеницы Василич (1533/17). В 2021 году он был передан на государственное сортоиспытание.

Сорт создан в результате внутривидового скрещивания с использованием ступенчатой гибридизации. На завершающем этапе скрещивания в качестве материнского растения была использована короткостебельная линия 1587/09, а в качестве отцовского — сорт Кохана украинской селекции. Этот сорт отличается высокой урожайностью, морозостойкостью и качеством зерна.

Скрещивание проведено в 2012 году. Элитное растение отобрано в 2015-м. Год стационарного испытания — 2018-й. С 2019 по 2021 год было проведено изучение в конкурсном сортоиспытании.

По результатам испытаний за отчетный период на государственных сортоиспытательных участках сорт был включен в Государственный реестр селекционных достижений и получил разрешение на использование в производстве в следующих регионах Российской Федерации: Центральном (3), Центрально-Чернозёмном (5), Северо-Кавказском (6), Средневолжском (7) и Нижневолжском (8).

Разновидность — эритроспермум, характеризующийся белым остистым колосом средней длины, который составляет от 9,5 до 10,3 см. Плотность колоса оценивается как средняя, при этом на каждые 10 см длины стержня приходится от 21 до 22 колосков. Ости, составляющие часть колоса, имеют среднюю длину и форму, а сам колос — пирамидальную форму. Колосковая чешуя отличается средней длиной и шириной. Зубец колосковой чешуи имеет средний размер, а плечо колоса является прямым в средней трети колоса.

¹¹ Грабовец А.И. Донской метод определения морозостойкости и жизнеспособности озимых хлебов. Научное издание. Ростов-на-Дону. 2010; 20.

¹² Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A Diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals. Canadian journal of research, section A, 26. 1948; 496–500.

¹³ Ригина С.И. Методические указания по оценке устойчивости пшеницы и ячменя к мучнистой росе. Л: Всесоюзный институт растений. 1972; 10.

¹⁴ Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties Crop Science. 1966; 6: 1: 36–40.

Зерна пшеницы этого сорта имеют красный цвет и удлиненную форму. Масса 1000 семян варьирует- ся от 38,0 до 45,0 г.

Василич демонстрирует впечатляющие показатели продуктивности. В ходе экспериментов по возделыванию сельскохозяйственных культур с 2022 по 2024 год средняя урожайность по предшественнику сидеральному пару составила 11,37 т/га, что на 1,97 т/га больше, чем у стандартного сорта Ермак. По кукурузе на зерно урожайность составила 8,76 т/га, превысив стандартный сорт Ермак на 0,99 т/га. По предшественнику горох урожайность составила 9,95 т/га, что на 1,55 т/га больше, чем у стандарта. По подсолнечнику урожайность составила 7,58 т/га, превысив стандарт Ермак на 1,20 т/га. По озимой пшенице урожайность составила 7,23 т/га, что на 1,46 т/га больше, чем у стандарта.

В ходе трехлетнего исследования (2022–2024 гг.) урожайность по пяти предшествующим культурам в среднем достигла 8,97 т/га, что на 1,43 т/га больше, чем у стандарта Ермак (табл. 1).

В 2024 году сорт продемонстрировал максимальную урожайность, которая составила 12,99 т/га по предшественнику сидеральный пар.

Способность сорта озимой мягкой пшеницы Василич формировать высокую урожайность подтверждается данными урожайности экологического сортоиспытания, которые были заложены в Волгоградской, Белгородской, Ростовской и других областях. Так, например, в Волгоградской области в острозасушливом 2024 году в ОАО «Новокондрашовское» по черному пару получена урожайность 53,6 ц/га, у ранее районированного сорта Юбилей Дона — 47,2 ц/га, в КФХ «Кирсанов» (Волгоградская обл.) Василич лидировал по черному пару с урожайностью 35,7 ц/га, Юбилей Дона — 31,0 ц/га, Краса Дона — 29,9 ц/га., в Белгородской области в ООО «РусАгроинвест» по предшественнику горох сформировал урожайность 48,3 ц/га, Рубин Дона — 48,2 ц/га, Премьера — 47,3 ц/га, в СПК «Староаннинский» (Волгоградская обл.) по черному пару сформировал урожайность 30,9 ц/га, Жаворонок — 23,8 ц/га, Матрица — 30,7 ц/га, в ООО им. Литунова (Ростовская обл.) по предшественнику горох в 2024 году получена урожайность 69,9 ц/га, в ООО «Спектр-Агро» (Ремонтненский р-н, Ростовская обл.) получена урожайность по черному пару при жесточайшей засухе в весенне-летний период 37,0 ц/га, Жаворонок — 33,3 ц/га, у сорта Шеф — 36,3 ц/га.

По данным структурного анализа, сорт Василич формирует высокую урожайность за счет более высокого продуктивного колосостоя (608 шт/м²), длины колоса (9,8 см), а также большого числа колосков в колосе (20,1 шт.). У стандарта Ермак эти показатели составляли 565 шт/м², 8,0 см и 18,6 шт. соответственно (табл. 2).

Продуктивная кустистость на одном растении у Василича 2,64 стеб./раст., число зерен на одном

Рис. 1. Колос и зерно сорта озимой мягкой пшеницы Василич. Фото авторов

Fig. 1. Ear and grain of the winter common wheat variety Vasilich. Photo of the authors



Таблица 1. Урожайность сорта мягкой озимой пшеницы Василич по разным предшественникам, 2022–2024 гг.

Table 1. Productivity of the winter common wheat variety Vasilich sown after various forecrops, 2022–2024

Предшественник	Ед. изм.	Ермак, стандарт	Василич	± к Ермаку	НСР ₀₅
Сидеральный пар	т/га	9,40	11,37	+1,97	0,39
Кукуруза на зерно	т/га	7,77	8,76	+0,99	0,56
Горох	т/га	8,40	9,95	+1,55	0,48
Подсолнечник	т/га	6,38	7,58	+1,20	0,59
Озимая пшеница	т/га	5,77	7,23	+1,46	0,65
Среднее	т/га	7,54	8,97	+1,43	—

растении — 95,4 шт., вес зерна с одного растения — 3,83 г, масса 1000 зерен — 42,0 г, что выше, чем у стандартного сорта Ермак. Сорт Василич характеризуется высокой и стабильной урожайностью, которую он способен демонстрировать не только в условиях благоприятной среды, но и в ситуациях, когда климатические условия являются неблагоприятными.

Индекс условий внешней среды (I_j) свидетельствует о том, что, несмотря на засушливые погодные условия 2024 года, была достигнута рекордная урожайность. В 2024 году индекс составил $I_j = 1,63$, а в 2022-м — $I_j = 1,42$. Наименее благоприятным был 2023 год, когда индекс составил $I_j = -2,41$.

Таблица 2. Элементы структуры урожайности сорта озимой мягкой пшеницы Василич, 2022–2024 гг.

Table 2. Yield structure elements of the winter common wheat variety Vasilich, 2022–2024

Элементы структуры урожайности	Ермак, стандарт	Василич	± к Ермаку	S^x
Продуктивный колосостой, шт/м ²	565	608	+43,0	28,0
Продуктивная кустистость, стеб./раст.*	2,18	2,64	+0,46	0,25
Число зерен на одно растение, шт.	92,2	95,4	+3,20	2,06
Вес зерна с одного растения, г	3,71	3,83	+0,12	0,07
Число зерен с одного колоса, шт.	37,6	42,19	+4,59	2,98
Вес зерна с одного колоса, г	1,49	1,71	+0,22	0,14
Длина колоса, см	8,00	9,80	+0,22	1,05
Число колосков в колосе, шт.	18,6	20,1	+1,50	1,03
Масса 1000 зерен, г	39,0	42,0	+3,0	1,88

Примечание: * стеб./раст. — стеблей с растения.

Коэффициент линейной регрессии, обозначенный как b_1 , для сорта озимой пшеницы Василич составляет 0,86. Коэффициент вариации $V = 17,8\%$ указывает на высокую пластичность и стабильность данного сорта, что свидетельствует о его способности успешно адаптироваться к различным условиям окружающей среды (табл. 3).

Сорт Василич демонстрирует исключительную способность к адаптации, что проявляется в его высокой урожайности. Эта особенность связана с его устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды, в частности к засухе. Данный сорт отличается высокой засухоустойчивостью и жаростойкостью, особенно в критические периоды налива и созревания зерна. Эти качества проявляются и на ранних этапах развития растения — набухание проростков семян и появление всходов.

В ходе лабораторных исследований было обнаружено, что степень прорастания семян на растворах осмотиков демонстрирует высокий уровень засухоустойчивости, достигая 81,5%, а также жаростойкости, составляющей 91,8%. Комплексная устойчивость составила 228,1 отн. ед., что превышает показатели стандартного сорта Ермак на 19,8%, 8,1% и 18,1 отн. ед. соответственно (табл. 4).

Итоги полевых исследований, проведенных с 2022 по 2024 год, подтверждают информацию, собранную в условиях засушливой погоды. Это говорит о том, что сорт озимой мягкой пшеницы Василич хорошо переносит жару и засуху.

В условиях 2024 года урожайность по сорту Василич составила по: сидеральному пару (горчица) — 12,99 т/га, кукурузе на зерно — 10,02 т/га, подсолнечнику — 6,94 т/га, гороху — 10,63 т/га, озимой пшенице — 7,23 т/га. У стандартного сорта Ермак урожайность составила 11,55 т/га, 9,51 т/га, 5,78 т/га, 9,80 т/га и 4,15 т/га соответственно.

Сорт Василич представляет собой разновидность среднеранних сортов, которые начинают колоситься и созревать на 3–4 дня позднее, чем стандартный сорт Ермак. Vegetационный период этого сорта охватывает временной промежуток от 261 до 270 дней. Василич отличается низкорослостью — высота его растений колеблется от 73,2 до 105,0 см. По устойчивости к полеганию превышает родительские формы — 1587/09 и Кохана, а также стандартный сорт Ермак (табл. 5).

В последние годы наблюдается тенденция к потеплению, климат меняется, зимы становятся более мягкими. Тем не менее вторым по значимости фактором, который может негативно сказаться на успешном выращивании озимой пшеницы, является способность растений пережить зиму в полевых условиях. Низкие температуры на уровне залегания узла кущения, отсутствие снега, ледяная корка, выпирание и другие неблагоприятные погодные условия могут привести к гибели посевов. Поэтому создание сортов озимой

Таблица 3. Показатели экологической пластичности и стабильности у сорта Василич, 2023–2024 гг.

Table 3. Indicators of environmental adaptability and stability of the variety Vasilich, 2023–2024

Сорт	Средняя урожайность, т/га	Коэффициент вариации, % V	Коэффициент линейной регрессии (b ₁)	Стабильность (S _{2di})
Ермак, стандарт	9,40	22,7	1,40	0,13
Василич	11,37	17,8	0,86	0,13

Таблица 4. Степень адаптивности к температурным стрессам сорта озимой пшеницы Василич, 2022–2024 гг.

Table 4. Degree of temperature stress adaptability of the winter common wheat variety Vasilich, 2022–2024

Сорт	Засухоустойчивость		Жаростойкость		Индекс засухоустойчивости, отн. ед.
	всхожесть, %	группа устойчивости	всхожесть, %	группа устойчивости	
Ермак, стандарт	63,9	II	93,7	I	210,0
Василич	81,5	I	91,8	I	228,1

Таблица 5. Адаптационные свойства мягкой озимой пшеницы Василич, 2022–2024 гг.

Table 5. Adaptive properties of the winter common wheat variety Vasilich, 2022–2024

Показатели	Ермак, стандарт	Василич	+ к Ермаку
Вегетационный период, дн.	260	264	+4,0
Высота растений, см	93,8	90,4	-3,4
Устойчивость к полеганию, балл	3,8	4,6	+0,8
Поражение бурой ржавчиной, %	15–20	10–15	–
Поражение мучнистой росой, %	2,5–3,0	0,1–1,0	–
Поражение септориозом, %	30–40	5–10	–
Поражение желтой ржавчиной, %	50–60	Сл.	–
Морозостойкость, %	68,8	74,3	+5,5

пшеницы, которые могут выдерживать низкие температуры, остается важной задачей в селекции этой культуры [21].

Василич — сорт, который отличается низкорослостью, но при этом обладает высокой устойчивостью к засухе и морозам. В ходе эксперимента, проведенного в условиях промораживания при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ в КНТ-1, было установлено, что новый сорт сохранил в среднем за три года изучения 74,3% живых растений, в то время как у стандарта Ермак этот показатель составил 68,8%. В полевых условиях оценка перезимовки за 2022–2024 годы изучения в среднем составила не менее 5 баллов.

В процессе выведения новых сортов озимой мягкой пшеницы одним из ключевых аспектов является обеспечение их устойчивости к различным заболеваниям. В современном сельском

хозяйстве для защиты посевов от болезней используют создание сортов, которые могут противостоять заболеваниям. Это особенно важно для защиты озимых культур от болезней листьев. Устойчивые сорта — это эффективный способ борьбы с эпидемиями болезней растений. Они помогают повысить урожайность и улучшить состояние окружающей среды [22].

Новый сорт пшеницы Василич отличается повышенной устойчивостью к ряду заболеваний, характерных для данной культуры. В частности, он демонстрирует высокую сопротивляемость бурой и желтой ржавчине, уровень которой составляет от 10 до 15%, а также мучнистой росе — от 0,1 до 1,0 балла. Помимо этого, демонстрирует умеренную сопротивляемость септориозу, при этом процент поражения варьируется от 5 до 10.

Сорт Василич обладает уникальными генетическими особенностями, которые проявляются в качестве зерна. Формируется полноценное зерно с объемной массой от 800 до 820 г/л.

В результате исследования, проведенного с 2022 по 2024 год, было определено, что среднее содержание белка в зерне составляет 14,2%, а клейковины — 28,6%. Качество клейковины соответствует первой группе ИДК, которая составляет 71 ед. Масса 1000 зерен — 42,0 г (табл. 6).

Показатель удельной работы деформации теста, определенный с помощью альвеографа (сила муки), составил 278 ед. Валориметрическая оценка — 93 ед. Объем хлеба, полученного из 100 г муки, составил 690 см³. SDS-седиментация — 69 мл. У стандартного сорта Ермак эти показатели составили 209 а. е., 78 е. п., 670 см³, 4,0 балла и 67 мл соответственно (табл. 7).

Выводы/Conclusions

В результате многолетней селекционной работы, проведенной в АНЦ «Донской», создан новый сорт мягкой озимой пшеницы — Василич. В сорте сочетается высокая зерновая продуктивность, в среднем урожайность по пяти предшественникам за 2022–2024 годы изучения составила 8,97 т/га — это +1,43 т/га к стандарту с высокой устойчивостью к полеганию, устойчивостью к основным листовым болезням пшениц,

Таблица 6. Характеристика технологических качеств зерна сорта озимой мягкой пшеницы Василич, 2022–2024 гг.

Table 6. Characteristics of the technological qualities of grain of the winter common wheat variety Vasilich, 2022–2024

Показатели	Ермак, стандарт	Василич	+ к Ермаку
Натура зерна, г/л	775	820	+45,0
Стекловидность, %	69	75	+6,0
Содержание белка в зерне, %	13,5	14,2	+0,7
Содержание клейковины в зерне, %	25,8	28,6	+2,8
Качество клейковины, ед. п.	69-I	75-I	+6,0

Таблица 7. Реологические и хлебопекарные показатели качества зерна сорта озимой мягкой пшеницы Василич, 2022–2024 гг.

Table 7. Rheological and baking indicators of grain quality of the winter common wheat variety Vasilich, 2022–2024

Показатели	Ермак, стандарт	Василич	+ к Ермаку
Сила муки, е. а.	209	321	+112,0
Валориметрическая оценка, е. п.	78	93	+15,0
Объемный выход хлеба из 100 г муки, см ³	670	690	+20,0
SDS-седиментация, мл	67	69	+2,0

засухоустойчивостью и морозостойкостью. Качество зерна и муки высокое и соответствует требованиям на сильные пшеницы³.

Практическая значимость сорта Василич в данных исследованиях заключается в том, что по продуктивному колосостоя и массе 1000 зерен превышает стандартный сорт Ермак на 107%, по числу зерен с колоса — на 113%, по морозостойкости — на 108%, по засухоустойчивости — на 128%, по натуре зерна — на 106%, по силе муки — на 153%. Сорт¹ допущен к использованию в производстве по Центральному (3), Центрально-Черноземному (5), Северо-Кавказскому (6), Средневолжскому (7) и Нижневолжскому (8) регионам Российской Федерации и рекомендован для возделывания на высоком, среднем и низком агрофоне.

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

- Богданов В.В. Динамика генетического разнообразия сортов мягкой пшеницы красноярской селекции. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова*. 2022; (1): 6–13. <https://elibrary.ru/jdoidg>
- Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Крахмалёва М.С., Бугрова В.В. Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: история, методы и результаты. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021; 25(4): 367–373. <https://doi.org/10.18699/VJ21.53-0>

REFERENCES

- Bogdanov V.V. Dynamics of genetic diversity of soft wheat varieties of Krasnoyarsk selection. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2022; (1): 6–13 (in Russian). <https://elibrary.ru/jdoidg>
- Sandukhadze B.I., Mamedov R.Z., Krakhmaleva M.S., Bugrova V.V. Scientific breeding of winter bread wheat in the Non-Chernozem zone of Russia: the history, methods and results. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25(4): 367–373. <https://doi.org/10.18699/VJ21.53-0>

