

научно-теоретический и производственный журнал

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN
SCIENCE

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

8
2025



БЕСПЛАТНО
скачать журнал
и подписаться



Подпишитесь
на наш
Telegram канал!



ЗООТЕХНИЯ

Использование кормовой добавки
«Биоростацидум» в откорме
индюшат

45

АГРОНОМИЯ

Оценка некоторых физических
показателей сои зернового
и овощного типов

98

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Болюсы и ошейники
с акселерометрами
в мониторинге двигательной
активности молочных коров

129

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
КОРМОВ, КОРМОВЫХ ДОБАВОК, ВЕТЕРИНАРИИ И ОБОРУДОВАНИЯ

КормВет экспо Грэйнд 2025

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

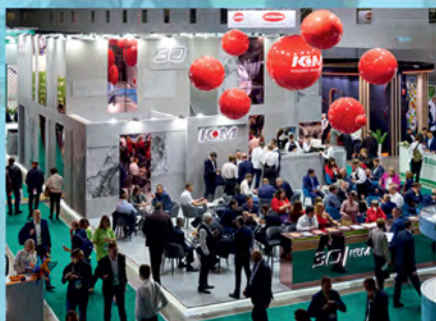
свиноводство | птицеводство | животноводство | аквакультура

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>

08 · 2025

Agrarnaya nauka

Том 397, номер 08, 2025

Volume 397, number 08, 2025

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© 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 11.08.2025

Дата выхода в свет 18.08.2025

Отпечатано в типографии

ООО «Поли Принт Сервис», 127015,

г. Москва, ул. Бутырская, д. 86

АГРАРНАЯ НАУКА

AGRARIAN SCIENCE

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

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

Издатель:

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора:

Ребезов М.Б., доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. 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.

Ишевская 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, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия.

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

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.

08 - 2025

Agrarnaya nauka

Том 397, номер 08, 2025

Volume 397, number 08, 2025

ISSN 0869-8155 (print)

ISSN 2686-701X (online)

© journal «Agrarian science»

© authors

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



DOI журнала 10.32634/0869-8155

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

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

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

Founder: Limited liability company "VIC Animal Health"

Senior editor Kostromicheva I.V.

Executive editor Dolgaya M.N.

Design and layout Antonov S.N.

Editor-proofreader Kuznetsova G.M.

Bibliographer Neroznik D.S.

Journalist Sedova Yu.G.

Account Manager Teplova A.S.

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

Postal address: 109147, Russian Federation, Moscow, 3 Marxistskaya 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 11.08.2025

Release date 18.08.2025

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

АГРАРНАЯ НАУКА AGRARIAN SCIENCE

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

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

Publisher:

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

EDITOR-IN-CHIEF

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

Deputy Editor-in-Chief

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

THE EDITORIAL BOARD

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

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

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

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.

Kotseva Yu.S., 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. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

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

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

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. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

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

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

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

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

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

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

REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

EDITORIAL AND EXPERT COUNCIL:

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

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

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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

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

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, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia.

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

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

Ramazanov I.A., Doctor of Economics, Associate Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia.

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА

Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 5)	8
---	---

ВЕТЕРИНАРИЯ

Глушенок С.С., Бартенева Ю.Ю., Стратонов А.С., Щипакин М.В. Анатомо-топографические особенности почек кур кросса Хайсекс Уайт	13
Крупин Е.О. Взаимосвязь величины молочной продуктивности, содержания в молоке массовых долей жира и белка с показателями выбраковки коров	19
Сисей Ансу, Назимкина С.Ф., Мурадян Ж.Ю., Люсин Е.А. Терапевтическая эффективность препарата «Лактико» при лечении коров с субклиническим маститом	26

ЗООТЕХНИЯ

Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Кульмакова Н.И., Исаева К.С. Изменение показателей молочной продуктивности по лактациям	32
Шейда Е.В., Кван О.В., Шошина О.В., Сечнев Ю.А., Топурия Л.Ю. Влияние протеолитических ферментов на степень усвоения питательных веществ в организме бычков	39
Арсеньева Л.В., Комолова О.С., Денисова Е.А., Горяинова Г.М., Попов П.А. Использование кормовой добавки «Биоростацидум®» в процессе откорма индюшат	45
Ларкина Т.А., Пегливанян Г.К., Баркова О.Ю., Габова А.В., Дементьева Н.В. Определение уровня экспрессии гена LCORL в мышечной ткани северных оленей	52
Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х. Способы проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по анализируемым SNP-маркерам гена iNOS	58

АГРОНОМИЯ

Лукьянов В.А., Дудкина Т.А. Формирование биологического урожая озимой пшеницы при применении разных видов удобрений в Центрально-Чернозёмном регионе	64
Балун О.В., Шкодина Е.П., Жукова С.Ю., Яковлева В.А. Зависимость урожайности зеленой массы и продолжительности межфазных периодов сорговых интродуцентов от условий выращивания	70
Щербёнок С.В. Влияние соотношения красного и дальнего красного света на морфометрические показатели картофеля <i>in vitro</i>	78
Кармач А.А., Костенко С.С. Исследование процессов деструкции растительных остатков льна в контролируемых лабораторных условиях	84
Рябцева Н.А. Влияние регулятора роста «Костандо, КЭ» на продуктивность озимой пшеницы	91
Литвиненко О.В., Корнева Н.Ю., Литвиненко А.А. Сравнительная оценка некоторых физических показателей сои зернового и овощного типов	98
Воробьёв Н.И., Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Бабыка А.В., Якубовская А.И., Каменева И.А., Осипов А.И., Турковская В.Р., Космин В.В., Сакович М.П. Нейросетевая оценка эффективности использования фульвокислот в сочетании с минеральными удобрениями на продуктивность и качество листового салата сорта Афицион, выращенного в условиях вертикальной гидропоники	104
Осипов Г.Е., Петрова Н.В., Карпова А.А. Морозостойкость генеративных и вегетативных почек вишни разных сортов в Татарстане	115

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Фёдоров Д.Е., Быков С.Н. Мониторинг посевов гороха с нейросетевой обработкой изображений полученных с использованием БПЛА	122
Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р., Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Базаев С.О. Эффективность болюсов и ошейников с акселерометрами в мониторинге двигательной активности коров молочного стада	129
Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б. Разработка алгоритма оценки антиоксидантных свойств экстрактов вишни методами искусственного интеллекта	136
Казанцев Е.В., Кондратьев Н.Б., Осипов М.В., Баженова А.Е. Влияние сухого яичного белка на качество сбивных конфетных масс	144

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Гуров С.Ю., Гурова Т.Ю., Насалевич Т.В., Тарасенко Т.В., Юрченко А.В. Готовность будущих специалистов аграрного профиля к формированию языковой культуры в профессиональной деятельности	150
Чувахин П.И. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: экономическая эффективность внедрения информационных технологий	155
Ергунова О.Т., Сомов А.Г., Седакина А.А., Иващенко А.А. Искусственный интеллект в управлении кадрами агропромышленного комплекса: нейросетевая методика динамического сопоставления требований работодателя и компетенций специалистов	160

CONTENTS

EDITOR'S COLUMN

<i>Rebezov M.B., Violin B.V.</i> Publication activity in infographics (part 5)	8
--	---

VETERINARY MEDICINE

<i>Glushonok S.S., Barteneva Yu.Yu., Stratonov A.S., Shchipakin M.V.</i> Anatomical and topographic features of the kidneys of hens of the Hysex White cross.....	13
<i>Krupin E.O.</i> The relationship between the value of milk productivity, the content of fat and protein in milk by mass with the indicators of culling cows.....	19
<i>Ceesay Ansu, Nazimkina S.F., Muradyan Zh.Yu., Lyusin E.A.</i> Therapeutic efficacy of the drug "Lactico" in the treatment of Cows with subclinical mastitis	26

ZOOTECHNICS

<i>Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Kulmakova N.I., Isaeva K.S.</i> Changes in milk productivity indicators by lactation	32
<i>Sheida E.V., Kvan O.V., Shoshina O.V., Sechnev Yu.A., Topuria L.Yu.</i> The effect of proteolytic enzymes on the degree of absorption of nutrients in the body of bull calves	39
<i>Arsenyeva L.V., Komolova O.S., Denisova E.A., Goryainova G.M., Popov P.A.</i> Use of the feed additive "Biorostacidum®" in the fattening process of turkey chicks.....	45
<i>Larkina T.A., Peglivanyan G.K., Barkova O.Yu., Gabova A.V., Dementieva N.V.</i> Determination of the expression level of the LCORL gene in reindeer muscle tissue	52
<i>Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh.</i> Methods of conducting real-time PCR for genotyping cattle by analyzed SNP markers of the iNOS gene	58

AGRONOMY

<i>Lukyanov V.A., Dudkina T.A.</i> Formation of biological yield of winter wheat using different types of fertilizers in the Central Chernozem region	64
<i>Balun O.V., Shkodina E.P., Zhukova S.Yu., Yakovleva V.A.</i> The dependence of the yield of the green mass and the duration of the interphase periods of the introduced plants on the growing conditions.....	70
<i>Shcherbyonok S.V.</i> The influence of the ratio of red and far-red light on the morphometric indicators of potato in vitro	78
<i>Karmach A.A., Kostenko S.S.</i> Investigation of flax plant residue degradation processes under controlled laboratory conditions	84
<i>Ryabtseva N.A.</i> The effect of the "Costando, KE" growth regulator on the productivity of winter wheat	91
<i>Litvinenko O.V., Korneva N.Yu., Litvinenko A.A.</i> Comparative assessment of some physical indicators of grain and vegetable soybeans.....	98
<i>Vorobyov N.I., Puhalsky J.V., Loskutov S.I., Babyka A.V., Yakubovskaya A.I., Kameneva I.A., Osipov A.I., Turkovskaya V.R., Kosmin V.V., Sakovich M.P.</i> Neural network assessment of the effectiveness of using fulvic acids in combination with mineral fertilizers on the productivity and quality of Aficion leaf lettuce grown in vertical hydroponics	104
<i>Osipov G.E., Petrova N.V., Karpova A.A.</i> Frost resistance of generative and vegetative buds in sour cherry varieties in Tatarstan	115

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Fedorov D.E., Bykov S.N.</i> Monitoring of pea crops with neural network processing of images obtained using UAVs.	122
<i>Vladimirov F.E., Khakimov A.R., Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O.</i> The effectiveness of boluses and collars with accelerometers in monitoring the motor activity of dairy cows	129
<i>Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B.</i> Development of an algorithm for assessing the antioxidant properties of cherry extracts using artificial intelligence methods	136
<i>Kazantsev E.V., Kondratiev N.B., Osipov M.V., Bazhenova A.E.</i> The influence of dry egg white on the quality of whipped candy masses	144

DIGITALIZATION

<i>Gurov S.Yu., Gurova T.Yu., Nasalevich T.V., Tarasenko T.V., Yurchenko A.V.</i> Readiness of future agricultural specialists to develop a language culture in their professional activities	150
<i>Chuvakhin P.I.</i> Digital transformation of the agro-industrial complex: economic efficiency of introducing information technologies	155
<i>Ergunova O.T., Somov A.G., Sedyakina A.A., Ivashchenko A.A.</i> Artificial intelligence in human resources management in the agro-industrial complex: a neural network method of dynamic comparison of employer requirements and specialist competencies	160

УДК: 002.63

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12

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: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12

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 5)

РЕЗЮМЕ

В пятой части представлена информация о количестве просмотров описаний статей и просмотров статей за год журнала «Аграрная наука» на сайте (<https://www.elibrary.ru>). Представлена статистическая информация о «Топ-10 публикаций» по числу просмотров и «Топ-10 публикаций» по числу загрузок полных текстов статей за год на портале eLIBRARY.RU.