3. Хакимова А.Г., Губарева Н.К., Кошкин В.А., Митрофанова О.П. Генетическое разнообразие и селекционная ценность синтетической гексаплоидной пшеницы, привлеченной в коллекцию ВИР. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019; 23(6): 738–745. <https://doi.org/10.18699/VJ19.548>
4. Hickey L.T. *et al.* Breeding crops to feed 10 billion. *Nature Biotechnology*. 2019; 37(7): 744–754. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0152-9>
5. Whitford R. *et al.* Hybrid breeding in wheat: technologies to improve hybrid wheat seed production. *Journal of Experimental Botany*. 2013; 64(18): 5411–5428. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert333>
6. Easterly A.C. *et al.* Evaluation of hybrid wheat yield in Nebraska. *Crop Science*. 2020; 60(3): 1210–1222. <https://doi.org/10.1002/csc2.20019>
7. Sade B., Ibrahim A.M.H., Subramanian N., Rudd J., Liu S., Opena G., Baenziger S. Assessment of floral characteristics for hybrid wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Texas. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2022; 5(1): 202–208. <https://doi.org/10.1002/agg2.20228>
8. Garst N. *et al.* Evaluation of pollination traits important for hybrid wheat development in Great Plains germplasm. *Crop Science*. 2023; 63(3): 1169–1182. <https://doi.org/10.1002/csc2.20926>
9. Jlassi I. *et al.* SSR markers and seed quality traits revealed genetic diversity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Molecular Biology Reports*. 2021; 48(4): 3185–3193. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06385-y>
10. Su W., Xu H., Sun L., Lu C., Wu R. Genetic diversity analysis of volunteer wheat based on SSR markers. *Journal of Genetics*. 2023; 102(2): 54. <https://doi.org/10.1007/s12041-023-01451-9>
11. Ковтун В.И., Ковтун Л.Н. Адаптивный, урожайный, с комплексом хозяйственных признаков сорт пшеницы озимой Держава. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023; (3): 24–30. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-24-30>
12. Фадеева И.Д., Игнатьева И.Ю., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П. Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на качество зерна в условиях севера Среднего Поволжья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022; 183(1): 118–126. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-118-126>
13. Адонина И.Г. и др. Характеристика синтетической линии пшеницы — потенциального источника хозяйственно ценных признаков. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023; 9(3): 117–125. <https://doi.org/10.18699/LettersVJ-2023-9-15>
14. Ковтун В.И., Ковтун Л.Н. Новый с комплексом ценных хозяйственно-биологических признаков сорт пшеницы озимой Ставропольская 21. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022; (2): 16–22. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-16-22>
15. Драгов Р.Г. Комбинационная способность количественных признаков, связанных с продуктивностью твердой пшеницы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022; 26(6): 515–523 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-63>
16. Aoun M., Rouse M.N., Kolmer J.A., Kumar A., Elias E.M. Genome-Wide Association Studies Reveal All-Stage Rust Resistance Loci in Elite Durum Wheat Genotypes. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 640739. DOI: 10.3389/fpls.2021.640739
17. Иличкина Н.П., Самофалова Н.Е., Макарова Т.С., Дубинина О.А. Новый сорт озимой твердой пшеницы Юбильярка. *Таврический вестник аграрной науки*. 2020; (4): 62–71. <https://www.elibrary.ru/pqaead>
18. Некрасова О.А. и др. Результаты изучения селекционных линий озимой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании по урожайности и качеству зерна. *Зерновое хозяйство России*. 2019; (2): 32–37. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-32-37>
19. Лапочкина И.Ф. и др. Комплексная устойчивость линий яровой и озимой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессам. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021; 25(7): 723–731. <https://doi.org/10.18699/VJ21.082>
20. Кравченко Н.С., Марченко Д.М., Игнатьева Н.Г., Копусь М.М., Мирошников К.А. Технологические свойства сортов озимой мягкой пшеницы в зависимости от предшественника. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 146–151. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-146-151>
21. Некрасова О.А., Кравченко Н.С., Игнатьева Н.Г., Марченко Д.М., Иванисов М.М. Качество зерна сортов озимой мягкой пшеницы в зависимости от предшественника. *Зерновое хозяйство России*. 2020; (4): 31–35. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-70-4-31-35>
3. Khakimova A.G., Gubareva N.K., Koshkin V.A., Mitrofanova O.P. Genetic diversity and breeding value of synthetic hexaploid wheat introduced into the VIR collection. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019; 23(6): 738–745 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ19.548>
4. Hickey L.T. *et al.* Breeding crops to feed 10 billion. *Nature Biotechnology*. 2019; 37(7): 744–754. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0152-9>
5. Whitford R. *et al.* Hybrid breeding in wheat: technologies to improve hybrid wheat seed production. *Journal of Experimental Botany*. 2013; 64(18): 5411–5428. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert333>
6. Easterly A.C. *et al.* Evaluation of hybrid wheat yield in Nebraska. *Crop Science*. 2020; 60(3): 1210–1222. <https://doi.org/10.1002/csc2.20019>
7. Sade B., Ibrahim A.M.H., Subramanian N., Rudd J., Liu S., Opena G., Baenziger S. Assessment of floral characteristics for hybrid wheat (*Triticum aestivum* L.) production in Texas. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2022; 5(1): 202–208. <https://doi.org/10.1002/agg2.20228>
8. Garst N. *et al.* Evaluation of pollination traits important for hybrid wheat development in Great Plains germplasm. *Crop Science*. 2023; 63(3): 1169–1182. <https://doi.org/10.1002/csc2.20926>
9. Jlassi I. *et al.* SSR markers and seed quality traits revealed genetic diversity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Molecular Biology Reports*. 2021; 48(4): 3185–3193. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06385-y>
10. Su W., Xu H., Sun L., Lu C., Wu R. Genetic diversity analysis of volunteer wheat based on SSR markers. *Journal of Genetics*. 2023; 102(2): 54. <https://doi.org/10.1007/s12041-023-01451-9>
11. Kovtun V.I., Kovtun L.N. Adaptive, productive with a complex of economic characteristics, winter wheat variety Derzhava. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023; (3): 24–30 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-101-3-24-30>
12. Fadeeva I.D., Ignatieva I.Yu., Khakimova A.G., Mitrofanova O.P. Source material for breeding winter bread wheat for grain quality in the north of the Middle Volga Region. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022; 183(1): 118–126 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-118-126>
13. Adonina I.G. *et al.* Characteristics of the synthetic line of wheat — a potential source of agronomically valuable traits. *Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023; 9(3): 117–125 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/LettersVJ-2023-9-15>
14. Kovtun V.I., Kovtun L.N. New variety of winter wheat Stavropolskaya 21 with a complex of valuable economic and biological characteristics. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022; (2): 16–22 (in Russian). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-16-22>
15. Dragov R.G. Combining ability for quantitative traits related to productivity in durum wheat. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022; 26(6): 515–523. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-63>
16. Aoun M., Rouse M.N., Kolmer J.A., Kumar A., Elias E.M. Genome-Wide Association Studies Reveal All-Stage Rust Resistance Loci in Elite Durum Wheat Genotypes. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 640739. DOI: 10.3389/fpls.2021.640739
17. Ilichkina N.E., Samofalova N.E., Makarova T.S., Dubinina O.A. Yubilyarka — new variety of winter durum wheat. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2020; (4): 62–71 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pqaead>
18. Nekrasova O.A. *et al.* The study results of productivity and grain quality of the breeding lines of winter soft wheat in the Competitive Variety-Testing. *Grain Economy of Russia*. 2019; (2): 32–37 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-32-37>
19. Lapochkina I.F. *et al.* Complex resistance of spring and winter bread wheat lines to biotic and abiotic stresses. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25(7): 723–731. <https://doi.org/10.18699/VJ21.082>
20. Kravchenko N.S., Marchenko D.M., Ignatieva N.G., Kopus M.M., Miroshnikov K.A. Technological properties of winter common wheat varieties depending on the forecrops. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 146–151 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-146-151>
21. Nekrasova O.A., Kravchenko N.S., Ignatieva N.G., Marchenko D.M., Ivanisov M.M. Grain quality of the winter soft wheat varieties depending on the forecrops. *Grain Economy of Russia*. 2020; (4): 31–35 (in Russian). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-70-4-31-35>

22. Скрипка О.В., Подгорный С.В., Самофалов А.П., Чернова В.Л. Селекция сортов озимой мягкой пшеницы интенсивного типа в ФГБНУ «АНЦ «Донской». *Зерновое хозяйство России*. 2020; (6): 19–25.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-72-6-19-25>

ОБ АВТОРАХ

Сергей Викторович Подгорный

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа
 podgorny128@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8438-1327>

Ольга Викторовна Скрипка

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа
<https://orcid.org/0000-0002-6183-8312>

Александр Петрович Самофалов

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа
<https://orcid.org/0000-0002-1709-2808>

Валентина Леонидовна Чернова

агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа
<https://orcid.org/0000-0002-0451-2711>

Нина Станиславовна Кравченко

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатория биохимической, технологической и агрохимической оценки
<https://orcid.org/0000-0003-3388-154>

Аграрный научный центр «Донской»,
 ул. Научный городок — 3, Зерноград, Ростовская обл.,
 347740, Россия

22. Skripka O.V., Podgorny S.V., Samofalov A.P., Chernova V.L. The breeding work on the winter bread wheat varieties of intensive type in the FSBSI «Agricultural Research Center «Donskoy»». *Grain Economy of Russia*. 2020; (6): 19–25 (in Russian).
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-72-6-19-25>

ABOUT THE AUTHORS

Sergey Viktorovich Podgorny

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory for the Breeding and Seed Production of Winter Bread Wheat of Intensive Type
 podgorny128@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8438-1327>

Olga Viktorovna Skripka

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory for the Breeding and Seed Production of Winter Bread Wheat of Intensive Type
<https://orcid.org/0000-0002-6183-8312>

Alexander Petrovich Samofalov

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory for the Breeding and Seed Production of Winter Bread Wheat of Intensive Type
<https://orcid.org/0000-0002-1709-2808>

Valentina Leonidovna Chernova

Agronomist of the Laboratory for the Breeding and Seed Production of Winter Bread Wheat of Intensive Type
<https://orcid.org/0000-0002-0451-2711>

Nina Stanislavovna Kravchenko

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory for Biochemical, Technological and Agrochemical Estimation
<https://orcid.org/0000-0003-3388-1548>

Agricultural Research Center «Donskoy»,
 3 Nauchny Gorodok Str., Zernograd, Rostov region, 347740,
 Russia

26 ИЮНЯ

ДЕНЬ ПОЛЯ И СЕНАЖА ПФО 2025

Самарская область,
 Кинельский район, с. Угорье

Организаторы:
 Зерновой Соевый Союз ПФО +7 927 156 70 20; <https://soya-pfo.ru/>
 ИСТИТУТ МОЛОКА +7 (495) 668 39 28; <https://imol.club/>

PRO ПОЛЕ **PRO СОПТА** **PRO ТЕХНОЛОГИИ** **PRO ТЕХНИКА** **PRO МОЛОКО** **PRO ФЕРМА**

УДК 631.171: 632.08: 632.931: 004.932.2

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-148-155

В.С. Тетерин ✉

Н.С. Панфёров

А.Ю. Овчинников

С.А. Пехнов

Д.Д. Кондрахов

Федеральный научный
агроинженерный центр
ВИМ, Москва, Россия

✉ v.s.teterin@mail.ru

Поступила в редакцию: 27.02.2025

Одобрена после рецензирования: 10.05.2025

Принята к публикации: 25.05.2025

© Тетерин В.С., Панфёров Н.С.,
Овчинников А.Ю., Пехнов С.А.,
Кондрахов Д.Д.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-148-155

Vladimir S. Teterin ✉

Nikolay S. Panferov

Alexey Yu. Ovchinnikov

Sergey A. Pehnov

Daniil D. Kondrakhov

Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russia

✉ v.s.teterin@mail.ru

Received by the editorial office: 27.02.2025

Accepted in revised: 10.05.2025

Accepted for publication: 25.05.2025

© Teterin V.S., Panferov N.S., Ovchinnikov A.Yu.
Pehnov S.A., Kondrakhov D.D.

Обоснование цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний и удаления зараженных растений картофеля

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Важную роль в селекции и семеноводстве картофеля играет предотвращение распространения инфекций на этапах производства семенного материала и выведении новых сортов. В настоящее время в селекции и семеноводстве используется ручной или механизированный способ проведения сортофиточисток, который обладает низким уровнем автоматизации и подразумевает наличие оператора выбраковывающего и удаляющего растения картофеля.

Цели исследования — теоретическое обоснование цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний растений картофеля и разработка алгоритма работы по выявлению координат заболевших растений для их последующего удаления.

Методы. В процессе разработки системы распознавания зараженных растений картофеля и определения координат их клубневого гнезда использовали технологии машинного зрения и алгоритмы глубокого обучения, а также базу данных изображений зараженных растений. Для определения реального размера объекта на кадре, а также для минимизации искажений объекта и учета углов наклона камеры относительно объектов использовали фотограмметрические методы.

Результаты. Теоретически обоснована необходимость создания цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний растений картофеля для их последующего эффективного выявления и удаления. Учтены возможные искажения изображений из-за дисторсии объектива и изменения углов внешнего ориентирования при движении машины, что позволяет корректировать координаты и повышать точность определения местоположения растений.

Предложен алгоритм совместной работы системы распознавания зараженных растений картофеля, системы определения координат заболевших растений и исполнительного механизма извлечения растений из почвы.

Ключевые слова: цифровая система идентификации, картофель, идентификация заболеваний, селекция и семеноводство, сортофиточистка, машинное зрение, определение координат растения, удаление зараженных растений

Для цитирования: Тетерин В.С., Панфёров Н.С., Овчинников А.Ю., Пехнов С.А., Кондрахов Д.Д. Обоснование цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний и удаления зараженных растений картофеля. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 148–155. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-148-155>

Substantiation of a digital system for the identification of infectious diseases and removal of infected potato plants

ABSTRACT

Relevance. Prevention of the spread of infections at the stages of seed production and breeding of new varieties plays an important role in potato breeding and seed production. Currently, in breeding and seed production, a manual or mechanized method of carrying out variety harvesting is used, which has a low level of automation and implies the presence of an operator culling and removing potato plants.

The objectives of the study are the theoretical substantiation of a digital identification system for infectious diseases of potato plants and the development of an algorithm for identifying the coordinates of diseased plants for their subsequent removal.

Methods. In the process of developing a system for recognizing infected potato plants and determining the coordinates of their tuber nest, machine vision technologies and deep learning algorithms, as well as a database of images of infected plants, were used. Photogrammetric methods were used to determine the actual size of the object in the frame, as well as to minimize lens distortion and take into account camera angles relative to objects.

Results. The necessity of creating a digital identification system for infectious diseases of potato plants for their subsequent effective detection and removal is theoretically substantiated. Factors affecting the accuracy of determining coordinates, such as lens distortion and camera orientation angles, are taken into account.

An algorithm for the joint operation of a system for recognizing infected potato plants, a system for determining the coordinates of diseased plants, and an actuating mechanism for extracting plants from the soil is proposed.

Key words: digital identification system, identification of potato diseases, breeding and seed production, variety screening, machine vision, determination of plant coordinates, removal of infected plants

For citation: Teterin V.S., Panferov N.S., Ovchinnikov A.Yu., Pehnov S.A., Kondrakhov D.D. Substantiation of a digital system for the identification of infectious diseases and removal of infected potato plants. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 148–155 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-148-155>

Введение/Introduction

Картофель — одна из самых распространенных культивируемых культур на планете, что неудивительно, ведь в картофеле содержится большое количество питательных веществ, а сама культура достаточно неприхотлива и проста в культивации. При этом, несмотря на современные агроприемы, используемые при выращивании картофеля, клубни и кусты подвержены более чем 50 различным заболеваниям, которые наносят значительный экономический ущерб, связанный с потерей урожайности [1–4].

Среди заболеваний картофеля встречаются фитофтороз, альтернариоз, парша обыкновенная, вирусы X, Y и др. В свою очередь, для эффективной борьбы с этими заболеваниями необходим комплексный подход, включающий в себя не только агрохимические приемы по обработке посадок картофеля, но и применение севооборотов, оптимизацию питания растений, осторожное применение фунгицидов с учетом риска развития резистентности у патогена, а также выведение и использование устойчивых к патогенам сортов [5].

Зачастую заражение и перенос болезней происходят еще на этапе производства семенного материала, поэтому при выведении новых сортов или получении семенного материала в селекции и семеноводстве картофеля и овощных культур проводятся специальные мероприятия, направленные на выявление и последующее удаление зараженных растений. Одной из таких практик является проведение сортофитопрочистки, в ходе которых специалисты осматривают растения и удаляют те, что поражены болезнями или не соответствуют сортовым признакам. Как правило, в течение вегетационного периода в среднем производятся три сортофитопрочистки. Это позволяет повысить качество семенного материала и предотвратить распространение инфекций [6].

Для повышения эффективности процесса очистки посадок картофеля от больных растений разрабатываются и внедряются специализированные машинно-технологические комплексы. В своей конструкции они, как правило, имеют следующие основные элементы: гидравлические или электрические приводы, место оператора, дистанционное управление, саморазгружающиеся бункеры для зараженных растений. Однако уровень их автоматизации обычно ограничивается электронно-гидравлическим воздействием на привод подъема и опускания рабочего места оператора-селекционера [6–8], в связи с чем с 2022 года коллективом ФГБНУ ФНАЦ ВИМ ведутся исследования по разработке конструкции машины для проведения сортофитопрочисток овощных культур и картофеля.

Конструкция машины представляет собой самоходный роботизированный комплекс, состоящий из несущей рамы с мотор-колесами, манипулятора, сепарирующего бункера,

саморазгружающегося бункера, системы машинного зрения и цифровой системы управления (рис. 1) [9, 10].

В процессе работы машина для проведения сорто- и фитопрочисток движется по посадкам картофеля, анализируя их. При работе система машинного зрения на основе нейронной сети должна не только определять зараженные растения картофеля, но и (корректно) центр клубневого гнезда для точного позиционирования исполнительного рабочего органа (манипулятора) над ним и последующего извлечения [9, 10].

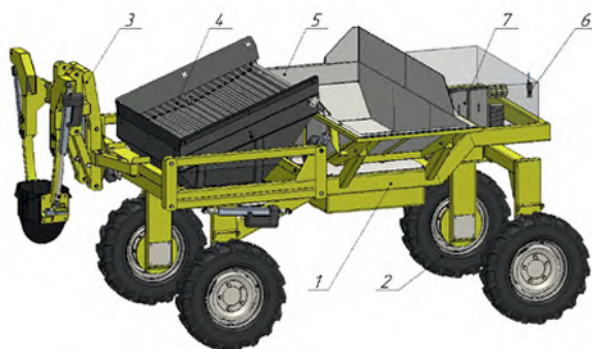
Стоит отметить, что в настоящее время подобные исследования, направленные на внедрение систем машинного зрения, способных определять здоровые и зараженные растения, проводятся во многих странах мира, их ключевые цели — сокращение человеческого фактора и ускорение процесса сортофитопрочистки [10–12].

В связи с этим активно применяются методы машинного обучения и компьютерного зрения, особенно алгоритмы глубокого обучения. Среди них особое место занимают сверточные нейронные сети (CNN), которые эффективно справляются с задачей автоматического извлечения и классификации признаков болезней на изображениях листьев картофеля [13]. В свою очередь, сверточные нейронные сети могут быть использованы совместно с пространственными трансформерными сетями (STN) и большими трансформерными сетями (LTN), позволяя повысить точность распознавания тех или иных признаков. Имеются данные, что их совместное применение позволило повысить точность распознавания болезней картофеля на 97,98% [12, 13].

Среди других методов, используемых для распознавания болезней картофеля, можно выделить алгоритмы машинного обучения, такие как классификатор k-ближайшего соседа (k-NN), метод опорных векторов (SVM), деревья решений, а

Рис. 1. Схема машины для фитопрочистки овощных культур и картофеля: 1 — несущая рама; 2 — мотор-колесо; 3 — манипулятор; 4 — сепарирующий бункер; 5 — саморазгружающийся бункер; 6 — система машинного зрения; 7 — цифровая система управления. Фото авторов

Fig. 1. Diagram of a vegetable and potato peeling machine: 1 — supporting frame; 2 — motor-wheel; 3 — manipulator; 4 — separation hopper; 5 — self-unloading hopper; 6 — machine vision system; 7 — digital control system. Photos of the authors



также методы обработки изображений, например локальные бинарные шаблоны (LBP). Эти подходы позволяют создавать надежные системы для автоматического обнаружения и классификации заболеваний [12–15].

Важным аспектом является использование открытых наборов данных, таких как PlantVillage, которые содержат большое количество изображений пораженных и здоровых листьев растений. Эти данные используются для обучения и тестирования моделей. Для повышения эффективности моделей применяются различные техники, включая увеличение объема данных и оптимизацию гиперпараметров [13].

Внедрение представленных технологий в системы автоматизированного контроля за посадками картофеля способствует более точному и быстрому выявлению зараженных растений, что в свою очередь повышает качество семенного материала и урожайность культуры. Очевидным развитием в создании машин для осуществления операций по сортофитопро очистке является разработка роботизированных комплексов, способных определять и удалять зараженные растения картофеля. Подобные комплексы должны быть оснащены системами машинного зрения с использованием алгоритмов машинного обучения и совместно с выкорчевывающими исполнительными механизмами для удаления зараженных растений.

Важную роль в эффективности работы подобных роботизированных комплексов оказывает точность определения координат зараженных растений. После определения координат заболевших растений информация должна передаваться на исполнительный механизм роботизированного комплекса. Чем точнее определены координаты растений, требующих удаления, тем более целенаправленно и аккуратно может действовать исполнительный механизм, минимизируя повреждение здоровых растений.

Цели исследования — теоретическое обоснование цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний растений картофеля и разработка алгоритма работы по выявлению координат заболевших растений для их последующего удаления.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В рамках выполнения исследований по разработке машины для проведения сортофитопро очистки овощных культур и картофеля, в 2022–2024 гг. на материально-технической базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ проводили разработку системы распознавания зараженных растений картофеля и определения координат их клубневого гнезда. С этой

целью использовали техно логии машинного зрения и алгоритмы глубокого обучения (нейронную сеть). Для анализа полученных снимков растений картофеля использовали сверточную нейронную сеть на основе архитектуры Yolo11 (Yolov11) Ultralytics Inc. (США, Испания), снимки с изображением зараженных листьев из открытой базы PlantVillage¹, а также снимки растений, полученные самостоятельно..

Для определения реального размера объекта на основе параметров камеры и расстояния до него предложено использовать фотограмметрические методы, в частности метрическую фотограмметрию, стереофотограмметрию, цифровую фотограмметрию. В процессе определения координат клубневого гнезда учитывали параметры камеры (площадь матрицы, фокусное расстояние и др.), углы наклона и разворота снимка, а также поправки на дисторсию объектива, что позволило получить корректные значения.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для определения заболевших растений картофеля при помощи цифровой системы идентификации на машине для проведения сортофитопро очистки овощных культур параллельно поверхности земли и непосредственно над гребнем устанавливали RGB-камеру MER2-503-36U3C. Полученные с камеры горизонтальные снимки растений картофеля обрабатывали при помощи сверточной нейронной сети, которая анализировала изображения растений и вычисляла их характеристики через последовательность сверточных слоев, затем принимали итоговое решение через полносвязный слой, превращая карту характеристик в одно число для классификации по двум классам.

В процессе использовали такие характеристики, как глубина, ширина и высота тензоров, количество фильтров и размер рецептивного поля. Для корректного распознавания растений нейронную сеть обучали на заранее подготовленной выборке здоровых и больных растений. В результате анализа снимков растений нейронная сеть относила каждое растение к одной из групп — «Здоровое (Healthy)» или «Больное (Diseased)», при этом на снимках была отмечена рабочая область в виде прямоугольной рамки с обозначением группы (рис. 2).

Стоит обратить внимание, что в рамках данной задачи возникла сложность корректного определения координат стеблей заболевшего куста картофеля. В качестве решения данной проблемы представилась возможность проведения съемки куста картофеля с разных ракурсов, при этом первый ракурс тот, который предназначен для выявления заболевших растений картофеля, то есть

¹ Plant Village — это общедоступная база данных, состоящая из более чем 60 тыс. изображений больных и здоровых листьев растений, в том числе картофеля, собранных в контролируемых условиях (набор данных PlantVillage). https://github.com/gabrielgdf4/PlantVillage-Dataset/blob/master/Potato_Early_blight/0898bffc-57aa-4fdb-92d1-fd6a03d2a011_RS_Early.B%206946.JPG

Рис. 2. Пример снимка растения картофеля, обработанного нейронной сетью. Фото авторов

Fig. 2. An example of a snapshot of a potato plant processed by a neural network. Photo by the authors



изображение растения сверху, а второй ракурс — съемка растений сбоку.

В свою очередь, важно учитывать, что в зависимости от расположения камеры размеры реального объекта на снимках с разных ракурсов могут отличаться друг относительно друга. При этом, зная параметры используемого оборудования, можно вычислить реальный размер объекта по формуле:

$$S_o = \frac{(S_M \times l)}{f}, \quad (1)$$

где S_o — площадь видимого объекта, m^2 ; S_M — площадь матрицы камеры, m^2 ; l — расстояние от объектива до камеры, m ; f — фокусное расстояние, m .

Выявив зараженное растение, возникает необходимость определить его координаты, в данном случае — координаты центра прямоугольника. Стоит отметить, что при проведении съемки цифровой камерой система координат $OXYZ$ определяется светоприемной матрицей, при этом оси OX и OY направлены параллельно снимаемому объекту, а ось OZ соответствует направлению съемки и определяется фокусным расстоянием используемой камеры. Таким образом, координаты точки K , обозначающей заболевшее растение в координатной плоскости снимка $OXYZ$ и приходящейся в центр прямоугольника, будут определяться следующим выражением:

$$\begin{cases} x_K = x - x_0 \\ y_K = y - y_0 \\ z_K = -f \end{cases} \quad (2)$$

где x_K, y_K, z_K — координаты точки K на местности, m ; x и y — координаты точки K на снимке, m ; x_0 и y_0 — координаты основной точки снимка, m .

Необходимо обратить внимание, что координаты основной точки снимка и фокусное расстояние камеры являются элементами внутреннего ориентирования. Они определяют положение центра проекции относительно плоскости снимка и

восстанавливают связку проектирующих лучей, существовавшую в момент экспонирования [16, 17].

В свою очередь, необходимо учитывать тот факт, что каждый объектив обладает погрешностью получаемого изображения, которая выражается в нарушении подобия изображения самому предмету [18–20]. Данный показатель характеризуется фотограмметрической дисторсией. С учетом этого параметра значение координат точки K можно записать:

$$\begin{cases} x_K = x - x_0 + d_x \\ y_K = y - y_0 + d_y \\ z_K = -f \end{cases} \quad (3)$$

где d_x и d_y — поправки, компенсирующие влияние фотограмметрической дисторсии объектива.

В общем случае поправки, компенсирующие влияние фотограмметрической дисторсии объектива, можно определить, используя следующее выражение:

$$\begin{cases} d_x = x_d(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3) + (r^2 + 2x^2)p_1 + 2x_d y_d p_2 \\ d_y = y_d(r^2 k_1 + r^4 k_2 + r^6 k_3) + (r^2 + 2y^2)p_2 + 2x_d y_d p_1 \end{cases} \quad (4)$$

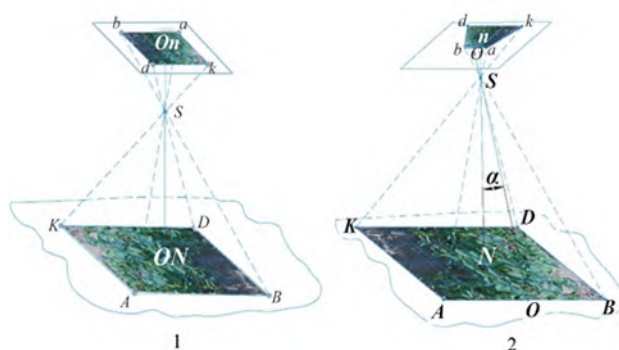
где x_d, y_d — координаты точек снимка при проведении калибровки объектива, m ; k_1, k_2, k_3 — коэффициенты радиальной дисторсии объектива; p_1, p_2 — коэффициенты тангенциальной дисторсии объектива; r — расстояние на снимке от точки центра до точки на снимке, m .

Отвесное расположение камеры подразумевает, что угол продольного наклона снимка $\alpha = 0^\circ$, а поперечный угол наклона снимка — $\omega = 90^\circ$. Однако при движении машины для проведения сортофитопроцестки овощных культур и картофеля она будет наезжать на различные неровности, что будет приводить к изменению данных углов и, как следствие, вызывать искажение контуров снимка (рис. 3).

В связи с чем для корректного определения координат центра клубневого гнезда растения картофеля необходимо учитывать значения углов внешнего ориентирования. Таким образом,

Рис. 3. Пример искажения контуров снимка при изменении углов внешнего ориентирования: 1 — изображение при отвесном положении оптической оси; 2 — искажение контуров при изменении углов внешнего ориентирования

Fig. 3. An example of distortion of the contours of an image when changing the angles of external orientation: 1 — image with a vertical position of the optical axis; 2 — distortion of contours when changing the angles of external orientation



координаты центра куста в проекции на плоскость XY можно записать в виде следующего выражения:

$$\begin{cases} x_{KI} = x_{кам1} + H \frac{\cos\beta_1(x-x_0+d_x) + \cos\beta_2(y-y_0+d_y) - \cos\beta_3f}{\cos\gamma_1'(x-x_0+d_x) + \cos\gamma_2'(y-y_0+d_y) - \cos\gamma_3'f} \\ y_{KI} = y_{кам1} + H \frac{\cos\alpha_1(x-x_0+d_x) + \cos\alpha_2(y-y_0+d_y) - \cos\alpha_3f}{\cos\gamma_1'(x-x_0+d_x) + \cos\gamma_2'(y-y_0+d_y) - \cos\gamma_3'f} \end{cases}, \quad (5)$$

где $X_{кам1}$, $Y_{кам1}$ — координаты расположения камеры первого ракурса в системе координат машины для проведения работ по сортофитопро очистке овощных культур и картофеля, м; H — высота расположения камеры над поверхностью растения картофеля, м; β_i — угол наклона снимка в поперечном направлении, град; α_i — угол наклона снимка в продольном направлении, град; γ_i — угол разворота снимка, град.

В случае попадания в кадр нескольких растений картофеля на первом ракурсе растения классифицируются по показателям к одной из групп, после чего находятся координаты центров прямоугольников каждого из растений. Затем необходимо определить расположение стеблевой массы растения, выходящей из гребня, для этого со второго ракурса производится съемка растений картофеля сбоку, то есть камера устанавливается

таким образом, чтобы направление съемки (ось OZ') было перпендикулярно направлению съемки с первого ракурса (ось OZ), ось OY' перпендикулярна OY , а ось OX' параллельна оси OX . Определение координат растений центров стеблевой массы в данном случае по следующей формуле:

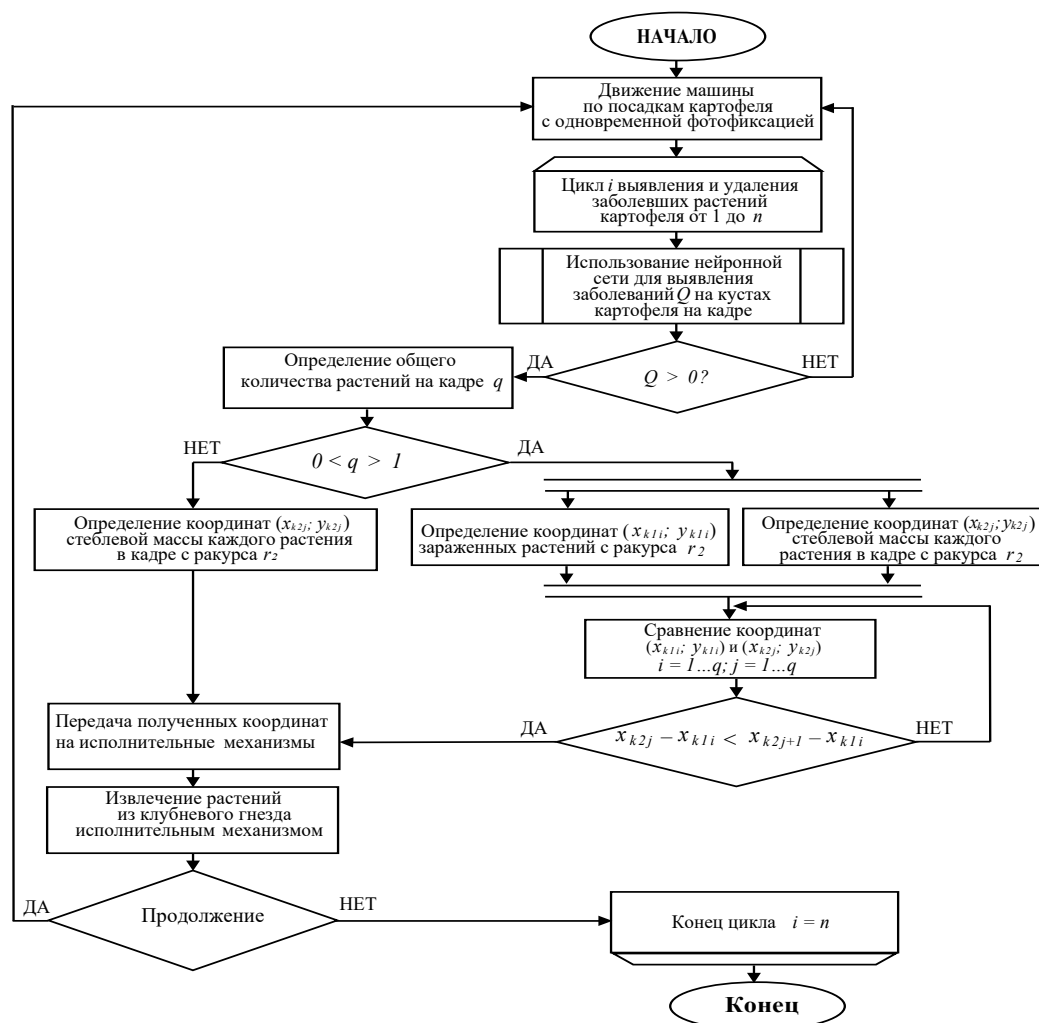
$$\begin{cases} x_{K2} = x_{кам2} + L \frac{\cos\beta_1'(x-x_0+d_x) + \cos\beta_2'(y-y_0+d_y) - \cos\beta_3'f}{\cos\gamma_1''(x-x_0+d_x) + \cos\gamma_2''(y-y_0+d_y) - \cos\gamma_3''f} \\ y_{K2} = y_{кам2} + L \frac{\cos\alpha_1'(x-x_0+d_x) + \cos\alpha_2'(y-y_0+d_y) - \cos\alpha_3'f}{\cos\gamma_1''(x-x_0+d_x) + \cos\gamma_2''(y-y_0+d_y) - \cos\gamma_3''f} \end{cases}, \quad (6)$$

где $X_{кам2}$, $Y_{кам2}$ — координаты расположения камеры второго ракурса в системе координат машины для проведения работ по сортофитопро очистке овощных культур и картофеля, м; L — дальность расположения камеры от стеблевой массы картофеля, м; f_2 — фокусное расстояние камеры второго ракурса, м; β_i' — угол наклона снимка в поперечном направлении для второго ракурса, град; α_i' — угол наклона снимка в продольном направлении для второго ракурса, град; γ_i'' — угол разворота снимка для второго ракурса, град.

На основе выражений 5 и 6 был предложен алгоритм работы комплекса по выявлению координат заболевших растений для последующего их удаления (рис. 4).

Рис. 4. Алгоритм работы комплекса по выявлению координат заболевших растений

Fig. 4. The algorithm of the complex for identifying the coordinates of diseased plants



Согласно предложенному алгоритму в начале работы машина движется по посадкам картофеля с одновременной фотофиксацией кустов картофеля, при этом запускается цикл i работы программного обеспечения, основанный на работе сверточной нейронной сети, которая определяет зараженное или не соответствующее сортовому признаку растение Q .

При выявлении растения, требующего удаления, программа определяет количество кустов, запечатленных на анализируемом кадре q . В случае если $q = 1$, происходит определение уточненных координат X_{k2j} , Y_{k2j} согласно выражению 6 на снимке стеблевой массы, сделанном со второго ракурса, после чего информация с координатами отправляется на исполнительные механизмы.

Если на анализируемом снимке с верхнего ракурса r_1 более одного куста, программой с использованием выражения 5 определяют координаты растений, требующих удаления, затем посредством выражения 6 с ракурса r_2 — координаты стеблевых масс каждого из растений. Потом определяют погрешность отклонения координаты точки, полученной с первого ракурса, от координат точек, полученных со второго ракурса

($\Delta X_K = X_{K2j} - X_{K1i}$). После этого происходит последовательное сравнение полученных отклонений.

На основании результатов проведенного сравнения определяют наименьшее из отклонений ΔX_K , а уменьшаемое значение при расчете данного отклонения будет являться искомой координатой, которую отправляют на исполнительный механизм машины. После прохождения программой n циклов (количество исследуемых кустов) алгоритм прекращает свою работу.

Выводы/Conclusions

В результате проведенных исследований теоретически обоснована необходимость создания цифровой системы идентификации инфекционных заболеваний растений картофеля для их последующего эффективного выявления и удаления.

Для корректной совместной работы системы распознавания зараженных растений картофеля и системы удаления (манипулятора) машины для проведения сортофитопро очистки овощных культур разработан алгоритм работы комплекса по выявлению координат заболевших растений для их последующего извлечения из почвы.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-76-10062 «Разработка роботизированного комплекса с цифровой системой интеллектуального управления для ухода за растениями картофеля и исследование закономерностей распространения инфекционных заболеваний в полевых условиях производства семян».

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation No. 23-76-10062 "The development of a robotic complex with a digital intelligent control system for the care of potato plants and the study of patterns of the spread of infectious diseases in the field of seed production."

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- King J.C., Slavin J.L. White Potatoes, Human Health, and Dietary Guidance. *Advances in Nutrition*. 2013; 4(3): 393S–401S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003525>
- Koch M., Naumann M., Pawelzik E., Gransee A., Thiel H. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. *Potato Research*. 2020; 63(1): 97–119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>
- Naumann M., Koch M., Thiel H., Gransee A., Pawelzik E. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>
- Зейрук В.Н., Васильева С.В., Новикова И.И., Белякова Н.А., Деревягина М.К., Белов Г.Л. Перспективы развития экологических приемов защиты картофеля от болезней и вредителей. *Аграрная наука*. 2019; (S3): 54–59. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-54-59>
- Сибирев А.В. и др. Прогнозирование уровня биологических рисков возникновения и распространения инфекционных и паразитарных заболеваний картофеля. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2024; (2): 89–95. <https://doi.org/10.31857/S2500208224020189>
- Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Аналитические исследования машинно-технологических комплексов для сортофитопро очистки посадок картофеля и овощных культур в селекции и семеноводстве. *Аграрный научный журнал*. 2022; (4): 76–82. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp76-82>

REFERENCES

- King J.C., Slavin J.L. White Potatoes, Human Health, and Dietary Guidance. *Advances in Nutrition*. 2013; 4(3): 393S–401S. <https://doi.org/10.3945/an.112.003525>
- Koch M., Naumann M., Pawelzik E., Gransee A., Thiel H. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. *Potato Research*. 2020; 63(1): 97–119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>
- Naumann M., Koch M., Thiel H., Gransee A., Pawelzik E. The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part II: Plant Nutrition and Tuber Quality. *Potato Research*. 2020; 63(1): 121–137. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09430-3>
- Zeyruk V.N., Vasilyeva S.V., Novikova I.I., Belyakova N.A., Derevyagina M.K., Belov G.L. Prospects of development of ecological methods of potato protection from diseases and pests. *Agrarian science*. 2019; (S3): 54–59 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-54-59>
- Sibirev A.V. et al. Forecasting the level of biological risks of the emergence and spread of infectious and parasitic potato diseases. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2024; (2): 89–95 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500208224020189>
- Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Analytical studies of machine-technological complexes for variety-phyto-cleaning of potato and vegetable crops in breeding and seed production. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; (4): 76–82 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp76-82>