29 673 просмотров статей за год, по данным портала eLIBRARY.RU. По данному показателю журнал входит в число лучших 25% журналов всех изученных референтных групп.

1673 загрузок статей журнала «Аграрная наука» за год, по данным портала eLIBRARY.RU.

Журнал входит в число лучших 50% журналов в референтных группах по:

- ✓ группе российских журналов, входящих в ядро РИНЦ (выборка из 1480 журналов);
- ✓ группе российских журналов, входящих в «Белый список» (уровень 4) (выборка из 368 журналов);
- ✓ группе журналов, входящих в список ВАК (выборка из 3736 журналов);
- ✓ группе российских журналов, входящих в список Scopus (квартиль 4) (выборка из 304 журналов).

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 5). *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 8–12.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12>

Publication activity in infographics (part 5)

ABSTRACT

The fifth section presents information on the number of views of article descriptions and views of articles per year of the journal “Agrarnaya Nauka” (on the website <https://www.elibrary.ru>). Statistical information is presented on the “Top 10 publications” by the number of views and the “Top 10 publications” by the number of downloads of full texts of articles per year on the eLIBRARY.RU portal.

29,673 views of articles per year according to the eLIBRARY.RU portal. According to this indicator, the journal is among the top 25% of journals in all studied reference groups.

1,673 downloads of articles of the journal “Agrarnaya Nauka” per year according to the eLIBRARY.RU portal.

The journal is among the top 50% of journals in the reference groups for:

- the group of Russian journals included in the core of the Russian Science Citation Index (a sample of 1,480 journals);
- the group of Russian journals included in the “White List” (level 4) (sample of 368 journals);
- the group of journals included in the Higher Attestation Commission list (sample of 3736 journals);
- the group of Russian journals included in the Scopus list (quartile 4) (sample of 304 journals).

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 5). *Agrarian science*. 2025; 397(08): 8–12 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-8-12>

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 (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» [14]. Для оценки научных журналов используют различные методики, например подсчет цитирований, расчет импакт-фактора, оценку по рейтингу журналов. [59].

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.

Материал 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 № 4–7 журнала «Аграрная наука» за 2025 г. [1–4]).

Хронологическое распределение информации о количестве просмотров описаний статей⁵ на сайте <https://www.elibrary.ru> представлено на рисунке 1.

Рост количества просмотров описаний статей за последние три года (с 21 367 до 29 673) свидетельствует об интересе ученых к опубликованным исследованиям в журнале.

На рисунке 2 представлена информация о «Топ-10 публикаций» по числу просмотров.

Анализ представленной информации (рис. 2) свидетельствует о существенных различиях поиска информации по названиям статей и ключевым

Рис. 1. Количество просмотров описаний статей журнала «Аграрная наука»

Fig. 1. Number of views of article descriptions in the journal «Agrarian Science»



Рис. 2. «Топ-10 публикаций» по числу просмотров

Fig. 2. «Top 10 publications» by number of views

1. БАЗОВАЯ ПИТАТЕЛЬНАЯ СРЕДА И КУЛЬТУРА ТКАНИ ГРЕЦКОГО ОРЕХА IN VITRO Ильченко З.А. Аграрная наука. 2010. № 3. С. 17-18.	468	1. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ КОШЕК В УСЛОВИЯХ МЕТАЛЛОЗИСА Шабалина А.А., Волочаева А.В., Параскина А.В., Шенкина Т.В., Шабалина М.В., Гусева Е.Е., Гусева И.А. Аграрная наука. 2019. № 10. С. 18-19.	399
2. УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЛЕНОВОДОДОВ И СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ К АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЯМ Лавина А.В., Гусева А.С., Ткаченко И.В., Ильяшенко В.В., Васильев В.В., Лавина Т.С. Аграрная наука. 2019. № 11. С. 27-29.	402	2. ПРОФИЛЬНАЯ РАБОТА КАК ЗАЛОГ ВЫСОКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОТРАСЛИ Васильев В.В., Лавина Т.С. Аграрная наука. 2019. № 9. С. 47-49.	180
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ В КОРМЛЕНИИ И ПРОЦЕДУРЫ МОНИТОРИНГА Колесникова А.А., Колесников К.А., Колесников С.А. Аграрная наука. 2007. № 9. С. 20-22.	264	3. АДАПТАЦИЯ КАК МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ РАСТЕНИЯМИ, РАСТЕНИЯМИ И НАСЕКОМЫМИ, РАСТЕНИЯМИ И МИКРООРГАНИЗМАМИ Колесников К.А., Колесников С.А. Аграрная наука. 2019. № 12. С. 37-41.	154
4. УБОРКА ГРЕЦКОГО ОРЕХА Ильченко З.А. Аграрная наука. 2006. № 2. С. 30-31.	250	4. ВЛИЯНИЕ ПОЧВЫ ГОРОДА МОСКВЫ С ПОСЛЕДСТВИЕМ ДОЖДЕЙ НА РАСТЕНИЯ Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А. Аграрная наука. 2019. № 12. С. 37-41.	121
5. ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ НАКОПИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ СМЫСЛЕ Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А. Аграрная наука. 2006. № 9. С. 12-14.	244	5. ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ДЕРМАТОМИКОЗОВ ЖИВОТНЫХ Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А. Аграрная наука. 2019. № 12. С. 37-41.	119
6. ТЕПЛОТЕПЛОТОВАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ И РОЛЬ ГЕНОМ ДОМАСТИКАЦИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ СМЫСЛЕ Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А. Аграрная наука. 2006. № 9. С. 12-14.	237	6. ФАКТОРЫ РИСКА И МИКРОБИОМ РАСТЕНИЙ Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А. Аграрная наука. 2019. № 12. С. 37-41.	101
7. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ТАБЛЕТОК НА ОСНОВЕ КЕТОПРОФЕНА И ГИДРОКОДИОНА СУЛЬФАТА Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А. Аграрная наука. 2006. № 11. С. 20-22.	201	7. СОВЕТ АНТИКОРРУПЦИОННОГО РАЙОННОГО ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ РФ В ОТНОШЕНИИ СОПРЯЖЕННЫХ РАСТЕНИЙ НА МАКРОУРОВНЕ (НА ПРИМЕРЕ КУКУРУЗЫ)	87
8. РАЗМНОЖЕНИЕ РАСТЕНИЙ НАЛИЧНЫМИ В УСЛОВИЯХ IN VITRO Ильченко З.А. Аграрная наука. 2007. № 9. С. 21-23.	200	8. «БЕЛЫЙ СПИСОК» — ОЦЕНКА ДЛЯ ОТЧЕТНОСТИ Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А. Аграрная наука. 2019. № 12. С. 37-41.	87
9. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ КОШЕК В УСЛОВИЯХ МЕТАЛЛОЗИСА Шабалина А.А., Волочаева А.В., Параскина А.В., Шенкина Т.В., Шабалина М.В., Гусева Е.Е., Гусева И.А. Аграрная наука. 2019. № 10. С. 18-19.	189	9. ОЦЕНКА ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ ВЫСОКИХ ПРОДУКТИВНОСТЕЙ ПО ГЕНОМНОМУ АНАЛИЗУ Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А. Аграрная наука. 2019. № 12. С. 37-41.	94
10. ДЕГУЛЬТИВАЦИЯ ТЕПЛОТОВАЯ ОПЕРАЦИЯМИ АДАПТИВНОСТИ РЕДА Ильченко З.А. Аграрная наука. 2006. № 9. С. 21-23.	189	10. НОВЫЕ ЗНАНИЯ СОРТА ВЛИЮТ НА СЕЛЕКЦИОННУЮ РАБОТУ Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А., Ильченко З.А. Аграрная наука. 2019. № 12. С. 37-41.	91

1) За всё время по числу просмотров
1) For all time by number of views

2) За пять лет по числу просмотров
2) For five years by number of views

3) За всё время по числу просмотров зарегистрированными пользователями портала eLIBRARY.RU
3) For all time by the number of views by registered users of the portal eLIBRARY.RU

4) За пять лет по числу просмотров зарегистрированными пользователями портала eLIBRARY.RU
4) For five years by the number of views by registered users of the portal eLIBRARY.RU

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.rcsi.science/ru/>

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

⁵ Число просмотров описаний статей в журнале пользователями портала eLIBRARY.RU за год. Учитываются статьи всех типов за все доступные годы. Повторные просмотры статьи одним и тем же пользователем не учитываются.

⁶ Выводится список из 10 наиболее часто просматриваемых статей журнала за всё время. Сортировка — по общему числу просмотров статьи на данный момент времени в порядке убывания. Под просмотром понимается открытие пользователем страницы с аннотацией статьи. Повторные просмотры статьи тем же пользователем не учитываются.

⁷ Выводится список из 10 наиболее часто просматриваемых статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.).

⁸ Выводится список из 10 наиболее часто просматриваемых статей журнала за всё время. Учитываются только просмотры, сделанные зарегистрированными пользователями портала eLIBRARY.RU. Сортировка — по общему числу просмотров статьи на данный момент времени в порядке убывания. Под просмотром понимается открытие пользователем страницы с аннотацией статьи. Повторные просмотры статьи тем же пользователем не учитываются.