7. Черноиванов В.И. Цифровые технологии в АПК. *Техника и оборудование для села*. 2018; (5): 2–4.
<https://www.elibrary.ru/xorbjr>
8. Измайлов А.Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве. *Вестник Российской академии наук*. 2019; 89(5): 536–538.
<https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
9. Лобачевский Я.П., Тетерин В.С., Панфёров Н.С., Пехнов С.А., Трунов М.С. Теоретические исследования рабочего органа машины для проведения сортофитопроцисток посадок картофеля. *Аграрная наука*. 2025; (3): 116–122.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-116-122>
10. Аксенов А.Г., Тетерин В.С., Овчинников А.Ю., Панферов Н.С., Пехнов С.А. Использование нейронной сети для выявления больных растений картофеля. *Аграрная наука*. 2022; (7–8): 167–171.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-167-171>
11. Воробьев Н.И., Лысов А.К., Корнилов Т.В., Хютти А.В. Вычислительная нейросеть для обработки светоотражательных спектров растений и дистанционного фитосанитарного мониторинга картофеля. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024; 25(2): 283–292.
<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.283-292>
12. Sinshaw N.T., Assefa B.G., Mohapatra S.K., Beyene A.M. Applications of Computer Vision on Automatic Potato Plant Disease Detection: A Systematic Literature Review. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022; 2022: 7186687.
<https://doi.org/10.1155/2022/7186687>
13. Tiwari D., Ashish M., Gangwar N., Sharma A., Patel S., Bhardwaj S. Potato Leaf Diseases Detection Using Deep Learning. *2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*. IEEE. 2020; 461–466.
<https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9121067>
14. Hou C. *et al.* Recognition of early blight and late blight diseases on potato leaves based on graph cut segmentation. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2021; 5: 100154.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100154>
15. Sert E. A deep learning based approach for the detection of diseases in pepper and potato leaves. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 2021; 36(2): 167–178.
<https://doi.org/10.7161/omuanajas.805152>
16. Гермак О.В., Калачева Н.А., Гугуева О.А. Возможности неметрических цифровых камер в наземной фотограмметрии. *Научное обозрение*. 2014; (7–2): 654–656.
<https://www.elibrary.ru/sziucv>
17. Пирнязова Б., Эсенова А., Гараджаев Б., Оразова А. Прикладная фотограмметрия. *Символ науки*. 2024; 3(1–1): 54–56.
<https://www.elibrary.ru/mxlfhk>
18. Ермаков Д.М., Чернушич А.П., Бернштейн М. Применение фазовой дисторсии при цифровой обработке изображений в частотной области. *Нелинейный мир*. 2009; 7(11): 861–868.
<https://www.elibrary.ru/laanvt>
19. Ежова К.В. Разложение фотограмметрической дисторсии по ортогональным полиномам Цернике. *Оптический журнал*. 2012; 79(5): 53–56.
<https://www.elibrary.ru/tpopor>
20. Бондарев В.Г., Проценко В.В., Пикалов А.С. Сравнительный анализ влияния дисторсии объектива на параметры системы технического зрения. *Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Техническое зрение и распознавание образов»*. Сборник тезисов докладов научно-технической конференции. Анапа: Военный инновационный технополис «ЭРА». 2019; 66–73.
<https://www.elibrary.ru/igvcsv>
7. Chernoiivanov V.I. Digital technologies in agribusiness. *Machinery and equipment for rural area*. 2018; (5): 2–4 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/xorbjr>
8. Izmaylov A.Yu. Smart technologies and robotic means in agricultural production. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2019; 89(5): 536–538 (in Russian).
<https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>
9. Lobachevsky Ya.P., Teterin V.S., Panferov N.S., Pehnov S.A., Trunov M.S. Theoretical research of the working element of the machine for storing phyto-sorting cleaning of salad plantings. *Agrarian science*. 2025; (3): 116–122 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-392-03-116-122>
10. Aksenov A.G., Teterin V.S., Ovchinnikov A.Yu., Panferov N.S., Pehnov S.A. Using a neural network to identify diseased potato plants. *Agrarian science*. 2022; (7–8): 167–171 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-167-171>
11. Vorobyov N.I., Lysov A.K., Kornilov T.V., Hyutti A.V. Computational neural network for processing light-reflective spectra of plants and remote phytosanitary monitoring of potatoes. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(2): 283–292 (in Russian).
<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.2.283-292>
12. Sinshaw N.T., Assefa B.G., Mohapatra S.K., Beyene A.M. Applications of Computer Vision on Automatic Potato Plant Disease Detection: A Systematic Literature Review. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022; 2022: 7186687.
<https://doi.org/10.1155/2022/7186687>
13. Tiwari D., Ashish M., Gangwar N., Sharma A., Patel S., Bhardwaj S. Potato Leaf Diseases Detection Using Deep Learning. *2020 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*. IEEE. 2020; 461–466.
<https://doi.org/10.1109/ICICCS48265.2020.9121067>
14. Hou C. *et al.* Recognition of early blight and late blight diseases on potato leaves based on graph cut segmentation. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2021; 5: 100154.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100154>
15. Sert E. A deep learning based approach for the detection of diseases in pepper and potato leaves. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 2021; 36(2): 167–178.
<https://doi.org/10.7161/omuanajas.805152>
16. Germak O.V., Kalacheva N.A., Gugueva O.A. Capabilities of non-metric digital cameras in terrestrial photogrammetry. *Science Review*. 2014; (7–2): 654–656 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/sziucv>
17. Pirniyazova B., Esenova A., Garadzhayev B., Orazova A. Applied Photogrammetry. *Simvol nauki*. 2024; 3(1–1): 54–56 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/mxlfhk>
18. Ermakov D.M., Chernushich A.P., Bernstein M. Application of phase distortion in digital image processing in the frequency domain. *Nonlinear world*. 2009; 7(11): 861–868 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/laanvt>
19. Ezhova K.V. Expansion of photogrammetric distortion in orthogonal Zernike polynomials. *Journal of Optical Technology*. 2012; 79(5): 299–301.
<https://doi.org/10.1364/JOT.79.000299>
20. Bondarev V.G., Protsenko V.V., Pikalov A.S. Comparative analysis of the effect of lens distortion on the parameters of the technical vision system. *The state and prospects of development of modern science in the field of "Technical vision and pattern recognition"*. Collection of abstracts of scientific and technical conference. Anapa: Military innovative technopolis ERA. 2019; 66–73 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/igvcsv>

ОБ АВТОРАХ

Владимир Сергеевич Тетерин

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
отдела возделывания и уборки овощных культур
открытого грунта
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

ABOUT THE AUTHORS

Vladimir Sergeevich Teterin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
at the Department of Cultivation and Harvesting
of Outdoor Vegetable Crops
v.s.teterin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8116-723X>

Николай Сергеевич Панферов

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
отдела возделывания и уборки овощных культур
открытого грунта
nikolaj-panfyorov@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-7431-7834

Алексей Юрьевич Овчинников

младший научный сотрудник отдела возделывания
и уборки овощных культур открытого грунта
aleksovchinn@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2188-1527

Сергей Александрович Пехнов

старший научный сотрудник отдела возделывания
и уборки овощных культур открытого грунта
pehnov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9471-6074

Даниил Дмитриевич Кондрахов

аспирант
TancorKondor@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0002-8971-1943

Nikolay Sergeevich Panferov

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
at the Department of Cultivation and Harvesting
of Outdoor Vegetable Crops
nikolaj-panfyorov@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-7431-7834

Alexey Yuryevich Ovchinnikov

Junior Researcher at the Department of Cultivation
and Harvesting of Outdoor Vegetable Crops
aleksovchinn@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2188-1527

Sergey Alexandrovich Pehnov

Senior Researcher at the Department of Cultivation
and Harvesting of Outdoor Vegetable Crops
pehnov@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-9471-6074

Daniil Dmitrievich Kondrakhov

Graduate Student
TancorKondor@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0002-8971-1943

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institute Passage, Moscow, 109428, Russia



СИБИРСКАЯ АГРАРНАЯ НЕДЕЛЯ

Международная агропромышленная выставка

5–7 ноября 2025

350+

компаний
принимают участие

8500+

профессиональных
посетителей

ЛИДЕРЫ РЫНКА ПРЕДСТАВЛЯЮТ

- Сельхозтехнику и оборудование.
- Технологии для растениеводства и животноводства.
- Решения для переработки, хранения и логистики.

НАЙДИТЕ СВОИХ КЛИЕНТОВ НА СИБИРСКОЙ АГРАРНОЙ НЕДЕЛЕ!

sibagroweek.ru



Место проведения :

**НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР**

Организатор:



+7 (383) 304-83-88

sibagroweek

@sibagroweek

РЕКЛАМА 0+



Е.В. Ульянова¹ ✉И.Ю. Михайлова¹К.Г. Саббатовский²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

²Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Москва, Россия

✉ k.uljanova@mail.ru

Поступила в редакцию: 24.02.2025

Одобрена после рецензирования: 10.05.2025

Принята к публикации: 25.05.2025

© Ульянова Е.В., Михайлова И.Ю., Саббатовский К.Г.

Ekaterina V. Ulyanova¹ ✉Irina Yu. Mikhailova¹Konstantin G. Sabbatovsky²

¹The All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry — Branch of V.M. Gorbato Federal Scientific Center of Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²The Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ k.uljanova@mail.ru

Received by the editorial office: 24.02.2025

Accepted in revised: 10.05.2025

Accepted for publication: 25.05.2025

© Ulyanova E.V., Mikhailova I.Yu., Sabbatovsky K.G.

Идентификационные критерии напитков на основе чая

РЕЗЮМЕ

Одним из приоритетных направлений научных исследований в области контроля качества пищевых продуктов является разработка надежных критериев, позволяющих идентифицировать их сырьевой состав.

Цели работы — апробация предложенного ранее комплексного подхода для идентификации чайного сырья в безалкогольных напитках, а также идентификация других видов растительного сырья (иван-чай и лимон).

Скрининг испытуемых образцов сначала на содержание кофеина, а затем на содержание L-теанина позволяет выявить возможные фальсификаты, содержащие, например, вместо экстракта зеленого чая экстракт иван-чая, а также отобрать образцы для дальнейших молекулярно-генетических исследований, включающих пробоподготовку и экстракцию ДНК из объектов исследования, амплификацию, эндонуклеазное расщепление ампликонов, электрофорезную детекцию ПЦР-продуктов и ПДРФ-фрагментов в агарозном геле. При этом ПЦР-продукты, амплифицированные от образцов ДНК из экстракта чая, иван-чая и мякоти лимона, расщеплялись рестриктазами *TaqI*, *BtrI* и *HinfI* на характерные фрагменты. Показано, что использованный анализ ПЦР-ПДРФ с подобранными рестриктазами *TaqI*, *BtrI* и *HinfI* позволяет идентифицировать не только чайное сырье в составе безалкогольных напитков, но и иван-чай и дополнительные компоненты, например лимон, при его совместном присутствии с чаем. В целом предложенный комплексный подход, включающий хроматографические (определение кофеина и L-теанина) и молекулярно-генетические методы (определение маркерных фрагментов ДНК чая), позволяет повысить эффективность выявления фальсифицированных безалкогольных напитков, в которых чайное сырье заменено другим растительным сырьем.

Результаты исследования демонстрируют значительный потенциал применения передовых методов анализа данных для повышения эффективности и экологичности растениеводства.

Ключевые слова: сырье для безалкогольных напитков, чайные экстракты, чайные концентраты, чай зеленый, чай черный, иван-чай, идентификационные критерии безалкогольных напитков, биохимический состав безалкогольных напитков

Для цитирования: Ульянова Е.В., Михайлова И.Ю., Саббатовский К.Г. Идентификационные критерии напитков на основе чая. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 156–161.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-156-161>

Identification criteria for tea-based beverages

ABSTRACT

One of the priority areas of scientific research in the field of quality control of food products is to develop reliable criteria to identify their raw materials composition.

The purpose of the work is to test the previously proposed integrated approach for the identification of tea raw materials in soft drinks, as well as the identification of other types of plant raw materials (willow tea and lemon).

First screening the test samples for caffeine content and then for L-theanine content allows us to identify possible counterfeits containing, for example, fireweed extract instead of green tea extract, and to select samples for further molecular genetic studies including sampling and extraction of DNA from the objects of the study, amplification, endonucleic splitting of amplicons, electrophoresis detection of PCR products and RFLP-fragments in agarose gel. At the same time, PCR products amplified from DNA samples from tea extract, fireweed and lemon pulp were split by *TAQI*, *BTRI* and *HinfI* restrictions into characteristic fragments. It is shown that the *TAQI*, *BTRI* and *HinfI* restricted PCR-RFLP used by the PCR-RFLP allows you to identify not only tea raw materials as part of non-alcoholic beverages, but also fireweed and additional components, for example, lemon, with its joint presence with tea. In general, the proposed integrated approach, including chromatographic (determination of caffeine and L-theanine) and molecular genetic methods (determining marker fragments of tea DNA), can increase the efficiency of detecting falsified non-alcoholic drinks in which tea raw materials are replaced by other plant raw materials.

Key words: raw materials for soft drinks, tea extracts, tea concentrates, green tea, black tea, fireweed, identification criteria for soft drinks, biochemical composition of soft drinks

For citation: Ulyanova E.V., Mikhailova I.Yu., Sabbatovsky K.G. Identification criteria for tea-based beverages. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 156–161 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-156-161>

Введение/Introduction

На фоне неблагоприятной экологической ситуации во многих регионах нашей страны [1] большой интерес вызывает производство продуктов питания, в том числе безалкогольных напитков на основе чая, содержащих биологически активные компоненты — катехины, аминокислоты, чайные пигменты, кофеин и чайные полисахариды [2]. Многие из них способны подавлять процессы перекисного окисления в организме человека и тем самым снижать риск возникновения ряда патологических состояний [3].

Очевидно, что для данного вида продукции особенно важен контроль соответствия заявленному составу, так как все биологически активные вещества чая вносят вклад в ее уникальные свойства. Разработка действенных методов борьбы с фальсификациями, связанными с подменой сырья, является сложной и актуальной задачей пищевой безопасности [4]. В случае безалкогольных напитков на основе чая для подтверждения их подлинности целесообразно в качестве идентификационных критериев использовать содержание специфических компонентов чая — катехинов и теанина [5–7]. Известно, что данную задачу можно решить с привлечением ДНК-технологий [8–10].

Основные методологические подходы к геноидентификации сырьевого состава безалкогольных напитков на основе чая изложены в работе ряда ученых, в которой показано, что геноидентификация сырьевого состава безалкогольных напитков на основе чая включает наработку ПЦР-продукта с праймерами, иницирующими амплификацию локуса хлоропластной ДНК чайного сырья, а также последующее проведение анализа ПЦР-ПДРФ с подобранными рестриктазами или прямое секвенирование [11].

Цели работы — апробация предложенного ранее комплексного подхода для идентификации чайного сырья в безалкогольных напитках, а также идентификация других видов растительного сырья (иван-чая и лимона).

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Работа проведена в Межотраслевом научно-техническом центре мониторинга качества пищевых продуктов Всероссийского научно-исследовательского института пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиала «ФГБНУ ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (г. Москва, Россия).

Объекты экспериментального исследования: водные экстракты зеленого чая и иван-чая; мякоть лимона; опытные образцы безалкогольных напитков: образец на основе чая черного

(монокомпонент), образец на основе чая зеленого (монокомпонент) и образец на основе зеленого чая с добавлением других видов растительного сырья; промышленные образцы безалкогольных напитков из розничной торговой сети: образец на основе зеленого чая с соком лимона, образец на основе зеленого чая с добавлением других видов растительного сырья, образец на основе иван-чая, образец на основе гуараны.

Для создания опытных образцов безалкогольных напитков на основе чая использовали ранее разработанную учеными института запатентованную базовую технологию, включающую водно-ферментно-спиртовой гидролиз смеси растительного сырья при заданных технологических параметрах, инактивирование ферментов, получение концентрата поликомпонентного¹.

Испытания образцов безалкогольных напитков проведены методом² жидкостной хроматографии на приборе Thermo Scientific Vanquish Flex UHPLC (Dionex, США) с автоматическим инжектором и диодно-матричным детектором. Определение L-теанина проводили при 37 °C в *изократическом режиме*; колонка: Merck C18 Purospher Hibar-STAR (250 × 4,6 мм, 5 мкм); подвижная фаза: 0,1%-ный водный раствор H_3PO_4 (pH 3,5). Скорость потока подвижной фазы — 0,3 мл/мин.

Детекцию L-теанина проводили при $\lambda = 210$ нм, определение кофеина — в *изократическом режиме*; колонка: Luna 5u C18 (150 × 3,0 мм, 5 мкм); подвижная фаза: ацетонитрил — 0,1%-ный водный раствор H_3PO_4 (10:90; pH 3,5). Скорость потока подвижной фазы — 0,5 мл/мин. Детекцию кофеина проводили при $\lambda = 280$ нм.

Выделение ДНК из экстрактов и безалкогольных напитков выполнено комплектом реагентов для экстракции нуклеиновых кислот из биологического материала «ДНК-сорб-С-М» («АмплиСенс», Россия).

Постановка ПЦР с экстрагированными образцами ДНК осуществлена с применением набора реактивов Encyclo Plus PCR kit («Евроген», Россия) и праймеров (#1 и #2) в термоциклере «Терцик» («ДНК-технология», Россия) в следующем режиме: ×1: 95 °C — 5 мин.; ×40: 95 °C — 10 сек., 61 °C — 10 сек., 72 °C — 10 сек.; ×1: 72 °C — 1 мин.

Процедура эндонуклеазного расщепления амплифицированных ПЦР-продуктов проведена инкубированием проб ПЦР-ПДРФ в течение 4 часов с рестриктазой TaqI (10 ед.) в 1× SE-буфере Y при 65 °C, рестриктазой BtrI (1 ед.) в 1× SE-буфере O при 60 °C, рестриктазой HinfI (5 ед.) в 1× SE-буфере O («СибЭнзим», Россия) при 37 °C.

Электрофоретическое разделение цельных и расщепленных ампликонов выполнено в камере для горизонтального электрофореза SE-1

¹ Филонова Г.Л. и др. Способ производства концентрата «Тиаква» поликомпонентного: патент № 2268627 (Российская Федерация), заявка от 02.08.2004 № 2004123369; опубл. 27.01.2006.

² Henríquez-Aedo K., Vega M., Aranda M. Evaluation of tea functionality: Determination of L-theanine content in green and black teas by liquid chromatography. Journal of the Chilean Chemical Society. 2013; 58(4): 1651–1654. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072013000400057>

(«Хеликон», Россия) с применением 2,5%-ной агарозы в окрашенном ТАЕ-буфере. Последующая визуализация электрофореграмм осуществлена в трансиллюминаторе ECH-F15.M (Vilber Lourmat, Франция).

Для обработки экспериментальных данных использовали методы математической статистики в программном обеспечении Microsoft Excel 2016 (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Ранее [12] авторами был предложен комплексный подход для идентификации чайного сырья в безалкогольных напитках. На рисунке 1 представлена схема данного подхода. Кофеин, кроме чая, содержится лишь в немногих растительных источниках: кофе, какао, падубе парагвайском (мате), падубе китайском (кудине), гуаране, коле. L-теанин — это аминокислота, которая содержится преимущественно в чайных листьях [13].

Скрининг испытуемых образцов сначала на содержание кофеина, а затем на содержание L-теанина позволяет выявить возможные фальсификаты, содержащие, например, вместо экстракта зеленого чая экстракт иван-чая, а также отобрать

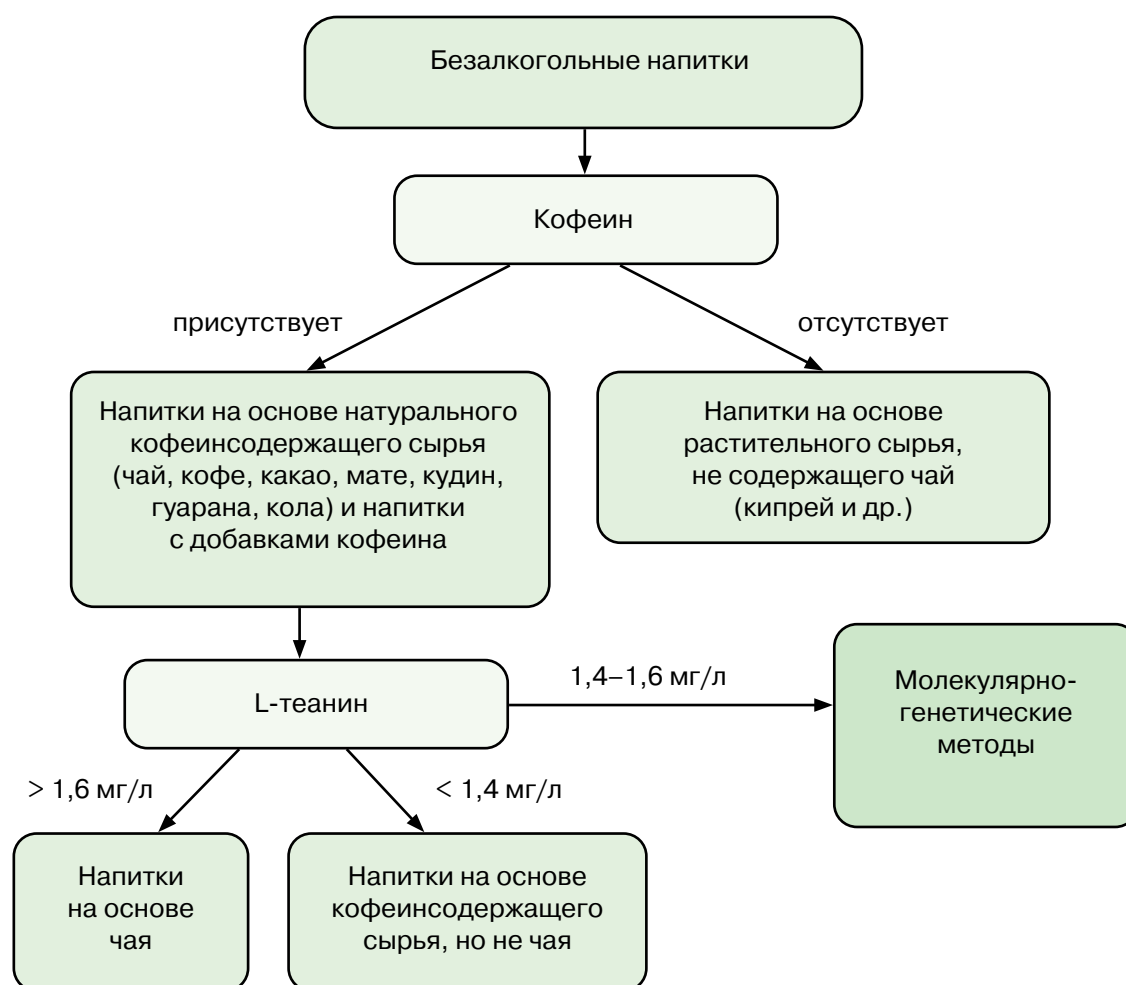
образцы для дальнейших молекулярно-генетических исследований методом ПЦР в сочетании с ПДРФ-анализом.

В таблице 1 представлены содержание кофеина и L-теанина, а также их соотношение для ряда безалкогольных напитков. Последний показатель по сравнению с предложенным ранее [12] «Концентрация L-теанина» является более чувствительным к содержанию в напитках чайного сырья. Из таблицы 1 видно, что все исследованные напитки содержат L-теанин, однако его содержание, например, в напитке на основе гуараны, значительно ниже, чем в напитках на основе чая, при этом отношение концентрации кофеина к концентрации L-теанина для напитков на основе чая находится в пределах 5–30, а для напитка на основе гуараны оно может превышать 700.

Как следует из схемы (рис. 1), если в испытуемом безалкогольном напитке присутствует кофеин и содержится L-теанин в концентрации, близкой к 1,5 мг/л (1,4–1,6 мг/л), то этот образец должен был дополнительно исследован молекулярно-генетическими методами. Промышленный напиток на основе зеленого чая и дополнительного растительного сырья (табл. 1) содержит 1,5 мг/л L-теанина. Заявленное на этикетке данного образца

Рис. 1. Комплексный подход для идентификации безалкогольных напитков на основе чая

Fig. 1. A comprehensive approach to identifying teas-based non-alcoholic beverages



дополнительное растительное сырье требует поиска в биоинформационном ресурсе GenBank NCBI⁴ нуклеотидных последовательностей локуса хлоропластной ДНК этих растений для подбора условий ПЦР-ПДРФ. Подтвердить присутствие чайного сырья в данном образце пока не удалось.

В иван-чае отсутствуют кофеин, пуриновые основания, щавелевая и мочевая кислоты — вещества, которыми богат традиционный чай (*Camellia sinensis*) и которые способствуют нарушению обмена веществ [14], поэтому напитки на основе данного сырья легко отличить от напитков на основе чая. Для этой цели можно использовать молекулярно-генетические методы, поскольку профили ПЦР-ПДРФ экстрактов чая и иван-чая, полученные при использовании рестриктаз *TaqI* и *BtrI*, различаются (рис. 2а). Вытяжки из лимона могут использоваться в качестве дополнительных компонентов при производстве безалкогольных напитков на основе чая. Поскольку профили ПЦР-ПДРФ экстрактов чая (рис. 2а) и мякоти лимона (рис. 2б), полученные при использовании рестриктазы *TaqI*, достаточно хорошо различаются (разница составляет 58 bp), то можно ожидать, что при совместном присутствии ДНК чая и

Рис. 2а. Результаты анализа ПЦР-ПДРФ образцов нуклеиновых кислот, выделенных из экстрактов чая (*Camellia sinensis*) и иван-чая (*Chamaenerion angustifolium*).
Обозначения: Экстракт чая: 1) ПЦР-продукт (297 bp); 2) *TaqI*-ПДРФ-фрагменты (259 bp); 3) *BtrI*-ПДРФ-фрагменты (194 bp); 4) *HinfI*-ПДРФ-фрагменты (200 bp). Экстракт иван-чая: 2) ПЦР-продукт (297 bp); 4) *TaqI*-ПДРФ-фрагменты (195 bp); 6) *BtrI*-ПДРФ-фрагменты (297 bp); 8) *HinfI*-ПДРФ-фрагменты (200 bp). М) Маркер длин НК (50+ bp DNA Ladder).
Fig. 2a. The results of the PCR-RFLP-analysis of nucleic acid samples secreted from tea extracts (*Camellia Sinensis*) and fireweed extracts (*Chamaenerion angustifolium*).
Designations: tea extract: 1) PCR-product (297 bp); 3) *TaqI*-RFLP-fragments (259 bp); 5) *BtrI*-RFLP-fragments (194 bp); 7) *HinfI*-RFLP-fragments (200 bp). IVANE Extract: 2) PCR-Product (297 bp); 4) *TaqI*-RFLP-fragments (195 bp); 6) *BtrI*-PDRF-fragments (297 bp); 8) *HinfI*-RFLP-fragments (200 bp). M) DNA length marker (50+ bp DNA Ladder).

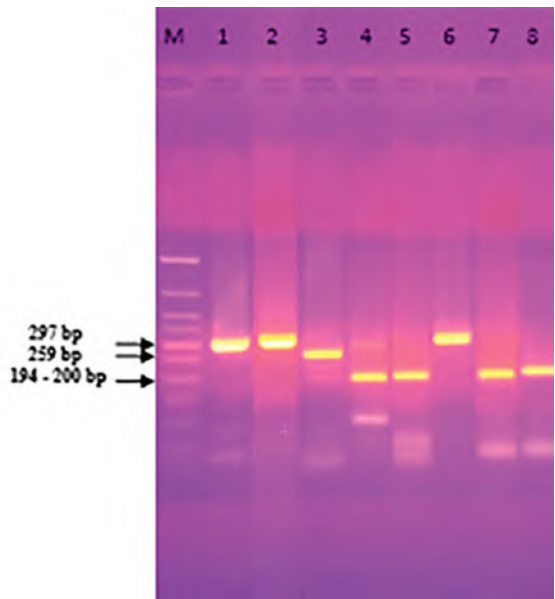
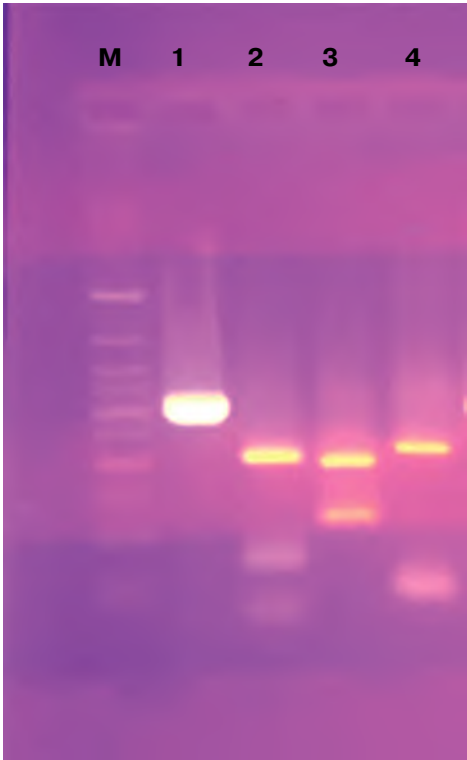


Таблица 1. Содержание кофеина и L-теанина в безалкогольных напитках в эксперименте
Table 1. Caffeine and L-theanine content in some non-alcoholic beverages

Образец	Содержание L-теанина, мг/л	Содержание кофеина, мг/л	Отношение содержания кофеин/L-теанина
Опытный напиток на основе зеленого чая	16,0±0,5	89,4±0,2	5,6
Опытный напиток на основе черного чая	17,0±0,4	92,0±0,3	5,4
Опытный напиток на основе зеленого чая и дополнительного растительного сырья	2,6±0,3	76,6±0,2	29,4
Промышленный напиток на основе зеленого чая и дополнительного растительного сырья	1,5±0,3	22,9±0,1	15,2
Промышленный напиток на основе зеленого чая с соком лимона	5,0±0,1	58,0±0,4	11,6
Промышленный напиток на основе иван-чая	0,9±0,2	0	0
Промышленный напиток на основе гуараны	0,6±0,1	443,3±0,5	738,8

Рис. 2б. Результаты анализа ПЦР-ПДРФ образцов нуклеиновых кислот, выделенных из мякоти лимона (*Citrus limon*).
Обозначения: 1) ПЦР-продукт (312 bp); 2) *TaqI*-ПДРФ-фрагменты (201 bp); 3) *BtrI*-ПДРФ-фрагменты (194 bp); 4) *HinfI*-ПДРФ-фрагменты (215 bp); М) Маркер длин ДНК (50+ bp DNA Ladder).
Fig. 2b. The results of PCR-RFLP-analysis of nucleic acid samples secreted from lemon pulp (*Citrus Limon*).
Designations: 1) PCR-product (312 bp); 2) *TaqI*-RFLP-fragments (201 bp); 3) *BtrI*-RFLP-fragments (194 bp); 4) *HinfI*-RFLP-fragments (215 bp); M) DNA length marker (50+ bp DNA Ladder).



³ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>

лимона в безалкогольном напитке их можно будет идентифицировать.

Следует отметить, что в результате анализа ПЦР-ПДРФ образцов нуклеиновых кислот, выделенных из экстрактов чая (*Camellia sinensis*), иван-чая (*Chamaenerion angustifolium*) и мякоти лимона (*Citrus limon*), получены фрагменты, полностью совпадающие с теоретически рассчитанными [9], что подтверждает происхождение исследованных экстрактов из соответствующих видов растительного сырья.

На рисунке 3 представлены результаты анализа ПЦР-ПДРФ образцов нуклеиновых кислот, выделенных из промышленных образцов напитков на основе чая с экстрактом лимона и на основе иван-чая, приобретенных в розничной торговой сети. Видно, что в данных напитках идентифицируются соответствующие фрагменты, характерные для чая, лимона и иван-чая (рис. 2а и 2б), причем в случае напитка на основе чая и экстракта лимона оба компонента обнаруживаются при совместном присутствии.

В результате данной работы удалось подтвердить присутствие чайного сырья в четырех образцах и его отсутствие в двух образцах. В одном образце не удалось подтвердить присутствие чайного сырья, вероятно, из-за мешающего влияния содержащегося в нем другого растительного сырья. Или же данный образец является фальсификатом. Кроме того, подтверждено молекулярно-генетическим методом присутствие иван-чая в составе сырья одного образца и присутствие лимона (совместно с чаем) в составе одного образца. Таким образом, в процессе работы не только идентифицирован чай в составе безалкогольных напитков, но и два вида другого растительного сырья — иван-чай и лимон причем лимон идентифицирован при совместном присутствии с чаем.

Выводы/Conclusions

Предложенный ранее комплексный подход для идентификации безалкогольных напитков на основе чая, включающий хроматографические (определение кофеина и L-теанина) и молекулярно-генетические (определение маркерных фрагментов ДНК чая) методы, протестирован на ряде опытных и промышленных безалкогольных напитков.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каспров Ю.А. Экологически неблагоприятные территории: проблемы правовой дефиниции. *Труды Института государства и права Российской академии наук*. 2014; (2): 114–123. <https://elibrary.ru/sdchef>
2. Wei Y. *et al.* Green preparation, safety control and intelligent processing of high-quality tea extract. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024; 64(31): 11468–11492. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2239348>

Рис. 3. Результаты анализа ПЦР-ПДРФ образцов нуклеиновых кислот, выделенных из напитков, приобретенных в розничной торговой сети, на основе зеленого чая с соком лимона (1, 2, 3) и на основе иван-чая (4, 5). Обозначения: 1) Контроль ДНК чая (297 bp); 2) *BtrI*-ПДРФ-фрагменты (194 bp); 3) *TaqI*-ПДРФ-фрагменты (201 и 259 bp); 4) *TaqI*-ПДРФ-фрагменты (195 bp); 5) *BtrI*-ПДРФ-фрагменты (297 bp); M) Маркер длин ДНК (50+ bp DNA Ladder).

Fig. 3. The results of the PCR-RFLP-analysis of samples of nucleic acids are allocated from drinks purchased in the retail network, based on green tea with lemon juice (1, 2, 3) and based on fireweed (4, 5).

Designations: 1) Tea DNA control (297 bp); 2) *BtrI*-RFLP-fragments (194 bp) 3) *TaqI*-RFLP-fragments (201 и 259 bp); 4) *TaqI*-RFLP-fragments (195 bp); 5) *BtrI*-RFLP-fragments (297 bp); M) DNA length marker (50+ bp DNA Ladder).



Показано, что использованный анализ ПЦР-ПДРФ с подобранными рестриктазами *TaqI*, *BtrI* и *HinfI* позволяет идентифицировать не только чайное сырье (*Camellia sinensis*) в составе безалкогольных напитков, но и иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*) и дополнительные компоненты, например лимон (*Citrus limon*), при его совместном присутствии с чаем.

Данная работа имеет практическое значение, поскольку позволяет дифференцировать растительное сырье безалкогольных напитков, тем самым повышая эффективность выявления фальсифицированной продукции.

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. Kasprova Yu.A. Environmentally unfavourable territories: problems of right definition. *Proceedings of the Institute of State and Law of the RAS*. 2014; (2): 114–123 (in Russian). <https://elibrary.ru/sdchef>
2. Wei Y. *et al.* Green preparation, safety control and intelligent processing of high-quality tea extract. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024; 64(31): 11468–11492. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2239348>

3. Kolonas A. *et al.* Antioxidant and Antibacterial Properties of a Functional Sports Beverage Formulation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(4): 3558. <https://doi.org/10.3390/ijms24043558>

4. Петров А.Н., Ханферьян Р.А., Галстян А.Г. Актуальные аспекты противодействия фальсификации пищевых продуктов. *Вопросы питания*. 2016; 85(5): 86–92. <https://elibrary.ru/wymstot>

5. Большаков Д.С., Кочетова А.Н., Подколзин И.В. Современные методы определения подлинности пищевых продуктов. *Труды Федерального центра охраны здоровья животных*. 2020; 17: 257–299. <https://elibrary.ru/rirheb>

6. Rothwell J.A. *et al.* Biomarkers of intake for coffee, tea, and sweetened beverages. *Genes & Nutrition*. 2018; 13: 15. <https://doi.org/10.1186/s12263-018-0607-5>

7. Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P. Food Chemistry. Berlin; Heidelberg: Springer. 2009; XLIV: 1070. ISBN 978-3-540-69933-0 <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69933-0>

8. De Castro O. *et al.* Correction: What is in your cup of tea? *DNA Verity Test* to characterize black and green commercial teas. *PLoS ONE*. 2018; 13(1): e0192334. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192334>

8. De Castro O. *et al.* What is in your cup of tea? *DNA Verity Test* to characterize black and green commercial teas. *PLoS ONE*. 2017; 12(5): e0178262. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178262>

9. Ujihara T. Hayashi N. Tanaka J. Identification of Material Cultivar of Green Tea Infusions by Simple Sequence Repeat Markers. *Food Science and Technology Research*. 2012; 18(2): 209–217. <https://doi.org/10.3136/fstr.18.209>

10. Faller A.C. *et al.* DNA Quality and Quantity Analysis of *Camellia sinensis* Through Processing from Fresh Leaves to a Green Tea Extract. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. 2019; 102(6): 1798–1807. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0318>

11. Вафин Р.Р., Михайлова И.Ю., Агейкина И.И. Методологические подходы к генотипификации чайного сырья и сырьевого состава безалкогольных напитков на основе чая. *Пищевые системы*. 2024; 7(2): 282–287. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-282-287>

12. Вафин Р.Р., Михайлова И.Ю., Агейкина И.И. Комплексный подход для идентификации безалкогольных напитков на основе чая. *Пищевая промышленность*. 2024; (12): 106–109. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.12.12.021>

13. Henríquez-Aedo K., Vega M., Aranda M. Evaluation of tea functionality: Determination of L-theanine content in green and black teas by liquid chromatography. *Journal of the Chilean Chemical Society*. 2013; 58(4): 1651–1654. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072013000400057>

14. Иринина О.И., Елисеева С.А. Изучение биохимического состава и лечебных свойств растения кипрей узколистный (иван-чай). *Ползуновский вестник*. 2021; (2): 44–54. <https://elibrary.ru/wmljmg>

3. Kolonas A. *et al.* Antioxidant and Antibacterial Properties of a Functional Sports Beverage Formulation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24(4): 3558. <https://doi.org/10.3390/ijms24043558>

4. Petrov A.N., Khanferyan R.A., Galstyan A.G. Current aspects of counteraction of foodstuff's falsification. *Problems of nutrition*. 2016; 85(5): 86–92 (in Russian). <https://elibrary.ru/wymstot>

5. Bolshakov D.S., Kochetova A.N., Podkolzin I.V. Contemporary techniques for food authentication. *Proceedings of the Federal Center for animal health*. 2020; 17: 257–299 (in Russian). <https://elibrary.ru/rirheb>

6. Rothwell J.A. *et al.* Biomarkers of intake for coffee, tea, and sweetened beverages. *Genes & Nutrition*. 2018; 13: 15. <https://doi.org/10.1186/s12263-018-0607-5>

7. Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P. Food Chemistry. Berlin; Heidelberg: Springer. 2009; XLIV: 1070. ISBN 978-3-540-69933-0 <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69933-0>

8. De Castro O. *et al.* Correction: What is in your cup of tea? *DNA Verity Test* to characterize black and green commercial teas. *PLoS ONE*. 2018; 13(1): e0192334. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192334>

8. De Castro O. *et al.* What is in your cup of tea? *DNA Verity Test* to characterize black and green commercial teas. *PLoS ONE*. 2017; 12(5): e0178262. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178262>

9. Ujihara T. Hayashi N. Tanaka J. Identification of Material Cultivar of Green Tea Infusions by Simple Sequence Repeat Markers. *Food Science and Technology Research*. 2012; 18(2): 209–217. <https://doi.org/10.3136/fstr.18.209>

10. Faller A.C. *et al.* DNA Quality and Quantity Analysis of *Camellia sinensis* Through Processing from Fresh Leaves to a Green Tea Extract. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*. 2019; 102(6): 1798–1807. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0318>

11. Vafin R.R., Mikhailova I.Yu., Ageykina I.I. Methodological approaches to gene identification of tea raw materials and raw material composition of tea-based soft drinks. *Food systems*. 2024; 7(2): 282–287 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-282-287>

12. Vafin R.R., Mikhaylova I.Yu., Ageykina I.I. Integrated approach for tea-based soft drinks identification. *Food industry*. 2024; (12): 106–109 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.12.12.021>

13. Henríquez-Aedo K., Vega M., Aranda M. Evaluation of tea functionality: Determination of L-theanine content in green and black teas by liquid chromatography. *Journal of the Chilean Chemical Society*. 2013; 58(4): 1651–1654. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072013000400057>

14. Irinina O.I., Eliseeva S.A. The study of biochemical composition and medicinal properties of the plant *Epilobium angustifolium* (fireweed). *Polzunovskiy vestnik*. 2021; (2): 44–54 (in Russian). <https://elibrary.ru/wmljmg>

ОБ АВТОРАХ

Екатерина Владимировна Ульянова¹

кандидат химических наук

k.uljanova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7112-1614>

Ирина Юрьевна Михайлова¹

научный сотрудник

irina-mikhailova54@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9180-1043>

Константин Георгиевич Саббатовский²

кандидат химических наук

sabbat07@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0201-8725>

¹Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук ул. Россолимо, 7, Москва, 119021, Россия

²Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Ленинский пр-т, 31, корп. 4, Москва, 119071, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Ekaterina Vladimirovna Ulyanova¹

Candidate of Chemical Sciences

k.uljanova@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7112-1614>

Irina Yurievna Mikhailova¹

Research Assistant

irina-mikhailova54@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9180-1043>

Konstantin Georgievich Sabbatovskiy²

Candidate of Chemical Sciences

sabbat07@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0201-8725>

¹The All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry — Branch of V.M. Gorbato Federal Scientific Center of Food Systems of the Russian Academy of Sciences 7 Rossolimo Str., Moscow, 119021, Russia

²The Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences, 31/4 Leninsky prospect, Moscow, 119021, Russia

УДК004.42:633.7

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-162-166

А.И. Капитанов*Национальный исследовательский университет «МИЭТ», Москва, Россия*

✉ andrey@kapdx.ru

Поступила в редакцию: 06.04.2025

Одобрена после рецензирования: 16.05.2025

Принята к публикации: 30.05.2025

© Капитанов А.И.