⁹ Выводится список из 10 наиболее часто просматриваемых статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.). Учитываются только просмотры, сделанные зарегистрированными пользователями портала eLIBRARY.RU.

Интересная статистика представлена в таблице 1.

Таблица 1. «Популярные статьи» на официальном сайте журнала «Аграрная наука» (<https://www.vetpress.ru>)

Table 1. "Popular articles" on the official website of the journal "Agrarian Science" (<https://www.vetpress.ru>)

Выходные данные статьи	Кол-во просмотров
Ибрагимов А.Г. Экологические проблемы сельского хозяйства. <i>Аграрная наука</i> . 2019; (4): 73–75.	15 514
Дюльгер Г.П., Юлдашбаева А.Ю., Акчурина С.В., Седлецкая Е.С., Акчурина И.В., Бычков В.С., Латынина Е.С. Искусственное осеменение кроликов: современное состояние и практические возможности метода. <i>Аграрная наука</i> . 2021; (4S): 89–92. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-347-4-89-92	5060
Люсин Е.А. Профилактика и лечение эймериоза крупного рогатого скота. <i>Аграрная наука</i> . 2019; (7–8): 22–23.	4378
Кудачева Н.А. Дифференциальная диагностика меланоцитарных невусов и плоскоклеточных папиллом собак. <i>Аграрная наука</i> . 2020; (2): 10–12. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-335-2-10-12	3141
Гладышева О.В. Современные сорта пшеницы озимой и яровой в Рязанской области: продуктивность и качество зерна. <i>Аграрная наука</i> . 2018; (4): 35–37.	3044
Седов Е.Н., Янчук Т.В., Корнеева С.А. Новые зимние сорта яблони селекции ВНИИСПК (популяризация селекционных достижений). <i>Аграрная наука</i> . 2019; (5): 70–72. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-325-5-70-72	2891

Наибольшее количество просмотров (15 514) (табл. 1) у статьи, посвященной экологическим проблемам сельского хозяйства.

Индикаторы публикационной активности представлены на рисунках 3, 7.

Показатели публикационной активности журнала могут быть сопоставлены с соответствующими значениями показателей других журналов в пределах выбранной референтной группы.

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.

Шкалы индикаторов поделены на четыре равные зоны, которые на линейных индикаторах выделены оттенками серого, а на стрелочных — 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.

Число просмотров статей журнала «Аграрная наука» за год¹⁰ на линейных индикаторах представлено на рисунке 3.

29 673 просмотров статей за год — это данные портала eLIBRARY.RU.

Отмечаем, что журнал находится в наилучшей (самой светлой) зоне по всем группам журналов (рис. 3). По данному показателю журнал входит в число лучших 25% журналов всех референтных групп.

Хронологическое распределение информации о числе загрузок статей¹² на сайте <https://www.elibrary.ru> представлено на рисунке 4.

Рис. 4. Число загрузок статей журнала «Аграрная наука»

Fig. 4. Number of downloads of articles of the journal "Agrarian Science"



Рис. 3. Число просмотров статей за год

Fig. 3. Number of article views per year



¹⁰ Число просмотров страниц с аннотациями статей в журнале пользователями портала eLibrary.ru за год.

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).

¹² Число загрузок полных текстов статей в журнале пользователями портала eLibrary.ru за год. Учитываются статьи всех типов за все доступные годы. Зависит не только от интереса читателей, но и от объема журнала, глубины размещенного на eLibrary.ru архива и режима доступа (открытый или платный). Повторные загрузки статьи одним и тем же пользователем не учитываются.

Рис. 5. Сайты, где возможно безвозмездно скачать полные тексты статей, опубликованных в журнале «Аграрная наука»
Fig. 5. Sites where you can download free of charge the full texts of articles published in the journal "Agrarian Science"

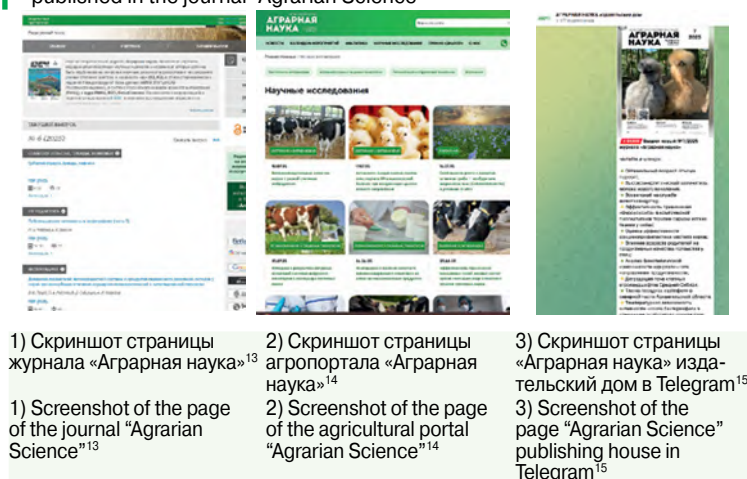


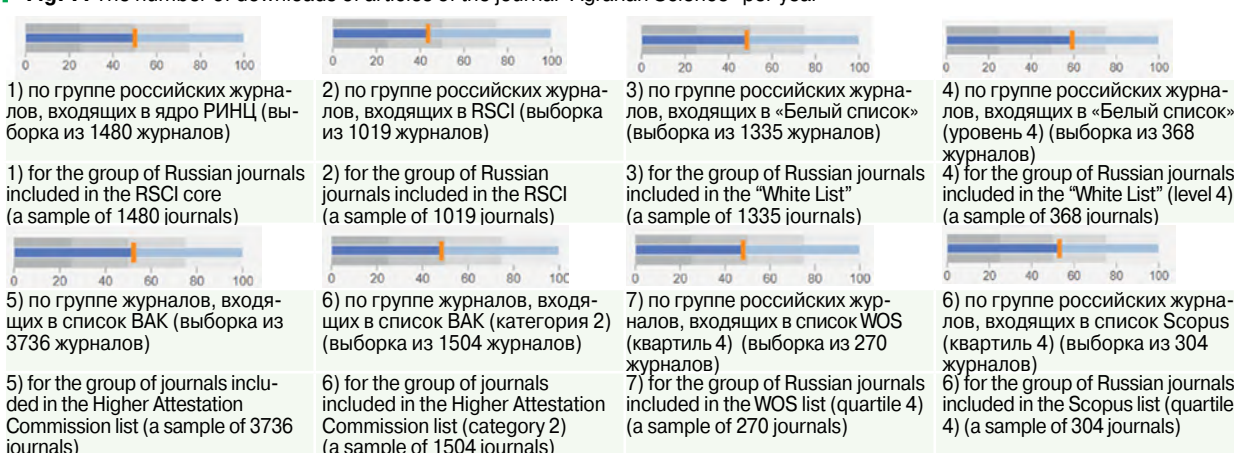
Рис. 6. «Топ-10 публикаций» по числу загрузок полных текстов статей за год на портале eLIBRARY.RU

Fig. 6. "Top 10 publications" by the number of downloads of full texts of articles per year on the eLIBRARY.RU portal



Рис. 7. Число загрузок статей журнала «Аграрная наука» за год

Fig. 7. The number of downloads of articles of the journal "Agrarian Science" per year



¹³ <https://www.vetpress.ru>

¹⁴ <https://agrarnayanauka.ru>

¹⁵ <https://web.telegram.org/k/#@agrarianscience>

¹⁶ Выводится список из 10 наиболее часто загружаемых статей журнала за 5 лет (2019–2023 гг.). Сортировка — по общему числу загрузок файла с полным текстом статьи на данный момент времени в порядке убывания. Повторные загрузки статьи тем же пользователем не учитываются.

¹⁷ Число загрузок полных текстов статей в журнале пользователями портала elibrary.ru за год. Учитываются статьи всех типов за все доступные годы. Зависит не только от интереса читателей, но и от объема журнала, глубины размещенного на elibrary.ru архива и режима доступа (открытый или платный). Повторные загрузки статьи одним и тем же пользователем не учитываются.

Выводы/Conclusions

На заседании редакционного журнала «Аграрная наука» в июне 2025 г. рассмотрен анализ ранжирования и публикационной активности журнала

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. 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; 394(05): 25–30. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30>
3. 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>
4. Ребезов М.Б., Виолин Б.В. Публикационная активность в инфографике (часть 4). *Аграрная наука*. 2025; 396(07): 8–13. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-8-13>
5. Vaughan L., Tang J., Yang R. Investigating disciplinary differences in the relationships between citations and downloads. *Scientometrics*. 2017; 111(3): 1533–1545. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2308-z>
6. Hu B., Ding Y., Dong X., Bu Y., Ding Y. On the relationship between download and citation counts: An introduction of Granger-causality inference. *Journal of Informetrics*. 2021; 15(2): 101125. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101125>
7. Хохлов А.Н., Моргунова Г.В. И пробуют, и хвалят, а замуж не берут: еще раз о связи скачиваний, просмотров и цитирований. *Научный редактор и издатель*. 2022; 7(2): 191–201. <https://doi.org/10.24069/SEP-22-47>
8. Ding Y., Dong X., Bu Y., Zhang B., Lin K., Hu B. Revisiting the relationship between downloads and citations: a perspective from papers with different citation patterns in the case of the Lancet. *Scientometrics*. 2021; 126(9): 7609–7621. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04099-3>
9. Хохлов А.Н. Как наукометрия стала самой важной наукой для исследователей любых специальностей. *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология*. 2020; 75(4): 195–199. <https://www.elibrary.ru/zjqcgg>

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

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

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

³ Всероссийский 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

за 2008–2023 гг. По результатам обсуждения предложен план мероприятий, направленных на повышение наукометрических показателей научного журнала.

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. 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; 394(05): 25–30 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-25-30>
3. 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>
4. Rebezov M.B., Violin B.V. Publication activity in infographics (part 4). *Agrarian science*. 2025; 396(07): 8–13 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-396-07-8-13>
5. Vaughan L., Tang J., Yang R. Investigating disciplinary differences in the relationships between citations and downloads. *Scientometrics*. 2017; 111(3): 1533–1545. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2308-z>
6. Hu B., Ding Y., Dong X., Bu Y., Ding Y. On the relationship between download and citation counts: An introduction of Granger-causality inference. *Journal of Informetrics*. 2021; 15(2): 101125. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2020.101125>
7. Khokhlov A.N., Morgunova G.V. And they try, and they praise, but they don't marry: Once again about the connection between downloads, views and citations. *Science Editor and Publisher*. 2022; 7(2): 191–201 (in Russian). <https://doi.org/10.24069/SEP-22-47>
8. Ding Y., Dong X., Bu Y., Zhang B., Lin K., Hu B. Revisiting the relationship between downloads and citations: a perspective from papers with different citation patterns in the case of the Lancet. *Scientometrics*. 2021; 126(9): 7609–7621. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-04099-3>
9. Khokhlov A.N. How scientometrics became the most important science for researchers of all specialties. *Bulletin of Moscow University. Series 16: Biology*. 2020; 75(4): 195–199 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zjqcgg>

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

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

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

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

УДК: 616.61.636.53

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-13-18

С.С. Глушенок ✉

Ю.Ю. Бартерева

А.С. Стратонов

М.В. Щипакин

Санкт-Петербургской
государственный университет
ветеринарной медицины,
Санкт-Петербург, Россия

✉ sunflower.92@mail.ru

Поступила в редакцию: 29.05.2025

Одобрена после рецензирования: 11.07.2025

Принята к публикации: 26.07.2025

© Глушенок С.С., Бартерева Ю.Ю.,
Стратонов А.С., Щипакин М.В.

Анатомо-топографические особенности почек кур кросса Хайсекс Уайт

РЕЗЮМЕ

Птицеводство в России занимает перспективное и стратегическое положение в агропромышленном комплексе, выступая ключевым источником обеспечения населения высококачественными белковыми продуктами, такими как мясо и яйцо. Система мочеотделения у домашних птиц имеет уникальные анатомические особенности, а именно отсутствие мочевого пузыря, прямое выведение мочи через клоаку. Почки птиц выполняют не только функцию фильтрации крови и вывода метаболитов, но и участвуют в кальциевом обмене, критически важном для формирования яичной скорлупы. В качестве материала исследования использовали свежие тушки 10 особей кросса Хайсекс Уайт. Исследование анатомо-топографических особенностей почек кур кросса Хайсекс Уайт выявило ряд различий между самцами и самками. У самцов почки крупнее, что обусловлено их большей массой тела и повышенной интенсивностью метаболических процессов. Более активный водно-солевой обмен, связанный с поведенческими факторами, требует у них увеличенной фильтрационной способности. У обоих полов обнаружена анатомическая асимметрия: левая почка превосходит правую по размерам. Это объясняется топографией: правая почка граничит с печенью, что ограничивает ее рост в краинальном направлении. Анализ кровоснабжения показал, что у самцов диаметр почечных сосудов больше, чем у самок. Данная особенность связана с влиянием тестостерона, который стимулирует развитие гладкой мускулатуры сосудов и усиливает ангиогенез. Кроме того, высокая масса тела самцов требует увеличенного кровотока для снабжения почек кислородом и питательными веществами. Эти морфологические различия отражают эволюционную адаптацию к половому диморфизму в физиологии и энергетическим потребностям, характерную для птиц. У кур кросса Хайсекс Уайт такие особенности выражены ярче из-за селекции на высокую продуктивность, что может усиливать половую специфику строения сосудистой системы.

Ключевые слова: куры кросса Хайсекс Уайт, почки, анатомические особенности, артерии, вены, морфометрия, мочевыделительная система

Для цитирования: Глушенок С.С., Бартерева Ю.Ю., Стратонов А.С., Щипакин М.В. Анатомо-топографические особенности почек кур кросса Хайсекс Уайт. *Аграрная наука*. 2025; 397 (08): 13–18.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-13-18>

Anatomical and topographic features of the kidneys of hens of the Hayesex White cross

ABSTRACT

Poultry farming in Russia occupies a promising and strategic position in the agro-industrial complex, acting as a key source of providing the population with high-quality protein products such as meat and eggs. The urinary system in domestic birds has unique anatomical features, namely the absence of a bladder, direct excretion of urine through the cloaca. The kidneys of birds perform not only the function of filtering blood and removing metabolites, but also participate in calcium metabolism, which is critically important for the formation of eggshells. Fresh carcasses of ten individuals of the Hysex White cross were used as the research material. A study of the anatomical and topographic features of the kidneys of hens of the Hysex White cross revealed a number of differences between males and females. In males, the kidneys are larger, which is due to their greater body weight and increased intensity of metabolic processes. A more active water-salt exchange associated with behavioral factors requires increased filtration capacity. Anatomical asymmetry was found in both sexes: the left kidney is larger than the right one. This is due to the topography: the right kidney borders the liver, which limits its growth in the cranial direction. Analysis of the blood supply showed that the diameter of the renal vessels in males is larger than in females. This feature is associated with the influence of testosterone, which stimulates the development of vascular smooth muscle and enhances angiogenesis. In addition, the high body weight of males requires increased blood flow to supply the kidneys with oxygen and nutrients. These morphological differences reflect the evolutionary adaptation to sexual dimorphism in physiology and energy requirements typical of birds. In hens of Hysex White, such features are more pronounced due to breeding for high productivity, which can enhance the sexual specificity of the vascular system structure.

Key words: Hysex White chicken cross, kidneys, anatomical features, arteries, veins, morphometry, urinary system

For citation: Glushonok S.S., Barteneva Yu.Yu., Stratonov A.S., Shchipakin M.V. Anatomical and topographic features of the kidneys of hens of the Hysex White cross. *Agrarian science*. 2025; 397 (08): 13–18 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-13-18>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-13-18

Sofia S. Glushonok ✉

Julia Yu. Barteneva

Andrey S. Stratonov

Mikhail V. Shchipakin

Saint Petersburg State University
of Veterinary Medicine, Saint Petersburg,
Russia

✉ sunflower.92@mail.ru

Received by the editorial office: 29.05.2025

Accepted in revised: 11.07.2025

Accepted for publication: 26.07.2025

© Glushonok S.S., Barteneva Yu.Yu.,
Stratonov A.S., Shchipakin M.V.

Введение/Introduction

Птицеводство в России занимает перспективное и стратегическое положение в агропромышленном комплексе, выступая ключевым источником обеспечения населения высококачественными белковыми продуктами. За последние десятилетия отрасль демонстрирует устойчивый рост: по данным Росстата¹, в январе 2025 года производство яиц достигло 3,355 млрд шт., что на 5,7% превышает показатели аналогичного периода 2024 года. Этот прогресс позволяет России не только сокращать зависимость от импорта, но и наращивать экспортные поставки, укрепляя экономику нашей страны.

Например, в 2024 году экспорт продукции птицеводства вырос на 25%, а к 2025 году география поставок расширилась до 55 стран, включая Китай, Саудовскую Аравию и государства Африки. Успехи отрасли связаны с внедрением современных технологий, модернизацией предприятий и развитием отечественной генетики, включая создание конкурентоспособных кроссов кур, таких как «Смена 9», который демонстрирует устойчивость к заболеваниям и высокую продуктивность [1–5].

Особое место в птицеводстве занимают яичные кроссы, среди которых выделяется Хайсекс Уайт. Его яйценоскость достигает 317 яиц в год на одну несушку при массе яйца до 75 г, что делает его одним из лидеров в промышленном производстве. Однако эффективность поголовья сохраняется лишь 2–3 года, что требует постоянного обновления стада и совершенствования селекционных программ. Эти процессы невозможны без глубокого понимания физиологии птиц, включая работу мочевыделительной системы, играющей критическую роль в поддержании их здоровья и продуктивности [6, 7].

Система мочеотделения у домашних птиц имеет уникальные анатомические особенности, а именно отсутствие мочевого пузыря, прямое выведение мочи через клоаку. Почки птиц выполняют не только функцию фильтрации крови и вывода метаболитов, но и участвуют в кальциевом обмене, критически важном для формирования яичной скорлупы. Нарушения в работе почек могут привести к снижению качества яиц, дефициту кальция и повышению смертности поголовья [8–11]. Так, при дисбалансе кислотно-щелочного равновесия или накоплении токсинов развивается остеопороз, что напрямую влияет на яйценоскость и жизнеспособность всего стада.

Для понимания механизма образования и уровня концентрации мочи у птиц нужно учитывать морфологические особенности почек. Эти факторы подчеркивают необходимость изучения морфологии и физиологии птиц, включая детальный анализ мочевыделительной системы и ее кровоснабжение, для оптимизации условий

содержания и повышения эффективности производства [12–14]. Таким образом, сочетание технологических инноваций, развития генетических ресурсов и глубокого понимания биологических процессов у птиц формирует основу для дальнейшего роста отрасли.

Данное исследование, посвященное курам кросса Хайсекс Уайт в контексте их анатомических и физиологических особенностей, является актуальной темой в достижении продовольственной безопасности и укреплении экспортного потенциала России в эпоху импортозамещения продукции сельского хозяйства.

Цели исследования — установить анатомо-топографические особенности строения почек кур кросса Хайсекс Уайт и определить морфометрические показатели данного органа у самцов и самок в сравнительном аспекте.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Настоящую научную работу осуществляли на кафедре анатомии животных Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины с 2024 по 2025 год.

В качестве материала исследования использовали тушки 10 кур кросса Хайсекс Уайт, распределенных на две группы: первая состояла из пяти самок весом $1,70 \pm 0,15$ кг, вторая — из пяти самцов со средней массой $2,50 \pm 0,22$ кг.

Трупный материал кур кросса Хайсекс Уайт был получен с птицефабрики, расположенной в Гатчинском районе Ленинградской области Российской Федерации, при этом возраст всех птиц находился в диапазоне 46–48 недель.

Для анализа анатомических особенностей почек и их сосудистой системы применяли комплекс традиционных методов, включающий тонкое анатомическое препарирование, морфометрию, фотофиксацию, а также создание коррозионных препаратов венозных и артериальных структур с использованием акриловых полимеров.