Short communications



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-162-166

Andrey I. Kapitanov*National Research University
“MIET”, Moscow, Russia*

✉ andrey@kapdx.ru

Received by the editorial office: 06.04.2025

Accepted in revised: 16.05.2025

Accepted for publication: 30.05.2025

© Kapitanov A.I.

Эффективные методы адаптации LLM к доменной специфике аграрного бизнеса

РЕЗЮМЕ

В статье рассматриваются актуальные проблемы применения больших языковых моделей (LLM) в сфере аграрного бизнеса и предлагаются современные подходы к их решению. Несмотря на высокую эффективность LLM в обработке естественного языка, их адаптация к задачам аграрной отрасли связана с рядом сложностей. Ключевые проблемы включают формирование специализированных обучающих корпусов, баланс между качеством ответов и вычислительными затратами, объективную оценку качества моделей и их интеграцию в существующие аграрные информационные системы. Рассматриваются практические подходы к решению этих проблем, включая дообучение моделей на специализированных данных, методы оптимизации вычислений и применение гибридных архитектур (в частности, RAG). Анализируются основные направления применения LLM: генерация текстовых данных, улучшение поисковых систем, анализ пользовательских отзывов и автоматизация клиентской поддержки. Исследование направлено на повышение точности, релевантности и персонализации ответов моделей в задачах прогноза, анализа и автоматизации процессов в сельском хозяйстве. Предложенные решения способствуют эффективному внедрению LLM в инфраструктуру аграрного сектора, улучшая качество принятия решений, прогнозирование и автоматизацию бизнес-процессов

Ключевые слова: LLM, fine-tuning, RAG, семантический поиск, адаптация модели, персонализация, генеративные модели

Для цитирования: Капитанов А.И. Эффективные методы адаптации LLM к доменной специфике аграрного бизнеса. *Аграрная наука*. 2025; 395 (06): 162–166.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-162-166>

Effective Methods for Adapting LLM to the Agricultural Business Domain

ABSTRACT

The article discusses the current challenges of applying large language models (LLMs) in the agricultural business sector and proposes modern approaches to address these issues. Despite the high effectiveness of LLMs in natural language processing, their adaptation to the tasks of the agricultural industry involves a number of difficulties. Key problems include the formation of specialized training corpora, balancing the quality of responses with computational costs, objective evaluation of model quality, and their integration into existing agricultural information systems. Practical approaches to solving these problems are discussed, including fine-tuning models on specialized data, computational optimization methods, and the use of hybrid architectures (in particular, RAG). The main areas of LLM application are also analyzed: text generation, search engine improvement, analysis of user reviews, and customer support automation. The research aims to improve the accuracy, relevance, and personalization of model responses in tasks related to forecasting, analysis, and automation of processes in agriculture. The proposed solutions contribute to the effective integration of LLMs into the infrastructure of the agricultural sector, enhancing decision-making quality, forecasting, and business process automation

Key words: LLM, fine-tuning, RAG, semantic search; model adaptation, personalization, generative models

For citation: Kapitanov A.I. Effective Methods for Adapting LLM to the Agricultural Business Domain. *Agrarian science*. 2025; 395 (06): 162–166 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-162-166>

Введение/Introduction

Современные LLM демонстрируют высокую эффективность в обработке естественного языка, однако их применение в аграрном бизнесе связано со следующими ключевыми проблемами. LLM создают новые возможности в области обработки естественного языка и искусственного интеллекта благодаря их способности решать новые задачи без дополнительного обучения [1]. Однако особенности данных, в частности данные о сельскохозяйственных товарах, отзывы фермеров, климатические условия и отчеты о состоянии почвы, требуют особой обработки, поскольку эти данные обладают нетривиальной структурой и терминологией. Кроме того, важную роль играет актуальность данных в аграрном бизнесе: информация о погодных условиях, урожайности, ценах на сельхозпродукцию и изменениях в законодательстве постоянно обновляется. Однако большинство LLM не имеют доступа к таким динамичным данным, что ограничивает их применение для генерации актуальных и точных ответов в аграрной сфере.

Методы адаптации LLM, такие как fine-tuning и LoRA, требуют значительных вычислительных ресурсов [2] и не всегда подходят для оперативного внедрения, в то время как стандартные подходы, применяющие вероятностную функцию ранжирования BM25 или dense retrieval, имеют свои ограничения: BM25 плохо работает с синонимами и переформулированными предложениями, а dense retrieval не всегда «воспринимает» тонкие семантические различия. Техники prompt engineering эффективны, однако требуют затрат на ручной подбор формулировок, что снижает масштабируемость. Кроме того, проблемы, связанные с качеством обучающих данных и трудностью оценки моделей с точки зрения реальных потребностей бизнеса, делают процесс адаптации еще более сложным.

LLM предоставляют широкие возможности для автоматизации и персонализации взаимодействия с фермерами и агробизнесом. Они активно применяются для автоматической генерации контента: описаний сельскохозяйственных товаров, маркетинговых материалов (в частности, рекламных текстов и емейл-рассылок для фермеров), а также локализации контента с учетом региональных и климатических различий. Это значительно упрощает работу с аграрным контентом и повышает его релевантность для различных целевых групп и рынков.

Применение больших языковых моделей повышает качество поиска и рекомендаций, внедряя семантический поиск, который анализирует смысл запросов, связанных с сельским хозяйством, а не только ключевые слова. Модели предоставляют персонализированные рекомендации на основе поведения пользователей и их историй покупок. Кроме того, LLM помогают улучшить структуру каталогов товаров, автоматизируя их

категоризацию, что облегчает навигацию и индексацию для фермеров и агробизнеса. Чат-боты и голосовые ассистенты обеспечивают быстрые ответы на запросы пользователей, помогают с выбором товаров, отслеживанием поставок и решением вопросов по возвратам.

В сфере анализа отзывов и поведения пользователей LLM помогают анализировать обратную связь, классифицируя отзывы по тональности и выявляя ключевые темы [3–5], что позволяет оперативно реагировать на проблемы и улучшать продукцию. Модели способны выявлять тренды и прогнозировать предпочтения клиентов на основе данных социальных сетей и отзывов, что помогает адаптировать ассортимент и маркетинговые стратегии.

Таким образом, применение LLM в аграрном бизнесе позволяет сделать платформы более персонализированными и эффективными, улучшая качество обслуживания и повышая конверсию.

Цель исследования — оценить возможности применения больших языковых моделей (LLM) для автоматизации контент-генерации, персонализации сервисов и аналитики в агробизнесе с целью повышения эффективности цифровых платформ АПК.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для адаптации моделей применяют различные методы fine-tuning. Полное дообучение всех параметров в формализованном виде представляется как задача минимизации функции потерь:

$$\theta^* = \arg \min \sum^N L(f_{\theta}(x_i), y_i),$$

где θ — параметры модели, x_i — входные данные, y_i — ожидаемые выходные данные, L — функция потерь.

Для сокращения вычислительных затрат применяют методы параметрической адаптации, такие как LoRA и PEFT, позволяющие изменять только небольшие адаптационные матрицы. Такой подход снижает требования к памяти и ускоряет обучение. Метод instruction tuning улучшает контекстное представление ответов за счет обучения модели на размеченных примерах с инструкциями.

Для повышения актуальности ответов LLM применяют метод RAG, который сочетает генеративные возможности модели с доступом к внешним источникам информации [6]. В контексте аграрного бизнеса это особенно полезно при обработке клиентских запросов, требующих оперативного доступа к характеристикам товаров, данным о наличии и ценах. Интеграция LLM с базами знаний и товарными каталогами позволяет обеспечивать актуальные и персонализированные рекомендации, учитывая динамические изменения в ассортименте, ценах и наличии товаров. В этом

процессе важную роль играют векторные базы данных, которые используют метод ближайших соседей (kNN) для быстрого поиска релевантной информации.

Помимо методов дообучения, улучшение качества генерации возможно без изменения параметров модели. Оптимизация промптов, включая подходы zero-shot и few-shot, позволяет корректировать поведение модели на этапе запроса [7].

Дополнительные методы, такие как Chain-of-Thought, помогают модели «рассуждать» пошагово, а ReAct объединяет генерацию и взаимодействие с внешними инструментами для динамического поиска информации. Метод Self-Consistency в свою очередь позволяет оценивать несколько вариантов ответа и выбирать наиболее вероятный [8].

Эффективная адаптация LLM достигается при комбинировании нескольких подходов. Гибридные модели, совмещающие fine-tuned LLM и RAG, обеспечивают высокую точность ответов и актуальность данных без необходимости частого переобучения. Комплексный подход к адаптации LLM делает ее мощным инструментом для повышения качества клиентского сервиса и оптимизации бизнес-процессов. Применение комбинации fine-tuning, RAG, векторных баз данных и методов промпт-инжиниринга позволяет моделям не только эффективно понимать запросы пользователей, но и предоставлять точные, персонализированные и актуальные ответы.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Оценка качества адаптации LLM к аграрному бизнесу требует комплексного подхода, сочетающего традиционные NLP-метрики и бизнес-ориентированные показатели. При анализе генеративных моделей учитываются точность совпадений с эталонными ответами, полнота и связность текстов, а также способность модели учитывать синонимы и морфологию. Особое внимание уделяется релевантности первых позиций в выдаче, что критично для систем поиска и рекомендаций.

Количественные метрики не всегда отражают восприятие пользователями. Высокие значения полученных метрик не гарантируют, что модель создает убедительные и информативные описания товаров. Поэтому автоматический анализ дополняется ручной проверкой, включающей экспертную оценку соответствия ответа контексту, естественности текста и его полезности для потребителей. Важными аспектами становятся точность передачи характеристик товаров, корректность рекомендаций и отсутствие дезинформирующих генераций.

Ручная экспертная оценка дополняет автоматические метрики, позволяя учесть субъективные факторы, такие как удобочитаемость текста и его соответствие пользовательским ожиданиям. Конечные пользователи оценивают, насколько ответ

соответствует запросу, легко ли он воспринимается и насколько он способствует принятию решений. Такой подход особенно важен при создании описаний товаров и персонализированных предложений.

Окончательная проверка качества адаптации модели проводится через A/B-тестирование. Этот метод помогает определить влияние модели на ключевые бизнес-метрики: конверсию, средний чек и коэффициент отказов. Анализируются поведенческие паттерны, включая изменение времени на странице, глубину просмотра каталога и реакцию пользователей на представленные рекомендации. Дополнительно внедряются механизмы обратной связи, позволяющие пользователям оценивать релевантность ответов.

Совмещение автоматических метрик, экспертных оценок и анализа поведения пользователей позволяет наиболее точно определить, насколько успешно модель адаптирована к специфике аграрной отрасли. Такой подход обеспечивает не только количественное, но и качественное понимание ее эффективности в реальных условиях.

Для объективной оценки качества текстов, полученных после адаптации модели, проведен автоматический анализ с применением метрик *BLEU*, *ROUGE*, *METEOR* и *BERTScore*. Данные показатели позволяют оценить степень совпадения сгенерированных описаний товаров с эталонными текстами, выявляя различия на уровне точности, полноты, морфологической близости и семантической эквивалентности.

Анализ проводили на выборке описаний сельскохозяйственных товаров, включающей оригинальные тексты, а также их сгенерированные версии до и после применения гибридного подхода к адаптации модели. На первом этапе оценивали качество текстов, созданных базовой моделью, после чего проводили дообучение на специализированных данных о товарах. Повторная генерация проходила аналогичную проверку. В качестве базовой модели (baseline) применяли Mixtral 8x7B (лицензия Apache 2.0, США). Оригинальные данные получены из открытых источников и включали в себя наименования и описания товаров, которые рассматривали в качестве эталонных. Всего собрано 100 тыс. товарных позиций, представляющих широкий спектр категорий, что позволило обеспечить разнообразие входных данных и повысить обобщаемость модели.

Метрика *BLEU* измеряет точность совпадений n -грамм между сгенерированным текстом и эталонным описанием. Она рассчитывается следующим образом:

$$BLEU = BP \times \exp\left(\sum_{n=1}^N w_n \log p_n\right),$$

где: p_n — доля n -грамм в сгенерированном тексте, найденных в эталонном описании; w_n — вес соответствующей n -граммы; BP — штраф за слишком короткие тексты.

Метрика *ROUGE* оценивает полноту генерации, анализируя покрытие фраз из эталонного текста. Для *ROUGE-N* значение рассчитывается по формуле [9]:

$$ROUGEN = \frac{\sum_{s \in \{RefSum\}} \sum_{g \in \{gram_n\}} Count_{match}(gram_n)}{\sum_{s \in \{RefSum\}} \sum_{g \in \{gram_n\}} Count(gram_n)},$$

где n — размер n -граммы.

По аналогии с обычными метриками *BERTScore* вычисляет оценку сходства для каждой лексемы в сгенерированном предложении с каждой лексемой в эталонном предложении [10]. *METEOR* учитывает морфологические преобразования, такие как синонимы и разные формы слов. Она рассчитывается на основе F -меры, но с учетом точности и полноты:

$$METEOR = F_{mean} \times (1 - penalty),$$

где F_{mean} — гармоническое среднее точности и полноты, $penalty$ — штраф за неправильный порядок слов и разрывы в совпадениях.

Результаты эксперимента показали, что адаптация модели привела к улучшению качества сгенерированных товарных описаний. Увеличение показателя, отражающего способность модели учитывать синонимы, свидетельствует о более точном восприятии языковых вариаций, а повышение другого показателя указывает на улучшение семантической близости между эталонными и сгенерированными текстами.

Однако автоматические методы оценки имеют свои ограничения: они ориентированы на точные совпадения, что не всегда отражает естественность текста, а также зависят от характеристик предобученных моделей. Поэтому в дальнейшем анализ должен включать экспертную разметку и А/В-тестирование, что позволит более полно оценить эффективность адаптированной модели в реальных условиях аграрного бизнеса.

Таблица. Результаты экспериментальной оценки качества модели

Table. Results of the experimental evaluation of the model quality

Метрика	Baseline	Адаптированная модель
BLEU	0,1592	0,1628
ROUGE	0,4632	0,5461
BERTScore	0,8285	0,8523
METEOR	0,4658	0,5325

Выводы/Conclusions

В результате анализа существующих методов выявлено, что гибридные методы, включающие в себя fine-tuning, RAG, векторные базы данных и техники prompt engineering, наиболее эффективны при адаптации LLM для применения в аграрном бизнесе. Данные методы не только улучшают понимание специфической терминологии, но и повышают точность и актуальность выдачи информации. Fine-tuning, включая LoRA и PEFT, позволяют снижать вычислительные затраты, а применение RAG дает возможность оперативного доступа к динамическим данным. Техники prompt engineering, такие как Chain-of-Thought и Self-Consistency, улучшат генерацию текстов без необходимости изменять вес модели.

Важно дополнить объективные метрики экспертной оценкой и анализом пользовательского опыта для более точного соответствия бизнес-задачам. А/В-тестирование и обратная связь помогают измерить влияние на ключевые показатели, такие как конверсия и удовлетворенность клиентов.

Таким образом, комплексный подход к адаптации LLM повышает их ценность для автоматизации и персонализации взаимодействия в аграрном бизнесе, а дальнейшие исследования нацелены на совершенствование методов адаптации и расширение возможностей этих моделей в сельском хозяйстве.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Pan S., Luo L., Wang Y., Chen C., Wang J., Wu X. Unifying Large Language Models and Knowledge Graphs: A Roadmap. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 2024; 36(7): 3580–3599. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2024.3352100>
- Hu E.J. et al. LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models. *arXiv*. 2106.09685. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.09685>
- Feldman P., Dant A., Foulds J.R., Pan S. Polling Latent Opinions: A Method for Computational Sociolinguistics Using Transformer Language Models. *arXiv*. 2204.07483. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.07483>
- Rusnachenko N., Golubev A., Loukachevitch N. Large Language Models in Targeted Sentiment Analysis for Russian. *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2024; 45(7): 3148–3158. <https://doi.org/10.1134/S1995080224603758>
- Krishnan A. Exploring the Power of Topic Modeling Techniques in Analyzing Customer Reviews: A Comparative Analysis. *arXiv*. 2308.11520. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.11520>

6. Lewis P. *et al.* Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. *arXiv*. 2005.11401. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.11401>
7. Chamieh I., Zesch T., Giebertmann K. LLMs in Short Answer Scoring: Limitations and Promise of Zero-Shot and Few-Shot Approaches. *Proceedings of the 19th Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications (BEA 2024)*. Association for Computational Linguistics. 2024; 309–315.
8. Chen X. *et al.* Universal Self-Consistency for Large Language Model Generation. *arXiv*. 2311.17311. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.17311>
9. Lin C.-Y. ROUGE: A Package for Automatic Evaluation of Summaries. *Text Summarization Branches Out*. Association for Computational Linguistics. 2004; 74–81.
10. Zhang T., Kishore V., Wu F., Weinberger K.Q., Artzi Y. BERTScore: Evaluating Text Generation with BERT. *arXiv*. 1904.09675. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1904.09675>
11. Banerjee S., Lavie A. METEOR: An Automatic Metric for MT Evaluation with Improved Correlation with Human Judgments. *Proceedings of the ACL Workshop on Intrinsic and Extrinsic Evaluation Measures for Machine Translation and (or) Summarization*. Association for Computational Linguistics. 2005; 65–72.

ОБ АВТОРАХ

Андрей Иванович Капитанов

кандидат технических наук, доцент
andrey@kapdx.ru

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
пл. Шокина, 1, Москва, 124498, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Ivanovich Kapitanov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
andrey@kapdx.ru

National Research University "MIET",
1 Shokina Square, Moscow, 124498, Russia

АГРАРНАЯ НАУКА

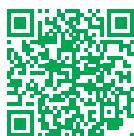
AGRARIAN SCIENCE

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



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

Ознакомиться с информацией о перечне специальностей ВАК и итоговом распределении журналов по категориям можно здесь:



Приравнивание научных журналов, входящих в наукометрические базы данных, к журналам Перечня ВАК с распределением по категориям:



Согласно приведенным данным, журнал «Аграрная наука» относится к категории К1.