Точные замеры выполняли электронным штангенциркулем «Орбита ОТ-INM02» (Россия) с делением шкалы 0,01 мм, что обеспечило высокую детализацию данных [15–19].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

При исследовании почек кур кросса Хайсекс Уайт было установлено, что эти органы парные, имеют вытянутую форму и разделены на три выраженные доли: краниальную, медиальную и каудальную. Паренхима почек отличается насыщенным бурым цветом и зернистой структурой. Почки расположены в углублении пояснично-крестцовой области позвоночного столба и подвздошных костей, при этом краниальная часть находится за легкими. Краниальная часть левой почки граничит

¹ <https://rosstat.gov.ru/>

с шестым грудным позвонком, а правой почки — с седьмым. Каудальная часть до каудального края почечного вдавления в подвздошной кости.

Фиксация почек осуществляется четырьмя плотными белыми связками, берущими начало из серозной оболочки брюшной полости: по одной связке крепится к краниальной и каудальной долям, а к медиальной доле подходят две более короткие связки (рис. 1). Морфометрический анализ выявил, что краниальные и каудальные связки статистически одинаковы по длине, но на 32% длиннее медиальных. При этом у самцов все типы связок длиннее, чем у самок: краниальные и каудальные — на 12%, медиальные — на 11%.

При определении морфометрических показателей связок почек у кур кросса Хайсекс Уайт (табл. 1) было установлено, что длина краниальной связки и каудальной между двумя группами имеет достоверно одинаковые показатели, но преобладает над медиальными в среднем в 1,32 раза. Установили, что краниальная и каудальная связки у петухов длиннее в среднем в 1,12 раз, а медиальные — в 1,11 раза по сравнению с курочками.

Удлиненные связки почек у петушков связаны с анатомо-физиологическими особенностями, обусловленными половым диморфизмом. У самцов кур брюшная полость имеет иное строение из-за наличия семенников и более развитой мускулатуры. Удлиненные связки могут компенсировать смещение органов при движении или во время спаривания, обеспечивая стабильность почек. Гормональная функция, а именно выработка тестостерона, доминирующая у самцов, стимулирует рост соединительной ткани, включая связки. Это может объяснить равномерное увеличение длины всех типов связок на 11–12%. У петушков выше масса тела, что требует усиленной фиксации внутренних органов. Более длинные связки обеспечивают эластичность без потери прочности, снижая риск травм при физических нагрузках. Следовательно, различия в длине связок отражают адаптацию анатомии самцов к репродуктивной функции, двигательной активности и гормональному профилю.

При проведении морфометрического показателя долей правой и левой почек у кур кросса Хайсекс Уайт (табл. 2, 3) выявлены значительные половые различия. У петушков все доли почек превосходят аналогичные показатели курочек по длине и ширине.

В правой почке краниальная доля самок уступает самцам в 1,32 раза по длине и 1,30 раза по ширине, медиальная — в 1,31 и 1,29 раза, а каудальная — в 1,32 и 1,30 раза соответственно. В левой почке различия более выраженные: краниальная доля самок меньше на 1,33 (длина) и 1,30 (ширина), медиальная — на 1,31 и 1,30, каудальная — на 1,33 и 1,31 раза. При этом у обоих полов левая почка крупнее правой по всем параметрам, что подтверждается данными таблиц 2, 3.

Таблица 1. Морфометрические показатели связок почек кур кросса Хайсекс Уайт

Table 1. Morphometric parameters of kidney ligaments of Cours cross Highsex White

Показатели	Параметры	Группа 1-я	Группа 2-я
Краниальная связка	длина (мм)	10,97 ± 1,20	12,32 ± 1,30
Медиальные связки		8,36 ± 0,83	9,26 ± 0,90
Каудальная связка		11,03 ± 1,10	12,39 ± 1,25

Таблица 2. Морфометрические показатели долей правой почки кур кросса Хайсекс Уайт

Table 2. Morphometric parameters of the lobes of the right kidney of Cours cross Highsex White

Параметры	Показатели	Группа 1-я	Группа 2-я
Длина (мм)	Краниальная доля	24,37 ± 2,24	32,16 ± 3,30
	Медиальная доля	15,12 ± 1,15	19,80 ± 2,20
	Каудальная доля	31,61 ± 3,32	41,72 ± 4,42
Ширина (мм)	Краниальная доля	13,27 ± 1,13	17,25 ± 1,17
	Медиальная доля	8,27 ± 0,85	10,66 ± 1,11
	Каудальная доля	16,26 ± 1,16	21,13 ± 2,20

Таблица 3. Морфометрические показатели долей левой почки кур кросса Хайсекс Уайт

Table 3. Morphometric parameters of the lobes of the left kidney of Cours cross Highsex White

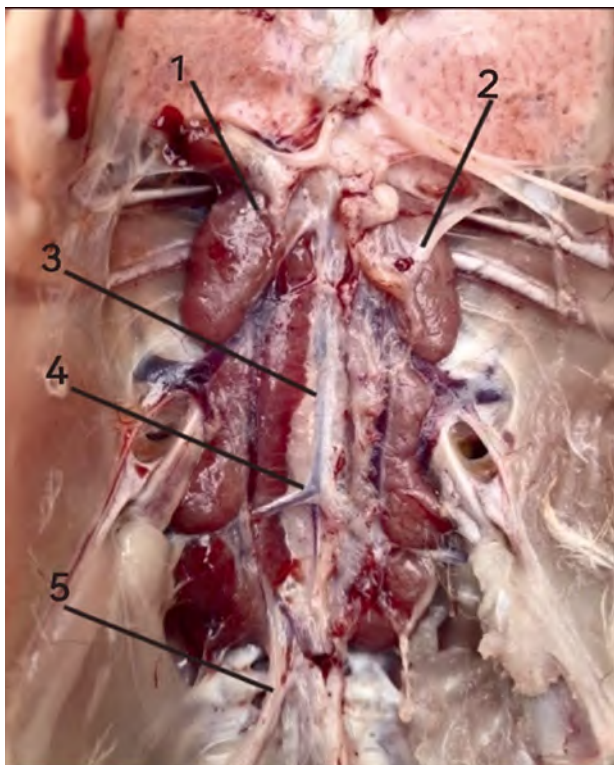
Параметры	Показатели	Группа 1-я	Группа 2-я
Длина (мм)	Краниальная доля	23,21 ± 2,23	30,86 ± 3,30
	Медиальная доля	21,32 ± 2,21	27,92 ± 2,28
	Каудальная доля	24,31 ± 2,24	32,33 ± 3,30
Ширина (мм)	Краниальная доля	14,23 ± 1,10	18,49 ± 1,20
	Медиальная доля	9,22 ± 0,95	11,98 ± 1,12
	Каудальная доля	15,11 ± 1,15	19,79 ± 1,85

Следовательно, увеличенные размеры почек у петушков коррелируют с их большей массой тела. Более активен водно-солевой обмен у самцов, связанный с поведенческими особенностями и мышечной массой, что требует усиленной фильтрационной способности. Анатомическая асимметрия выявляется в преимуществе левой почки в размерах у обоих полов, что объясняется топографическими особенностями: правая почка ограничена печенью, что лимитирует его рост в краниальном направлении.

У кур кросса Хайсекс Уайт магистральное артериальное кровоснабжение почек обеспечивается краниальными и каудальными почечными артериями. Краниальные артерии (правая и левая) ответвляются от чревной артерии, берущей начало из нисходящей аорты, тогда как каудальные почечные артерии начинаются от седалищных артерий продолжением от нисходящей аорты. От седалищных артерий отходят медиальные почечные артерии. Все эти сосуды проникают в соответствующие доли почек, где делятся на шесть междольковых артерий, которые далее ветвятся на внутريدольковые артерии, обеспечивая питание тканей. Венозный отток осуществляется через внутридольковые и междольковые вены, формирующие шесть ветвей. В области почечных ворот междольковые вены сливаются в краниальные и каудальные почечные вены: первые отводят кровь от

Рис. 1. Анатомия и васкуляризация почек курочек кросса Хайсекс Уайт 48-недельного возраста: 1 — правая почка; 2 — левая почка; 3 — нисходящая артерия; 4 — разветвление на правую и левую каудальные почечные артерии; 5 — мочеточник. Фото авторов

Fig. 1. Anatomy and vascularization of kidneys of 48-week-old female in Cours cross Highsex White: 1 — right kidney; 2 — left kidney; 3 — descending artery; 4 — branching into right and left caudal renal arteries; 5 — ureter. Photo by the authors



краниальных долей, вторые — от медиальных и каудальных. Оба сосуда впадают в общую подвздошную вену, которая соединяется с каудальной полой веной.

При изучении морфометрических показателей артерий и вен почек у кур кросса Хайсекс уайт (табл. 4, 5) было установлено, что диаметр почечных артерий и вен у самок в среднем в 1,31 раза меньше, чем у самцов.

Таким образом, проанализировав результаты исследований по системе кровоснабжения почек, авторы пришли к выводу, что тестостерон у самцов стимулирует рост гладкой мускулатуры сосудов и усиливает ангиогенез — это способствует увеличению диаметра артерий и вен. Эстрогены у самок, напротив, могут оказывать умеренное сосудорасширяющее действие, но не приводят к гипертрофии сосудистых стенок.

У самцов обычно выше масса тела и интенсивность метаболизма, что требует большего объема кровотока для обеспечения почек кислородом и питательными веществами. Размер почек самцов больше по сравнению с самками, что связывает необходимость более развитой сосудистой сети органа (рис. 2). Хотя у самок ресурсы могут перераспределяться в пользу репродуктивных органов (яичников), что ограничивает развитие почечных сосудов.