Подобную информацию о журнале можно получить у научного редактора М.Н. Долгой
+7 (495) 777 67 67 (доб. 1453)
dolgaya@vicgroup.ru

Реклама

УДК 631.1:004.9

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171

Н.Л. Красюкова

Финансовый университет при
Правительстве Российской
Федерации, Москва, Россия

✉ NLKrasnyukova@fa.ru

Поступила в редакцию: 06.04.2025

Одобрена после рецензирования: 16.05.2025

Принята к публикации: 30.05.2025

© Красюкова Н.Л.

Short communications



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171

Natalia L. Krasnyukova

Financial University under
the Government of the Russian
Federation, Moscow, Russia

✉ SGEremin@fa.ru

Received by the editorial office: 06.04.2025

Accepted in revised: 16.05.2025

Accepted for publication: 30.05.2025

© Krasnyukova N.L.

Использование блокчейн-технологии и больших данных для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок

РЕЗЮМЕ

Данная статья посвящена исследованию потенциала применения блокчейна и анализа больших данных для повышения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок. Рассматривается проблема недостаточной прозрачности и надежности информации об источниках происхождения, качестве и безопасности сельскохозяйственной продукции. Предлагается концептуальная модель интеграции блокчейн-платформы и методов интеллектуального анализа данных для формирования децентрализованной системы регистрации и верификации информации о продуктах питания «от поля до прилавка». На основе эмпирических данных, полученных в ходе экспертного опроса и моделирования бизнес-процессов, обосновывается организационно-экономический механизм имплементации предложенного подхода. Делается вывод, что использование блокчейна и больших данных способно существенно увеличить доверие потребителей, сократить транзакционные издержки, минимизировать риски фальсификации, содействовать внедрению ответственных практик и реализации целей устойчивого развития в агропродовольственном секторе.

Ключевые слова: блокчейн, большие данные, прослеживаемость, агропродовольственные цепочки поставок, устойчивое развитие

Для цитирования: Красюкова Н.Л. Использование блокчейн-технологии и больших данных для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 167–171

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171>

Using blockchain technology and big data to ensure the traceability and sustainability of agri-food supply chains

ABSTRACT

This article explores the potential of blockchain and big data analytics for enhancing traceability and sustainability in agri-food supply chains. It addresses the challenges of insufficient transparency and reliability in tracking the origin, quality, and safety of agricultural products. The study proposes a conceptual model integrating blockchain platforms with intelligent data analysis methods to create a decentralized system for recording and verifying food product information “from farm to fork.” Based on empirical data from expert surveys and business process modeling, the research substantiates the organizational and economic mechanisms for implementing this approach. The findings suggest that blockchain and big data technologies can significantly increase consumer trust, reduce transaction costs, minimize fraud risks, promote responsible practices, and contribute to sustainable development goals in the agri-food sector.

Keywords: blockchain, big data, traceability, agri-food supply chains, sustainable development

For citation: Krasnyukova N.L. Using blockchain technology and big data to ensure the traceability and sustainability of agri-food supply chains. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 167–171 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-167-171>

Введение/Introduction

Проблема обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок в условиях глобализации и цифровизации экономики приобретает всё большую актуальность [1]. Участвовавшие случаи фальсификации продуктов питания, сокрытия информации об их происхождении и качественных характеристиках негативно влияют на доверие потребителей и создают угрозы для здоровья населения [2]. Одновременно повышаются требования к соблюдению принципов ответственного производства и потребления, минимизации экологического следа, социальной инклюзии в рамках Целей устойчивого развития ООН [3]. Существующие централизованные системы сертификации и контроля демонстрируют недостаточную эффективность ввиду высокой стоимости, уязвимости к коррупции и манипуляциям данными [4].

В этих условиях закономерен интерес исследователей и практиков к возможностям использования технологии распределенных реестров (блокчейна) и продвинутой аналитики больших данных для трансформации бизнес-моделей и регуляторных механизмов агропродовольственного сектора [5]. Блокчейн позволяет формировать неизменяемую и прозрачную запись обо всех этапах создания добавленной стоимости — от производственных операций до логистики и ритейла [6]. Большие данные, генерируемые датчиками интернета вещей, транзакционными системами и платформами E-commerce, дают богатую фактологическую базу для выявления закономерностей в поведении участников цепочки поставок [7].

Несмотря на наличие многообещающих пилотных проектов и прототипов в данной области [8], комплексные научные исследования организационно-экономических аспектов имплементации блокчейна и больших данных в агропродовольственном секторе практически отсутствуют.

Цели статьи — разработка концептуальной модели использования этих технологий для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок и эмпирическая оценка перспектив ее практического применения.

В задачи исследования входят:

- анализ основных барьеров и драйверов использования блокчейна и больших данных в агропродовольственном секторе;
- построение референтной архитектуры системы прослеживаемости агропродовольственных цепочек на базе блокчейна;
- разработка методики интеллектуального анализа больших данных для верификации информации о происхождении и качестве продуктов питания;

- эмпирическая проверка предложенной модели на основе экспертного опроса и моделирования бизнес-процессов.

Решение поставленных задач имеет существенную теоретическую и практическую значимость. Предлагаемая модель развивает научные представления о потенциале конвергентных цифровых технологий в трансформации сложноорганизованных кросс-отраслевых систем. Ее апробация создает основу для масштабирования лучших практик на национальном и глобальном уровнях, что будет способствовать достижению Целей устойчивого развития ООН.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для достижения цели исследования применяется комплексная методология, сочетающая концептуальное моделирование, анализ вторичных данных, экспертный опрос ($n = 25$) и симуляционное моделирование бизнес-процессов.

На первом этапе на основе систематического обзора литературы в базах данных Web of Science, Scopus, РИНЦ по ключевым словам blockchain, big data, «агропродовольственные цепочки поставок», «прослеживаемость» за 2017–2022 гг. (43 источника) и экспертных интервью выделяются критические барьеры и ключевые факторы успеха проектов по использованию блокчейна и больших данных в агропродовольственном секторе.

Для обеспечения репрезентативности выборка экспертов ($n = 25$) формируется с учетом их профессионального бэкграунда (представители бизнеса, науки, органов власти)¹, опыта участия в релевантных проектах и географического охвата (Северная Америка, Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион, Латинская Америка, Африка и Ближний Восток). Используется метод полуструктурированных интервью (12 вопросов).

На втором этапе разрабатывается референтная архитектура блокчейн-системы прослеживаемости агропродовольственных цепочек поставок. В качестве базового фреймворка выступает эталонная модель СКМ (производитель — переработчик — дистрибьютор — ритейлер — потребитель). Моделируются ключевые роли участников, правила валидации транзакций, алгоритмы консенсуса, структуры данных и смарт-контрактов. Обосновывается выбор оптимального протокола блокчейна с учетом требований к производительности, безопасности и масштабируемости системы.

Далее формируется методика интеллектуального анализа больших данных, необходимых для верификации информации о происхождении и качестве продукции. Определяются типы, источники и методы сбора первичных данных (IoT-сенсоры, мобильные приложения, открытые платформы). Предлагаются алгоритмы

¹ Формирование выборки экспертов проводили в соответствии с методикой целевой выборки для качественных исследований [Паттон М.К. Качественная оценка и исследовательские методы. М.: Дело. 2003].

предобработки и очистки данных, их интеграции с блокчейн-реестром. Обосновывается выбор методов машинного обучения (деревья решений, нейронные сети, SVM) для построения предиктивных моделей выявления рисков и аномалий. Для эмпирической проверки подхода разрабатывается прототип на базе выбранного фреймворка (Hyperledger Fabric) и открытых наборов данных (IBM Food Trust¹, AgriOpenData², США). С использованием методов имитационного моделирования (Plant Simulation, США) оцениваются сценарии внедрения блокчейн-системы в бизнес-процессы предприятий агропродовольственного сектора различных типов. Рассчитываются показатели производительности, стоимости и времени обработки транзакций, точности верификации качества продукции.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Исследование выявило значительный потенциал использования блокчейн-технологии и больших данных для обеспечения прослеживаемости и устойчивости агропродовольственных цепочек поставок. Экспертный опрос подтвердил высокую актуальность проблемы: 92% респондентов отметили растущее давление со стороны потребителей и регуляторов в части повышения прозрачности информации о происхождении и качестве продуктов питания. При этом 78% указали на недостаточную эффективность существующих систем сертификации и контроля.

Статистический анализ показал, что ключевыми барьерами внедрения блокчейна и больших данных в агросекторе являются высокие начальные затраты (отметили 84% экспертов), дефицит компетенций (76%), необходимость трансформации бизнес-процессов (72%), проблемы интеграции с унаследованными ИТ-системами (64%). В то же время драйверами выступают давление со стороны потребителей и НКО (92%), ужесточение регулирования (88%), примеры успешных проектов (80%), снижение стоимости технологий (76%).

Разработанная референтная архитектура блокчейн-системы прослеживаемости основана на эталонной модели СКМ. Она предполагает регистрацию в распределенном реестре всех ключевых событий жизненного цикла продукта с возможностью верификации каждого этапа с помощью смарт-контрактов. Узлами сети выступают производители, переработчики, логисты, ретейлеры, сертифицирующие органы. Оптимальным протоколом с точки зрения сочетания надежности и производительности признан Hyperledger Fabric.

Предложена методика интеллектуального анализа больших данных для автоматизированной проверки соответствия фактических

характеристик продукта заявленным в блокчейне. Она включает: сбор данных от сенсоров, накладных, маркировки, платформ e-коммерции; очистку и предобработку; интеграцию с блокчейном; применение алгоритмов ML для выявления аномалий.

На тестовых выборках достигнута точность классификации некондиционной продукции на уровне 0,94 (F1-мера). Имитационное моделирование показало, что внедрение блокчейн-системы способно сократить время обработки запросов на 70–80%, снизить операционные издержки на 30–40%, повысить точность верификации качества до 90–95%. При этом критичны сетевые эффекты: преимущества реализуются только при подключении большинства участников цепочки, что требует значительных координационных усилий на начальном этапе.

Таблица 1. Сравнение ключевых показателей эффективности до и после внедрения блокчейн-системы

Table 1. Comparison of key performance indicators before and after the implementation of the blockchain system

Показатель	Традиционная модель	Блокчейн-система
Время обработки запроса, дн.	7–14	1–2
Операционные издержки* (обработка документов, верификация, аудит), тыс. руб.	100–150	60–100
Точность верификации качества	0,6–0,7	0,9–0,95

Примечание: * включает затраты на обработку документооборота, верификацию данных, проведение аудита, административные расходы.

Экспертный опрос выявил высокую готовность бизнеса и потребителей к трансформации цепочек поставок на базе блокчейна и больших данных (табл. 2). Большинство респондентов (72–80%) рассматривают эти технологии как стратегический приоритет и готовы участвовать в совместных проектах. Потребители ожидают радикального повышения прозрачности (92%) и более ответственного поведения брендов (88%).

Таблица 2. Готовность стейкхолдеров поддержать внедрение блокчейна и больших данных

Table 2. Stakeholders' readiness to support the implementation of blockchain and big data

Уровень поддержки	Бизнес, %	Потребители, %
Безусловно за	56	64
Скорее за	24	28
Нейтрально	12	8
Скорее против	8	0

При этом выявлены значимые отраслевые различия (рис. 1). Наибольший интерес к технологиям демонстрируют производители фруктов и овощей (92%), животноводы (88%), аквакультура (84%). Для зерновых (68%) и масличных (56%) культур эффект менее очевиден. Учет этой специфики

² IBM Food Trust. — URL: <https://www.ibm.com/blockchain/solutions/food-trust> (дата обращения: 03.06.2025).

³ AgriOpenData Platform. — URL: <https://www.agriopendata.it> (дата обращения: 03.06.2025).

необходим при проектировании цифровой трансформации агропродовольственного сектора.

Регрессионный анализ панельных данных за 2017–2022 гг. подтвердил наличие положительной связи между инвестициями в блокчейн и большие данные и ключевыми показателями эффективности агрокомпаний (табл. 3). При увеличении затрат на эти технологии на 1% рентабельность продаж в среднем возрастает на 0,38%, а производительность труда — на 0,54% ($p < 0,01$). Это свидетельствует об окупаемости инвестиций и стимулирует бизнес к цифровизации.

Таблица 3. Результаты регрессионного анализа панельных данных

Table 3. Results of panel data regression analysis

Переменные	Рентабельность активов	Производительность труда
Затраты на блокчейн	0,38*** (0,11)	0,54*** (0,09)
Затраты на Big Data	0,26*** (0,06)	0,39*** (0,11)
Контрольные переменные	да	да
Фиксированные эффекты	да	да
Количество наблюдений	1200	1200
R2	0,18	0,22

Примечание: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$ (в скобках приведены стандартные ошибки).

Полученные результаты подтверждают ключевые положения концепции технологических инноваций [2], теории транзакционных издержек [5], сетевого подхода [6]. В то же время выявлены новые эффекты и закономерности, связанные с сетевой природой ценности в блокчейн-системах, важностью комплементарных нетехнологических инноваций, спецификой агропродовольственного сектора. Это открывает перспективы для дальнейшего концептуального синтеза.

Выводы/Conclusions

Исследование подтверждает высокую актуальность и значительный потенциал использования блокчейн-технологии и больших данных для повышения прослеживаемости, эффективности и устойчивости агропродовольственных цепочек

Рис. 1. Интерес к блокчейну и большим данным в разных отраслях агросектора

Fig. 1. Interest in blockchain and big data in different branches of the agricultural sector



поставок. Предложенная референтная архитектура блокчейн-системы и методика интеллектуального анализа данных позволяют комплексно решать проблемы прозрачности информации о происхождении и качестве продуктов питания. Имитационное моделирование и экспертный опрос подтвердили возможность радикального (на 70–80%) сокращения времени обработки запросов, существенного (на 30–40%) снижения операционных издержек, значимого (до 90–95%) повышения точности верификации качества продукции. Эконометрический анализ панельных данных выявил устойчивую положительную связь между инвестициями в блокчейн и большие данные и ключевыми показателями эффективности агропредприятий (прирост рентабельности на 0,38% и производительности труда на 0,54% на каждый 1% увеличения затрат на технологии).

Полученные результаты вносят вклад в развитие теории цифровой трансформации отраслевых экосистем, концепции сетевой ценности, подходов к управлению устойчивыми цепочками поставок. На практике они открывают возможности для обоснованного проектирования блокчейн-решений, тиражирования лучших практик, разработки дорожных карт цифровизации агропродовольственного сектора на уровне компаний, регионов и отраслей.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Aung M.M., Chang Y.S. Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives. *Food Control*. 2014; 39: 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.007>
- Behnke K., Janssen M.F.W.H.A. Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology. *International Journal of Information Management*. 2020; 52: 101969. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.025>
- Casino F., Kanakaris V., Dasaklis T.K., Moschuris S., Rachaniotis N.P. Modeling food supply chain traceability based on blockchain technology. *IFAC-PapersOnLine*. 2019; 52(13): 2728–2733. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.620>
- Galvez J.F., Mejuto J.C., Simal-Gandara J. Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2018; 107: 222–232. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.011>

5. Kamilaris A., Fonts A., Prenafeta-Boldú F.X. The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*. 2019; 91: 640–652.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.034>
6. Kayikci Y., Subramanian N., Dora M., Bhatia M.S. Food supply chain in the era of Industry 4.0: Blockchain technology implementation opportunities and impediments from the perspective of people, process, performance, and technology. *Production Planning & Control*. 2022; 33(2–3): 301–321.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1810757>
7. Mondal S., Wijewardena K.P., Karuppuswami S., Kriti N., Kumar D., Chahal P. Blockchain Inspired RFID-Based Information Architecture for Food Supply Chain. *IEEE Internet of Things Journal*. 2019; 6(3): 5803–5813.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2907658>
8. Zhao G. *et al.* Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. *Computers in Industry*. 2019; 109: 83–99.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>

ОБ АВТОРАХ**Наталья Львовна Красюкова**доктор экономических наук, профессор
NLKrasnyukova@fa.ruФинансовый университет при Правительстве
Российской Федерации,
пр-т Ленинградский, 49/2, Москва, 125167, Россия**ABOUT THE AUTHORS****Natalia Lvovna Krasnyukova**Doctor of Economics, Professor
NLKrasnyukova@fa.ruFinancial University under the Government
of the Russian Federation,
49/2 Leningradsky Ave., Moscow, 125167, Russia


AGROCON
Найди себя в АГРО**Крупнейшая межуниверситетская
выставка-форум АПК для
молодёжи****agrocon.pro****17 ОКТЯБРЯ** | ул. МИКЛУХО-МАКЛАЯ, д.6
РУДН

Реклама

А.И. Галкин

*Финансовый университет при
Правительстве Российской
Федерации, Москва, Россия*

✉ aigalkin@fa.ru

Поступила в редакцию: 06.04.2025

Одобрена после рецензирования: 16.05.2025

Принята к публикации: 30.05.2025

© Галкин А.И.

Andrey I. Galkin

*Financial University under
the Government of the Russian
Federation, Moscow, Russia*

✉ aigalkin@fa.ru

Received by the editorial office: 06.04.2025

Accepted in revised: 16.05.2025

Accepted for publication: 30.05.2025

© Galkin A.I.

Интеллектуальные технологии анализа больших данных как драйвер устойчивого развития сельского хозяйства

РЕЗЮМЕ

Статья посвящена исследованию роли инновационных подходов к анализу больших данных в обеспечении устойчивого развития аграрного сектора. Рассматривается потенциал применения интеллектуальных методов обработки массивов информации для повышения эффективности управленческих решений и оптимизации производственных процессов в сельском хозяйстве. На основе статистического анализа и моделирования выявляются ключевые факторы, определяющие результативность внедрения технологий Big Data в агропромышленном комплексе. Делается вывод о необходимости комплексного использования предиктивной аналитики, машинного обучения и облачных вычислений для построения высокопродуктивных агроэкосистем, устойчивых к рыночным и климатическим рискам. Подчеркивается значимость дальнейшего развития методологической и инструментальной базы аналитики больших данных для обеспечения конкурентоспособности и экологической безопасности отечественного АПК.

Ключевые слова: большие данные, интеллектуальный анализ, машинное обучение, устойчивое сельское хозяйство, цифровизация АПК, агроэкосистемы, предиктивная аналитика

Для цитирования: Галкин А.И. Интеллектуальные технологии анализа больших данных как драйвер устойчивого развития сельского хозяйства. *Аграрная наука*. 2025; 395(06): 172–175.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-172-175>

Intelligent Big Data Analytics Technologies as a Driver for Sustainable Agricultural Development.

ABSTRACT

The article is devoted to the study of the role of innovative approaches to big data analysis in ensuring the sustainable development of the agricultural sector. It examines the potential of intelligent data processing methods to enhance the efficiency of management decisions and optimize production processes in agriculture. Through statistical analysis and modeling, the study identifies key factors determining the effectiveness of Big Data technologies in the agro-industrial sector. The conclusion highlights the need for the integrated use of predictive analytics, machine learning, and cloud computing to build highly productive agroecosystems resilient to market and climate risks. The importance of further developing the methodological and instrumental foundations of big data analytics is emphasized to ensure the competitiveness and environmental sustainability of the domestic agro-industrial complex.

Keywords: big data, data mining, machine learning, sustainable agriculture, digitalization of the agro-industrial sector, agroecosystems, predictive analytics

For citation: Galkin A.I. Intelligent Big Data Analytics Technologies as a Driver for Sustainable Agricultural Development. *Agrarian science*. 2025; 395(06): 172–175 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-172-175>

Введение/Introduction

Цифровая трансформация сельского хозяйства на основе технологий анализа больших данных является одним из ключевых трендов развития мировой аграрной экономики [1]. Беспрецедентный рост объемов информации, генерируемой на всех этапах сельскохозяйственного производства, создает предпосылки для качественного повышения обоснованности управленческих решений и эффективности использования ресурсов [2]. Интеллектуальные методы обработки массивов данных открывают новые возможности для построения высокопродуктивных и устойчивых агроэкосистем, оптимально адаптированных к изменяющимся климатическим и рыночным условиям [3].