Таблица 4. Морфометрические показатели артерий почек у кур кросса Хайсекс Уайт

Table 4. Morphometric parameters of renal arteries in Cours cross Highsex White

Параметры	Показатели	Группа 1-я	Группа 2-я
Диаметр (мм)	Краниальная почечная артерия	1,75 ± 0,20	2,27 ± 0,22
	Медиальная почечная артерия	1,68 ± 0,20	2,20 ± 0,20
	Каудальная почечная артерия	1,84 ± 0,19	2,42 ± 0,25
	Седалищная артерия	2,46 ± 0,30	3,19 ± 0,35
	Междольковая артерия	0,91 ± 0,09	1,18 ± 0,10

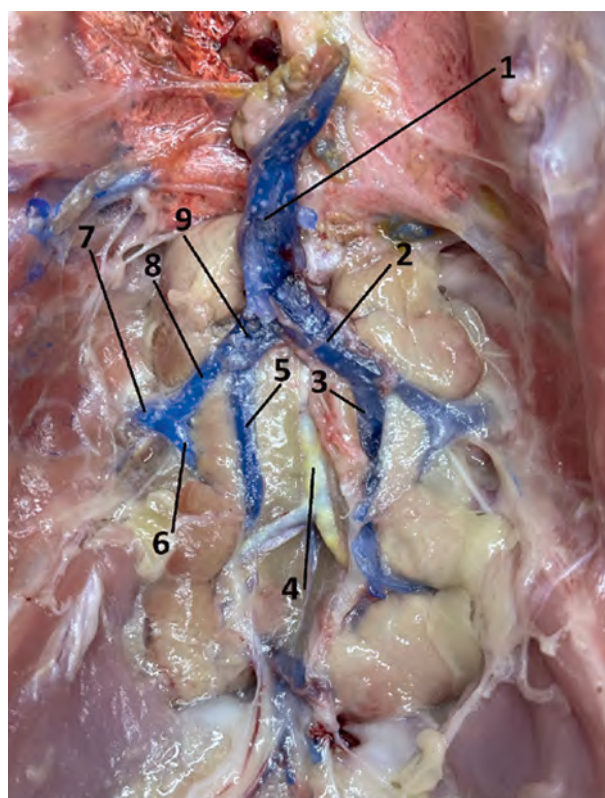
Таблица 5. Морфометрические показатели вен почек у кур кросса Хайсекс Уайт

Table 5. Morphometric parameters of kidney veins in Cours cross Highsex White

Параметры	Показатели	Группа 1-я	Группа 2-я
Диаметр (мм)	Междольковая вена почек	1,13 ± 0,15	1,46 ± 0,15
	Каудальная почечная артерия	2,15 ± 0,20	2,83 ± 0,30
	Краниальная почечная вена	1,93 ± 0,20	2,52 ± 0,25
	Большая подвздошная вена	4,01 ± 0,40	5,24 ± 0,50
	Каудальная полая вена	6,13 ± 0,60	7,61 ± 0,80

Рис. 2. Венозное русло органов пояснично-крестцовой области кур кросса Хайсекс Уайт 48-недельного возраста. Инъекция сосудов латексом: 1 — каудальная полая вена; 2 — левая краниальная почечная вена; 3 — левая поджелудочная вена; 4 — нисходящая артерия; 5 — правая поджелудочная вена; 6 — каудальная почечная вена; 7 — бедренная вена; 8 — подвздошная вена; 9 — правая краниальная почечная вена. Фото авторов

Fig. 2. Venous bed of the lumbosacral organs of the Hysex White 48-week-old chicken. Injection of vessels with latex: 1 — caudal vena cava; 2 — left cranial renal vein; 3 — left pancreatic vein; 4 — descending artery; 5 — right pancreatic vein; 6 — caudal renal vein; 7 — femoral vein; 8 — iliac vein; 9 — right cranial renal vein. Photo by the authors



Выводы/Conclusions

Исследование анатомо-топографических особенностей почек кур кросса Хайсекс Уайт выявило ряд различий между самцами и самками. У петухов почки крупнее, что обусловлено их большей массой тела и повышенной интенсивностью метаболических процессов. Более активный водно-солевой обмен, связанный с поведенческими факторами, требует у них увеличенной фильтрационной способности.

У птиц обоих полов обнаружена анатомическая асимметрия — левая почка превосходит правую по размерам. Это объясняется топографией: правая почка граничит с печенью, что ограничивает ее рост в краниальном направлении. Анализ кровоснабжения показал, что у петухов диаметр почечных сосудов больше, чем у курочек. Данная особенность, возможно, связана с влиянием тестостерона, который стимулирует развитие

гладкой мускулатуры сосудов и усиливает ангиогенез. Кроме того, высокая масса тела и интенсивный метаболизм самцов требуют увеличенного кровотока для снабжения почек кислородом и питательными веществами. Эти морфологические различия отражают эволюционную адаптацию к половому диморфизму в физиологии и энергетическим потребностям, характерную для птиц.

У кур Хайсекс уайт такие особенности выражены ярче из-за селекции на высокую продуктивность, что может усиливать половую специфику строения сосудистой системы.

Полученные данные имеют практическое значение: они могут помочь ветеринарным специалистам в диагностике почечных патологий, а также использоваться при разработке профилактических мер на птицефабриках и частных хозяйствах для поддержания здоровья поголовья.

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фисинин В.И. Динамика и перспективы развития мирового и отечественного птицеводства. Результаты работы яичного и мясного птицеводства России в 2024 году. *Птицеводство*. 2025; (3): 4–10. <https://www.elibrary.ru/igukic>
2. Басацкая Ю.С. Особенности мочевыделительной системы птиц. *Новое слово в науке и образовании. Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции*. Нефтекамск: Мир науки. 2024; 32–40. <https://www.elibrary.ru/ivcyuj>
3. Ылдырым Е.А. и др. Экспрессия ключевых генов в слепой кишке у кур линий CM5 и CM9 мясного кросса «Смена 9» на фоне замены рыбной муки. *Аграрная наука*. 2023; 374(9): 52–58. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-52-58>
4. Emamiylova Zh.V., Egorova A.V., Efimov D.N., Komarov A.A. Efficient highly productive new meat cross Smena-9 with federsex maternal parental form. *E3S. Web of Conferences*. 2021; 247: 01035. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701035>
5. Emanuylova Zh.V., Egorova A.V., Efimov D.N., Komarov A.A. New maternal line of the Cornish breed of the “Smena” selection and genetic center. *E3S. Web of Conferences*. 2021; 262: 02003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126202003>
6. Первенецкая М.В., Дикич А.А., Фоменко Л.В. Особенности ветвления венозных сосудов яйцевода и почек у курицы кросса Хайсекс белый. *Международный вестник ветеринарии*. 2019; (3): 81–85. <https://www.elibrary.ru/uvxqdy>
7. Первенецкая М.В. Ультрасонографическое исследование почек у курицы кросса Хайсекс белый. *In Situ*. 2022; (2): 47–49. <https://www.elibrary.ru/ivskay>
8. Глушенок С.С., Васильев Д.В., Былинская Д.С. Ход и ветвление восходящей аорты у крупного серого гуся (*Anser griseo magna*). *Иппология и ветеринария*. 2023; (1): 46–52. <https://www.elibrary.ru/hmuffv>
9. Глушенок С.С. Кровоснабжение почек у мускусной утки. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти доктора биологических наук, профессора, заслуженного работника Высшей школы РФ, почетного работника высшего профессионального образования РФ, почетного профессора Брянской ГСХА, почетного гражданина Брянской области Е.П. Ващекина*. Брянск: Брянский государственный аграрный университет. 2024; 43–46. <https://www.elibrary.ru/uafmtt>

REFERENCES

1. Fisinin V.I. Dynamics and prospects of the development of the world's and Russian poultry production. Poultry egg and meat production in Russian Federation in 2024. *Pitisevodstvo*. 2025; (3): 4–10 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/igukic>
2. Basatskaya Yu.S. Features of the urinary system of birds. *New word in science and education. Proceedings of the International (correspondence) scientific and practical conference*. Neftekamsk: Mir nauki. 2024; 32–40 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ivcyuj>
3. Yildirim E.A. et al. Expression of key genes in the caecum in CM5 and CM9 chickens of the meat cross “Smena 9” against the background of the replacement of fishmeal. *Agrarian science*. 2023; 374(9): 52–58 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-52-58>
4. Emamiylova Zh.V., Egorova A.V., Efimov D.N., Komarov A.A. Efficient highly productive new meat cross Smena-9 with federsex maternal parental form. *E3S. Web of Conferences*. 2021; 247: 01035. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701035>
5. Emanuylova Zh.V., Egorova A.V., Efimov D.N., Komarov A.A. New maternal line of the Cornish breed of the “Smena” selection and genetic center. *E3S. Web of Conferences*. 2021; 262: 02003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126202003>
6. Pervenetskaya M.V., Dikich A.A., Fomenko L.V. Features of the branching of the venous vessels of the oviduct and kidneys in the Highsex White cross. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2019; (3): 81–85 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/uvxqdy>
7. Pervenetskaya M.V. Ultrasonographic examination of the kidneys of a chicken cross Hisex White. *In Situ*. 2022; (2): 47–49 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ivskay>
8. Glushonok S.S., Vasiliev D.V., Bylinskaya D.S. Course and branching of the ascending aorta in a large gray goose (*Anser griseo magna*). *Hippology and Veterinary Medicine*. 2023; (1): 46–52 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/hmuffv>
9. Glushonok S.S. Blood supply to the kidneys in the musk duck. *Actual problems of intensive development of animal husbandry. International Scientific and practical conference dedicated to the memory of E.P. Vashchekin, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Professor of the Bryansk State Agricultural Academy, Honorary Citizen of the Bryansk Region*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University. 2024; 43–46 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/uafmtt>

10. Яковлева А.С., Глушонок С.С. Особенности анатомического строения почек кур-несушек кросса Lohmanbrown 120-дневного возраста. *Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны. Материалы XI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины. 2022; 470–471. <https://www.elibrary.ru/lcsnxi>
11. Casotti G., Beuchat C.A., Braun E.J. Morphology of the kidney in a nectarivorous bird, the Anna's hummingbird *Calypte anna*. *Journal of Zoology*. 1998; 244(2): 175–184. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1998.tb00023.x>
12. Abood D.A., Reshag A.F., Azhar S.K., Ahmed M.A. Comparative anatomical and histological features of the kidney in Harrier (*Circus aurogynosus*), Chicken (*Gallus domesticus*) and Mallard duck (*Anas platyrhynchos*). *The Iraqi Journal of Veterinary Medicine*. 2014; 38(1): 107–113. <https://doi.org/10.30539/iraqijvm.v38i1.262>
13. Краснолобова Е.П., Веремеева С.А. Особенности роста органов выделения у индеек мясного направления в постнатальном онтогенезе. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025; (2): 81–87. <https://www.elibrary.ru/qibwqn>
14. Reshag A.F., Abood D.A., Ektiffa S.K. Histological and Histochemical Characteristics of the Kidneys in Different Avian Species. *Australian Journal of Basic and Applied Science*. 2017; 11(16): 36–44. <https://doi.org/10.22587/ajbas.2017.11.16.5>
15. Первенецкая М.В., Фоменко Л.В. Особенности морфологии почек у индейки широкогрудой и утки пекинской. *Международный вестник ветеринарии*. 2020; (2): 174–178. <https://www.elibrary.ru/tscbvq>
16. Первенецкая М.В., Фоменко Л.В. Общая характеристика строения и массы почек у самок курообразных, гусеобразных, совообразных и соколообразных птиц. *Иппология и ветеринария*. 2021; (3): 130–135. <https://www.elibrary.ru/zbpasr>
17. Краснолобова Е.П. Морфометрические особенности почек суточных цыплят индеек. *Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов — регионам. Сборник научных трудов по результатам работы IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Вологда; Молочное: Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина. 2024; 3(2): 77–80. <https://www.elibrary.ru/gtslijx>
18. Хватов В.А. Васкуляризация почки лисицы обыкновенной. *Материалы Национальной научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов СПбГУВМ*. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины. 2024; 82–83. <https://www.elibrary.ru/zlmbqk>
19. Arasu A.T., Veerappan M., Subramanian S., Varadharajan A. Variations in the branching pattern of renal artery. *Asian Journal of Medical Sciences*. 2022; 13(12): 48–54. <https://doi.org/10.3126/ajms.v13i12.47325>

ОБ АВТОРАХ

София Сергеевна Глушонок

кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры анатомии животных
sunflower.92@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8972-4376>

Юлия Юрьевна Бартенева

кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры анатомии животных
bartjulia@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4581-2187>

Андрей Сергеевич Стратонов

кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры анатомии животных
vetdoc@my.com
<https://orcid.org/0009-0007-2976-4820>

Михаил Валентинович Щипакин

доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии животных
m.shchipakin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2960-3222>

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,
ул. Черниговская, 5, Санкт-Петербург, 196084, Россия

10. Yakovleva A.S., Glushonok S.S. Features of the anatomical structure of kidneys of laying hens of the Lohmann brown 120-day-old cross. *Knowledge of the young for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country. Proceedings of the XI International Scientific Conference of students, postgraduates and young scientists*. St. Petersburg: Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine. 2022; 470–471 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lcsnxi>

11. Casotti G., Beuchat C.A., Braun E.J. Morphology of the kidney in a nectarivorous bird, the Anna's hummingbird *Calypte anna*. *Journal of Zoology*. 1998; 244(2): 175–184. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1998.tb00023.x>

12. Abood D.A., Reshag A.F., Azhar S.K., Ahmed M.A. Comparative anatomical and histological features of the kidney in Harrier (*Circus aurogynosus*), Chicken (*Gallus domesticus*) and Mallard duck (*Anas platyrhynchos*). *The Iraqi Journal of Veterinary Medicine*. 2014; 38(1): 107–113. <https://doi.org/10.30539/iraqijvm.v38i1.262>

13. Krasnolobova E.P., Veremeeva S.A. Growth features of excretory organs in meat-producing turkeys in postnatal ontogenesis. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2025; (2): 81–87 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/qibwqn>

14. Reshag A.F., Abood D.A., Ektiffa S.K. Histological and Histochemical Characteristics of the Kidneys in Different Avian Species. *Australian Journal of Basic and Applied Science*. 2017; 11(16): 36–44. <https://doi.org/10.22587/ajbas.2017.11.16.5>

15. Pervenetskaya M.V., Fomenko L.V. Peculiarities of morphology of kidneys in broad-breasted turkey and Peking duck. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2020; (2): 174–178 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tscbvq>

16. Pervenetskaya M.V., Fomenko L.V. General characteristics of the structure and mass of the kidneys in female chickens, anseriformes, owls and falconiformes. *Hippology and Veterinary Medicine*. 2021; (3): 130–135 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zbpasr>

17. Krasnolobova E.P. Morphometric features of kidneys of day-old turkey chicks. *Young researchers of agro-industrial and forestry complexes — to regions. Collection of scientific papers based on the results of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Vologda; Molochnoe: Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin. 2024; 3(2): 77–80 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/gtslijx>

18. Khvatov V.A. Vascularization of the kidney of the common fox. *Proceedings of the National scientific conference of faculty, researchers and graduate students of the Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine*. St. Petersburg: Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine. 2024; 82–83 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zlmbqk>

19. Arasu A.T., Veerappan M., Subramanian S., Varadharajan A. Variations in the branching pattern of renal artery. *Asian Journal of Medical Sciences*. 2022; 13(12): 48–54. <https://doi.org/10.3126/ajms.v13i12.47325>

ABOUT THE AUTHORS

Sofia Sergeevna Glushonok

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Anatomy
sunflower.92@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8972-4376>

Yulia Yuryevna Barteneva

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Anatomy
bartjulia@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4581-2187>

Andrey Sergeevich Stratonov

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Animal Anatomy
vetdoc@my.com
<https://orcid.org/0009-0007-2976-4820>

Mikhail Valentinovich Shchipakin

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Animal Anatomy
m.shchipakin@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2960-3222>

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine,
5 Chernigovskaya Str., Saint Petersburg, 196084, Russia

УДК: 619:636.2.034

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-19-25

Е.О. Крупин

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

✉ evgeny.krupin@gmail.com

Поступила в редакцию: 12.03.2025

Одобрена после рецензирования: 11.07.2025

Принята к публикации: 26.07.2025

© Крупин Е.О.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-19-25

Evgeny O. Krupin

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture — subdivision of the «Federal Research Center «Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences», Kazan, Russia

✉ evgeny.krupin@gmail.com

Received by the editorial office: 12.03.2025

Accepted in revised: 11.07.2025

Accepted for publication: 26.07.2025

© Krupin E.O.

Взаимосвязь величины молочной продуктивности, содержания в молоке массовых долей жира и белка с показателями выбраковки коров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Животные выбраковываются под влиянием различных причин. Велика доля ветеринарных причин в целом и отдельных болезней в частности.

Методы. Объектом исследования служили сведения, извлеченные из базы программы ИАС «СЕЛЭКС. Молочный скот», касающиеся выбраковки 37 344 коров. Анализ проводили в разрезе нозологий: акушерско-гинекологических (АГБ), внутренних незаразных (ВНБ), хирургических (ХБ), инфекционных и инвазионных (ИИБ).

Результаты. Коровы, выбракованные в результате АГБ, характеризовались максимальными значениями: удоя за последнюю законченную и максимальную лактации, а также за их 100, 200 и 305 дней; массовой доли жира за законченную лактацию и ее 305 дней, равно как и за аналогичные периоды последней законченной и максимальной лактации; массовой доли белка за законченную лактацию; выходом молочного жира и белка за последнюю законченную и максимальные лактации, в том числе за 305 дней лактации. Животные, выбывшие по причине ВНБ, отличались максимальными значениями: массовой доли белка за лактацию, последнюю законченную и максимальные лактации, в том числе за их 305 дней. Особи, выбракованные вследствие ХБ, имели максимальные показатели: массовой доли жира за последнюю законченную и 305 дней последней законченной лактации и 305 дней максимальной лактации. Коровы, выбывшие из-за ИИБ, имели максимальные значения: удоя за все изучаемые периоды; выхода массовой доли жира и белка за законченные лактации, в том числе за 305 дней; коэффициента устойчивости лактации за все изучаемые. Установлены и минимальные значения изучаемых показателей, характерные для животных, выбывших в результате тех или иных групп нозологий.

Ключевые слова: молоко, жир, белок, лактация, выбраковка коров, молочная продуктивность, качество молока, устойчивость лактации

Для цитирования: Крупин Е.О. Взаимосвязь величины молочной продуктивности, содержания в молоке массовых долей жира и белка с показателями выбраковки коров. *Аграрная наука*. 2025; 397 (08): 19–25.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-19-25>

The relationship between the value of milk productivity, the content of fat and protein in milk by mass with the indicators of culling cows

ABSTRACT

Relevance. Animals are culled for various reasons. There is a high proportion of veterinary causes in general and individual diseases in particular.

Methods. The object of the study was information extracted from the database of the IAC «SELEX. Dairy cattle», concerning the culling of 37,344 cows. The analysis was performed in the context of nosologies: obstetric and gynecological (OGD), internal non-infectious (INCD), surgical (SD), infectious and invasive (IID).

Results. Cows culled as a result of OGD were characterized by the following maximum values: milk yield for the last completed and maximum lactation, as well as for their 100, 200 and 305 days; fat mass fraction for the completed lactation and its 305 days, as well as for similar periods of the last completed and maximum lactation; protein mass fraction for the completed lactation; yield milk fat and protein for the last completed and maximum lactation, including for 305 days of lactation. The animals that were eliminated due to INCD differed in the maximum values: the mass fraction of protein for lactation, the last completed and maximum lactation, including for their 305 days. Individuals culled due to SD had the highest values: the mass fraction of fat for the last completed and 305 days of the last completed lactation and for 305 days of maximum lactation. Cows that were eliminated due to IID had the maximum milk yield values for all studied periods; the yield of the mass fraction of fat and protein for completed lactation, including for 305 days; the coefficient of lactation stability for all studied. The minimum values of the studied indicators, characteristic of animals eliminated as a result of certain groups of nosologies, have also been established.

Key words: milk, fat, protein, lactation, cow culling, milk productivity, milk quality, lactation stability

For citation: Krupin E.O. The relationship between the value of milk productivity, the content of fat and protein in milk by mass with the indicators of culling cows. *Agrarian science*. 2025; 397 (08): 19–25 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-19-25>

Введение/Introduction

В настоящее время наблюдается тенденция к сокращению продуктивного долголетия молочных коров. Установлена прямая корреляция между уровнем молочной продуктивности и сроком хозяйственного использования. Средний возраст выбытия молочных коров из стада в Российской Федерации составляет примерно 2,5–3,0 лактации. Преждевременное завершение продуктивной жизни коров, обусловленное проблемами, возникающими с их здоровьем, представляется экономически невыгодным [1]. Это побуждает решать вопросы о восстановлении благополучия животных, складывающегося из большого количества факторов, немаловажный из которых — качество основных кормов и сбалансированность рационов в целом [2].

В.В. Крупицын и В.И. Котарев (2020 г.) в своей работе указывают на то, что основными причинами выбраковки импортного скота являются транспортный травматизм, нарушения обмена веществ, заболевания органов дыхания, пищеварения, молочной железы и копыт, которые связаны с адаптацией организма и воздействием производственных факторов. Авторы отмечают, что при беспривязном содержании дойного стада из-за интенсивной нагрузки основными причинами выбраковки являются болезни вымени, органов воспроизводства и конечностей. В условиях, когда применяется круглогодичное привязное содержание коров, из-за гиподинамии происходят серьезные нарушения обмена веществ, их доля возрастает существенно. Заболевания органов воспроизводства и болезни дистального отдела конечностей при этом в количественном выражении также велики [3].