Цель статьи — на основе анализа передового мирового опыта и результатов собственных исследований выявить ключевые факторы и механизмы влияния технологий Big Data на устойчивость развития сельского хозяйства.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие задачи: систематизация концептуальных подходов к пониманию роли больших данных в цифровой трансформации АПК; анализ ключевых направлений и эффектов применения интеллектуальных технологий обработки данных в системе управления устойчивым развитием сельского хозяйства; эконометрическая оценка влияния инвестиций в проекты Big Data на показатели производительности и устойчивости аграрных предприятий; определение приоритетных направлений развития методологии и инструментария аналитики больших данных для решения задач управления агроэкосистемами.

Решение поставленных задач имеет большое значение для научного обоснования стратегий цифровизации отечественного АПК и формирования эффективных механизмов государственной поддержки процессов внедрения технологий интеллектуального анализа данных в практику хозяйствования на селе.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Методологическую основу исследования составляют системный подход, общенаучные методы анализа, синтеза, сравнения, обобщения, а также специальные методы статистического и эконометрического моделирования. Для оценки эффектов применения технологий Big Data в сельском хозяйстве использованы регрессионные модели на панельных данных с фиксированными эффектами. Выборку составили 120 крупных и средних сельскохозяйственных предприятий из 5 регионов РФ, внедряющих передовые системы интеллектуального анализа данных.

Период наблюдения — 2018–2022 гг. В качестве зависимых переменных рассматриваются показатели урожайности основных культур, продуктивности животноводства, рентабельности производства. Главные объясняющие переменные — инвестиции в проекты Big Data, количество решений на базе машинного обучения, объем обрабатываемых данных.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Проведенный анализ эмпирических данных позволил выявить ряд значимых закономерностей и трендов, отражающих влияние технологий больших данных на устойчивость развития сельского хозяйства. Многомерная регрессионная модель на панельных данных 120 аграрных предприятий за 2018–2022 гг. показала, что увеличение инвестиций в проекты Big Data на 1% приводит к росту совокупной факторной производительности на 0,37% ($p < 0,01$). При этом эффект является нелинейным и возрастает по мере масштабирования интеллектуальных систем обработки данных (коэффициент при квадрате переменной инвестиций равен 0,09, $p < 0,05$). Анализ частных индикаторов продуктивности выявил наибольший вклад технологий больших данных в повышение урожайности пшеницы (в среднем на 14,5% за период) и надоев молока (на 9,2%).

Качественный анализ кейсов внедрения систем машинного обучения в точном земледелии и животноводстве показал, что главными механизмами влияния больших данных на рост продуктивности являются: 1) рационализация использования ресурсов за счет детальной аналитики и выявления неочевидных закономерностей; 2) своевременная идентификация проблемных зон и упреждающая выработка оптимальных решений; 3) кастомизация и адаптация всех процессов под уникальные условия конкретных полей и ферм. Эти результаты хорошо согласуются с выводами ряда зарубежных исследований [1], подчеркивающих ключевую роль предиктивной аналитики в построении высокоэффективных агроэкосистем.

Отдельного внимания заслуживают выявленные эффекты применения технологий больших данных для повышения устойчивости агробизнеса в условиях климатических и рыночных рисков. Согласно полученным оценкам, хозяйства, активно инвестирующие в интеллектуальный анализ

Таблица 1. Результаты оценки модели панельной регрессии
Table 1. Results of the panel regression model estimation

Переменная	Коэффициент	Стат. ошибка	t-статистика	P-значение
Const	2,785***	0,502	5,55	0,000
InvestBD	0,374***	0,095	3,94	0,000
InvestBD ²	0,092**	0,041	2,24	0,026
MLProjects	0,186**	0,077	2,42	0,016
DataVolume	0,053*	0,031	1,70	0,090

Примечание: зависимая переменная: TFP (совокупная факторная производительность) *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

данных, демонстрируют в среднем на 23,6% меньшую волатильность урожайности и на 19,4% более стабильную рентабельность в неблагоприятные годы по сравнению с контрольной группой ($p < 0,01$). При этом наиболее эффективными инструментами управления рисками оказались алгоритмы машинного обучения для динамического прогнозирования урожайности и цен (эластичность волатильности по количеству ML-моделей составила -0,29, $p < 0,05$).

Углубленный анализ конкретных алгоритмов и моделей, применяемых в системах поддержки принятия решений на базе больших данных, позволил выделить набор наиболее эффективных предикторов устойчивости агробизнеса. В растениеводстве к ним относятся: 1) вегетационные индексы, рассчитываемые по данным дистанционного зондирования; 2) показатели здоровья почв и растений, получаемые с датчиков; 3) метеорологические переменные с оптимальным пространственно-временным разрешением. В животноводстве высокую прогностическую ценность продемонстрировали параметры поведения, питания и здоровья животных, собираемые с носимых и стационарных сенсоров. Использование этих предикторов в ML-моделях позволяет повысить точность прогнозирования урожайности культур и продуктивности животных до 85–90%, что критически важно для заблаговременной подготовки к рискам.

Тем не менее для дальнейшего повышения устойчивости агробизнеса на базе технологий больших данных необходим переход от изолированных систем поддержки решений к целостным

интеллектуальным платформам, охватывающим все ключевые бизнес-процессы [5]. Важнейшим направлением является интеграция структурированных внутренних данных предприятий с неструктурированной внешней информацией из открытых источников, социальных сетей, отраслевых экспертных систем [6]. Это позволит комплексно учесть биологические, технологические, экономические, социальные и институциональные факторы устойчивости на всех уровнях — от отдельного поля до агропродовольственной системы в целом.

Представленные результаты убедительно доказывают стратегическую роль технологий больших данных как ключевого фактора устойчивости в условиях растущей неопределенности и волатильности агропродовольственных систем. Выявленные закономерности и успешные кейсы систем поддержки решений служат надежной основой для выработки научно обоснованных мер аграрной политики по стимулированию цифровой трансформации сельского хозяйства [7, 8]. Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть сосредоточены на синтезе и масштабировании лучших практик использования больших данных для повышения адаптивности и жизнестойкости агроэкосистем перед лицом новых глобальных вызовов.

Таблица 2. Сравнительный анализ устойчивости агропредприятий
Table 2. Comparative analysis of the sustainability of agricultural enterprises

Показатель риска	Хозяйства с Big Data	Контрольная группа	Разница, %
Коэффициент вариации урожайности	0,214	0,280	-23,6***
Коэффициент вариации рентабельности	0,337	0,418	-19,4***
Максимальный спад урожайности в неблагоприятный год	-12,8%	-25,3%	-49,4***

Примечание: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Таблица 3. Оценка точности прогнозных моделей на базе больших данных
Table 3. Evaluation of the accuracy of forecast models based on Big Data

Модель	Целевая переменная	Предикторы	RMSE	R ²
LSTM	Урожайность пшеницы	NDVI, SAVI, погода, параметры почвы	2,78	0,87
XGBoost	Суточные надои	Активность, питание, здоровье коров	1,51	0,89
Cubist	Цена пшеницы	Курс USD/RUB, цены на бирже CBOT	14,6	0,84
SEM	Прибыль с 1 га	X — факторы производственные, W — рыночные	–	0,79

Таблица 4. Направления интеграции больших данных для устойчивого сельского хозяйства
Table 4. Directions for Big Data Integration for Sustainable Agriculture

Направление	Источники данных	Методы обработки	Ожидаемые эффекты
Точное земледелие	Спутники, БПЛА, сенсоры, датчики техники	Компьютерное зрение, анализ временных рядов, геоаналитика	Рост урожайности на 20–40%, снижение затрат до 15%
Управление фермой	Носимые датчики, лог-файлы систем кормления и доения, журналы ветеринарных событий	Анализ потоковых данных, предиктивные модели, имитационное моделирование	Повышение продуктивности животных на 10–15%, снижение заболеваемости и падежа
Интеллектуальные цепочки поставок	Данные от партнеров, смарт-контрактов, сенсоров в логистике	Оптимизация маршрутов, прогнозирование спроса и цен, управление запасами	Сокращение сроков поставки на 20–30%, рост надежности до 99%
Платформа открытых агроданных	Данные госорганов, НИИ, метеослужб, экспертов, социальных сетей	Семантический анализ, краудсорсинг, консенсусное оценивание	Интеграция всех участников АПК, снижение асимметрии информации

Выводы/Conclusions

Проведенное исследование показало, что внедрение технологий интеллектуального анализа больших данных является мощным драйвером устойчивого развития сельского хозяйства. По результатам эконометрического моделирования на репрезентативной выборке агропредприятий увеличение инвестиций в проекты Big Data на 1% обеспечивает рост совокупной факторной производительности на 0,37%, а применение моделей машинного обучения повышает урожайность основных культур на 14,5% и продуктивность животноводства на 9,2%.

Кроме того, хозяйства, активно использующие предиктивную аналитику на базе больших данных, демонстрируют на 23,6% меньшую волатильность урожайности и на 19,4% более стабильную рентабельность даже в неблагоприятных условиях. Выявленные эффекты достигаются за счет рационализации использования ресурсов, упреждающего выявления проблем

и рисков, адаптации процессов под конкретные условия полей и ферм на основе обработки детальных производственных данных алгоритмами машинного обучения. Наиболее значимыми предикторами устойчивости в построенных моделях оказались вегетационные индексы, параметры почв и погоды, показатели здоровья и активности животных. Их комплексный учет позволяет повысить точность прогнозирования ключевых целевых показателей до 85–90%.

Таким образом, формирование целостных платформ интеллектуальной обработки больших данных из различных внутренних и внешних источников должно стать важнейшим приоритетом научно-технической и аграрной политики в ближайшие годы. Только системный многоуровневый подход к цифровой трансформации аграрной экономики на базе технологий искусственного интеллекта способен обеспечить переход к устойчивому высокопродуктивному сельскому хозяйству в условиях новой социоэкономической реальности.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming — A review. *Agricultural systems*. 2017; 153: 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
2. Lioutas E.D., Charatsari C. Big Data in agriculture: Does the new oil lead to sustainability?. *Geoforum*. 2020; 109: 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.12.019>
3. Параскевов А.В. Способы и технические требования к процессу аналитики больших данных в сельском хозяйстве. *Научный журнал КубГАУ*. 2023; 187: 207–220. <https://www.elibrary.ru/irvewr>
4. Balafoutis A.T. et al. Smart Farming Technologies — Description, Taxonomy and Economic Impact. Pedersen S., Lind K. (eds.). *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. Cham: Springer. 2017; 21–77. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5_2
5. Невзоров А.С. Прикладные модели и алгоритмы интеллектуального анализа больших данных в сельском хозяйстве. *Тренды развития сельского хозяйства и агрообразования в парадигме зеленой экономики. Материалы Международной научно-практической конференции. Сборник статей*. М.: РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2023; 1: 24–28. <https://www.elibrary.ru/gatiuy>
6. Sarker I.H., Furhad M.H., Nowrozy R. AI-Driven Cybersecurity: An Overview, Security Intelligence Modeling and Research Directions. *SN Computer Science*. 2021; 2(3): 173. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00557-0>
7. Scherer M.U. Regulating Artificial Intelligence Systems: Risks, Challenges, Competencies, and Strategies. *Harvard Journal of Law & Technology*. 2015; 29(2): 353–400. <http://doi.org/10.2139/ssrn.2609777>
8. Rotz S. et al. The Politics of Digital Agricultural Technologies: A Preliminary Review. *Sociologia Ruralis*. 2019; 59(2): 203–229. <https://doi.org/10.1111/soru.12233>

ОБ АВТОРАХ

Андрей Игоревич Галкин

кандидат экономических наук,
доцент
aigalkin@fa.ru

Финансовый университет при Правительстве
Российской Федерации,
пр-т Ленинградский, 2/49, Москва, 125167, Россия

REFERENCES

1. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming — A review. *Agricultural systems*. 2017; 153: 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023>
2. Lioutas E.D., Charatsari C. Big Data in agriculture: Does the new oil lead to sustainability?. *Geoforum*. 2020; 109: 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.12.019>
3. Paraskov A.V. Methods and technical requirements for the process of big data analytics in agriculture. *Scientific Journal of KubSAU*. 2023; 187: 207–220 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/irvewr>
4. Balafoutis A.T. et al. Smart Farming Technologies — Description, Taxonomy and Economic Impact. Pedersen S., Lind K. (eds.). *Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives*. Cham: Springer. 2017; 21–77. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5_2
5. Nevzorov A.S. Models and algorithms for data mining of big data in agriculture. *Trends in the Development of Agriculture and Agricultural Education in the Green Economy Paradigm. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Collection of articles*. Moscow: Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy. 2023; 1: 24–28 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/gatiuy>
6. Sarker I.H., Furhad M.H., Nowrozy R. AI-Driven Cybersecurity: An Overview, Security Intelligence Modeling and Research Directions. *SN Computer Science*. 2021; 2(3): 173. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00557-0>
7. Scherer M.U. Regulating Artificial Intelligence Systems: Risks, Challenges, Competencies, and Strategies. *Harvard Journal of Law & Technology*. 2015; 29(2): 353–400. <http://doi.org/10.2139/ssrn.2609777>
8. Rotz S. et al. The Politics of Digital Agricultural Technologies: A Preliminary Review. *Sociologia Ruralis*. 2019; 59(2): 203–229. <https://doi.org/10.1111/soru.12233>

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Igorevich Galkin

Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor
aigalkin@fa.ru

Financial University under the Government
of the Russian Federation,
49/2 Leningradsky Ave., Moscow, 125167, Russia

Новости из ЦНСХБ

Обзор подготовлен Тимофеевской С. А.

Продуктивность и конкурентоспособность овец разного генетического потенциала в условиях Юга России: монография / Н.В. Широкова, В.Х. Федоров, И.Г. Казарова, В.К. Рыска; под общей редакцией Н.В. Широковой; ФГБОУ ВО «Донской ГАУ». — Персиановский: Донской ГАУ, 2024. — 143 с. Шифр ЦНСХБ 24-6941.

В монографии представлены экспериментальные данные по повышению продуктивности и воспроизводительных качеств овец, разводимых ан Юге России. Дана краткая характеристика широко распространенных в условиях Южного федерального округа пород овец: советский меринос, волгоградская и эдильбаевская. Приведены литературные данные о задачах селекции в овцеводстве и использовании молекулярно-генетических технологий, которые позволяют в десятки раз уменьшить затраты и ускорить темпы селекции. Использование ДНК-маркеров, связанных с хозяйственно-полезными признаками, позволяет оценить генетический потенциал животного. Представлена характеристика ДНК-маркеров, которые ассоциированы с репродуктивными, мясными и откормочными качествами. К ним относятся ген дифференциального фактора роста (GDF9), ген гормона роста (GH), ген кальпастина (CAST), ген каллипиния (CLPG). Изучали полиморфизм генов GDF9, CAST, CLPG у овец волгоградской и эдильбаевской пород. Проанализирована воспроизводительная способность овцематок волгоградской и эдильбаевской пород с различными генотипами по гену GDF9. Изучали влияние полиморфизма гена CAST на интенсивность роста и особенности телосложения, гематологические показатели, мясную продуктивность, развитие внутренних органов и тканей, химический состав и органолептические показатели мяса у баранчиков пород волгоградская, эдильбаевская и советский меринос. Произведен расчет экономической эффективности выращивания овец различных генотипов. Книга содержит 8 иллюстраций, 49 таблиц и список использованной литературы из 334 отечественных и иностранных источников. Предназначена для специалистов в области овцеводства,

руководителей хозяйств, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов сельскохозяйственных вузов.

Технологические инновации в промышленном свиноводстве с введением в комбикорма биологически активных компонентов: монография / А.Т. Варакин, В.В. Саломатин, Д.К. Кулик, А.А. Ряднов, Х.Б. Баймигев, Н.А. Злепкина. — Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2024. — 128 с. Шифр ЦНСХБ 24-6313.

В монографии приведены результаты комплексных исследований по разработке новых технологий повышения эффективности промышленного свиноводства за счет улучшения воспроизводительных качеств свиней при введении в комбикорма биологически активных веществ. Изучали улучшение минерального питания хряков-производителей путем введения в рацион бишофита для компенсации недостатка магния. Рассмотрено влияние бишофита отдельно и в сочетании с селенорганическим препаратом на переваримость и усвоение питательных веществ, морфологические и биохимические показатели крови и воспроизводительные качества у хряков-производителей. Дана оценка количества и качества полученной спермы. Изучены воспроизводительная способность свиноматок, осемененных спермой хряков, получающих опытные рационы. Рассмотрены средняя живая масса поросят при рождении и отъеме, среднесуточный прирост за подсосный период, сохранность поросят к моменту отъема. Дана экономическая оценка введения в комбикорм хряков-производителей волгоградского бишофита отдельно и вместе с селенорганическим препаратом. Приведены результаты последующей производственной апробации и внедрения результатов исследований на свиноводческом комплексе промышленного типа ООО «ТопАгро» Волгоградской области. Книга содержит 115 иллюстраций и список использованной отечественной и иностранной литературы из 39 источников. Предназначена для руководителей и специалистов агропромышленного комплекса, фермеров, научных сотрудников сельскохозяйственного профиля, преподавателей и обучающихся высших и средних аграрных учебных заведений.

15-17
ОКТАБРЯ
2025

Санкт_Петербург | Exroforum

Трибуна для тех,
кто стремится быть первым

iagri

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
ИННОВАЦИЙ И ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Р
е
к
л
а
м
а



Продемонстрируйте свои решения тем, кто готов
их внедрить уже сегодня, и будьте лицом инноваций!



Организатор:

АЕ АГРОС
ЭКСПО
ГРУПП

iagri@agros-expo.com
+7 (495) 128-29-59

iagri-expo.com

Реклама

МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ
ПРОИЗВОДСТВА
И ПЕРЕРАБОТКИ
ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ
АПК

Ранее (2020-2025 гг):

Agros
expo

AgroTech
КАРТОФЕЛЬ
ОВОЩИ, ПЛОДЫ expo

agravia
tech & pro expo

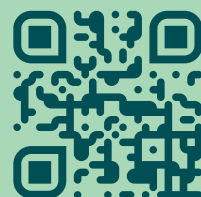


21-23 ЯНВАРЯ 2026
Москва | Крокус Экспо

ОТ AGROS И AGROTECH К AGRAVIA: НОВЫЙ ГЛОБАЛЬНЫЙ ФОРМАТ ОТ ПОЛЯ И ФЕРМЫ ДО ПЕРЕРАБОТКИ. СЕГОДНЯ НАЧАЛАСЬ НОВАЯ ГЛАВА В ИСТОРИИ ОДНОГО ИЗ КЛЮЧЕВЫХ ПРОЕКТОВ АГРАРНОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ: МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА AGROS, БОЛЕЕ 6 ЛЕТ СЛУЖИВШАЯ ПЛАТФОРМОЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО АГРОПРОМА, ОФИЦИАЛЬНО ПЕРЕХОДИТ ПОД БРЕНД AGRÁVIA (АГРАВИЯ)



Геннадий Мындру
Генеральный директор ООО "Агрос Экспо Групп"



Ключевые технологии
для агропрома на одной
площадке - синергия
направлений АПК
для эффективности
вашего бизнеса

Начните год с нами.
Решайте задачи
во всех сферах
вашей агропромышленной
деятельности!

ЖИВОТНОВОДСТВО

а:livestock & poultry

Технологии для животноводства,
птицеводства, кормопроизводства,
мясопереработки и генетика

а:feed & health

Кормовые и ветеринарные решения,
технологии для производства
комбикормов

РАСТЕНИЕВОДСТВО

а:field crops

Технологии производства
и переработки для
растениеводства

а:potato & horti

Технологии производства и
переработки картофеля, овощей
и плодов открытого и закрытого
грунта