Исследования показали, что продуктивное долголетие и способность к размножению тесно связаны между собой. О широком распространении родовых и послеродовых болезней у коров и их влиянии на воспроизводительную способность сообщали Т.Е. Григорьева, Т.С. Сергеева (2016 г.) [4, 5].

О.А. Басонов и О.Е. Павлова (2017 г.) установили, что основной причиной выбытия коров является не продуктивность, а яловость (29,2%) и гинекологические заболевания (17,2%), а также болезни обмена веществ, в частности кетоз. Высоким остается процент маститов (13,1%) и других заболеваний вымени (9,6 %), а также заболевания конечностей (10,2%) [6, 7].

В связи с этим, учитывая этиологию вышеуказанных патологий, важное значение имеет коррекция метаболического статуса коров в различные физиологические периоды для поддержания здоровья самок и получения от них качественного молока, поддержания здоровья молочной железы в целом и профилактики мастита в частности с целью сохранения здоровья приплода и др. [8–10].

По мнению В.Ф. Гридина и С.Л. Гридиной (2021 г.), в сельскохозяйственных организациях с высокой

продуктивностью происходит минимальное выбытие животных из-за низкой продуктивности, так как создаются однородные высокопродуктивные стада. Хотя причины, по которым коров выбраковывают, не только в том, что они дают много или мало молока, есть и другие важные — болезни [11, 12].

Считается, что при низкой выбраковке на первой лактации на последующих она будет высокой. И наоборот. Наибольший процент сохранности коров за три лактации составляет примерно 70,0. Э.В. Фирсова, А.П. Карташова (2019 г.) установили, что в Северо-Западном, Дальневосточном и Приволжском федеральных округах продуктивное долголетие черно-пестрых голштинских коров достигает 3,20, 3,18, 2,85 отела соответственно. У 36,2% коров жирность молока находится в диапазоне от 3,91 до 4,23%, у 21,8 % коров жирность превышает 4% [13–15].

Учет физиологических особенностей молокообразования и молокоотдачи у животных влияет не только на уровень эффективности машинного доения, но и на реализацию генетического потенциала продуктивности животных. Модернизация процесса машинного доения для увеличения количества и качества молока поможет продлить продуктивное долголетие животных [16, 17].

Повышение доли наследственности улучшающей породы в генотипе животного приводит к снижению выбраковки из-за слабого развития и низкой продуктивности и увеличению — из-за нарушения репродуктивной функции и болезней вымени. Установлено, что высококровные коровы доживают до старости и выбраковываются по вышеуказанным причинам вдвое чаще [18].

Качество и количество молока зависят и от здоровья конечностей. При тяжелых патологиях молочная продуктивность снижается. Между показателями экстерьерной оценки и качественными характеристиками молока обнаружены положительные корреляции [19, 20].

Пожизненный удой у коров с поздним первым отелом выше, чем у коров с ранним отелом. Каких-либо закономерностей по массовой доле жира и белка в молоке у коров с разным возрастом первого отела не выявлено. Сообщается, что среднегодовое содержание жира в молоке коров разных пород колебалось от 3,94 до 4,07%, причем у голштинов оно было выше. Содержание белка, соответственно, было в пределах 3,33–3,42%, а у черно-пестрых коров оно было выше на 2,63% [21, 22].

В целом можно разработать модельный тип молочной коровы для каждого хозяйства, учитывая продуктивность, продолжительность использования (более 3 отелов), срок первого плодотворного осеменения (16–18 мес.), живую массу (370–400 кг) [23].

Цель работы — проведение анализа показателей выбытия животных из стада, а именно молочной продуктивности, массовых долей жира и

белка, выхода молочного жира за лактации и их отдельные периоды, а также коэффициента устойчивости лактаций с учетом групп нозологий, обуславливающих выбраковку коров из стада.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования выполнены в отделе физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН. Проведен ретроспективный анализ, объектом которого служили сведения, извлеченные из базы программы ИАС «СЕЛЭКС. Молочный скот», касающиеся выбытия 37 344 коров из молочных стад 26 сельскохозяйственных предприятий, расположенных на территории Республики Татарстан за 2001–2023 гг. Анализ подтвердили те сведения, где в качестве причины выбытия коров значились болезни. Все нозологии были структурированы в следующие группы: акушерско-гинекологические болезни (АГБ), внутренние незаразные болезни (ВНБ), хирургические болезни (ХБ), инфекционные и инвазионные болезни (ИИБ). В целом исследования выполнены по ранее опубликованной автором методике в рамках дальнейшего развития выбранного направления исследований [24].

В статье приведены сведения в разрезе таких показателей, как: удой (в кг) за законченную лактацию, 100 дней, 200 дней и 305 дней законченной лактации, в том числе за последнюю законченную (ПЗЛ) и максимальную (МЛ); содержание в молоке (в %) массовых долей жира (МДЖ) и белка (МДБ), выход (в кг) молочного жира (ВМЖ) и белка (ВМБ) за законченную лактацию, 100 дней, 200 дней и 305 дней законченной лактации, в том числе за последнюю законченную и максимальную лактацию; коэффициент устойчивости законченной лактации (КУЛ), в том числе последней законченной и максимальной лактации.

Результаты обработали биометрически¹, а достоверность установили по критерию Стьюдента² с применением пакета офисных программ.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты, представленные на рисунке 1, указывают на то, что максимальным удоем за законченные лактации, в том числе и за 100, 200 и 305 дней, характеризовались животные, выбракованные по причине ИИБ, а минимальными — коровы, выбывшие из стада в результате ВНБ. Причем если за законченные лактации и за 305 дней лактаций разница в продуктивности животных составила между особями, выбракованными в результате ВНБ и ИИБ, 18,51% ($p > 0,05$) и 15,82% ($p > 0,05$)

соответственно, то аналогичная за 100 дней лактации была ниже на 5,79% и 3,10% и имела величину 12,72% ($p < 0,05$).

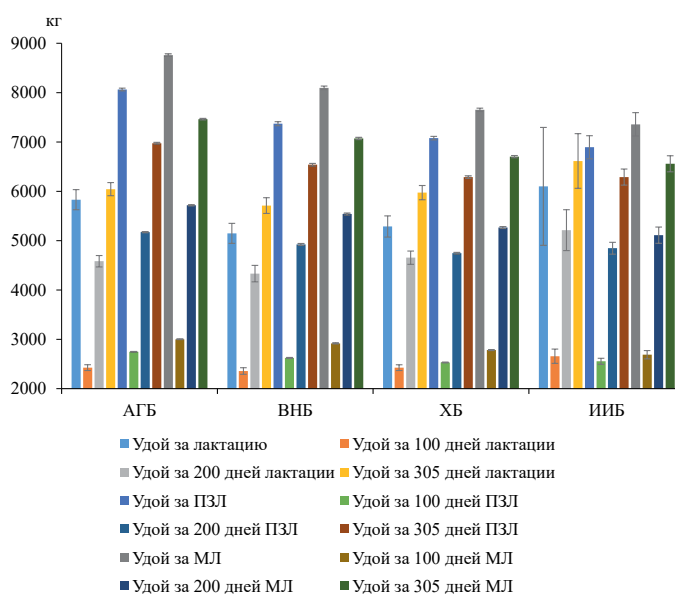
Максимальной разница в молочной продуктивности оказалась за 200 дней лактации — 20,25% ($p < 0,01$), что выше ранее упомянутых значений на 1,74% и 4,43%, а также 7,53% соответственно. Если рассматривать уровень молочной продуктивности с позиции последней законченной лактации, то стоит отметить, что наибольшей она была у животных, выбывших из стада по причине АГБ. Так, за законченные лактации разница между максимальным и минимальным значениями, полученными при выбраковке коров в результате ИИБ, составила 1170,80 кг, или же величина удоя была на 14,52% ниже, чем при АГБ ($p < 0,001$).

Минимальные показатели за 100, 200 и 305 дней последней законченной лактации были характерны особям, выбракованным вследствие ХБ: за 100 дней лактации — на 7,93% ($p < 0,001$) ниже, чем при АГБ, за 200 и 305 дней лактации — на 8,24% ($p < 0,001$) и 9,87% ($p < 0,001$) ниже. Наибольшим удоем за максимальные лактации характеризовались животные, выбывшие по причине АГБ, составившим 8758,86 кг, что на 19,04% больше ($p < 0,001$), чем у коров, выбракованных в результате ИИБ, величина удоя у которых была минимальной.

Кроме того, за все другие изучаемые периоды (100, 200 и 305 дней лактаций) удой коров, выбывших в результате ИИБ, был наименьшим, причем если за 100 и 200 дней различия с таковыми при АГБ оказались практически равными и составили 11,89% ($p < 0,001$) и 11,85% ($p < 0,001$) соответственно, то за 305 дней лактации они были выше

Рис. 1. Молочная продуктивность (удой) выбракованных коров (n = 37344)

Fig. 1. Milk productivity (milk yield) of culled cows (n = 37344)



¹ Плохинский А.Н. Биометрия. 2-е изд. / А.Н. Плохинский. М.: МГУ. 1970; 367.

² Усович А.Т. Применение математической статистики при обработке экспериментальных данных в ветеринарии / А.Т. Усович, П.Т. Лебедев. Омск: Западно-Сибирское книжное издательство, Омское отделение. 1970; 39.

на 1,90% и 1,94% и составили 13,79% ($p < 0,001$).

Рассматривая данные (рис. 2), стоит отметить, что наибольшей массовой долей жира в молоке как за законченную лактацию, так и за 305 дней отличались животные, выбракованные из стада по причине АГБ, тогда как минимальные значения были свойственны коровам, выбывшим в результате ИИБ и ХБ соответственно, при этом разница в массовых долях жира в абсолютном выражении составила 0,08% ($p > 0,05$) и 0,05% ($p < 0,001$) соответственно.

Иной была разница в массовых долях белка за упомянутый период. Так, если за законченную лактацию максимальное и равное значение содержания массовой доля белка отмечено у особей, выбракованных вследствие АГБ и ВНБ, то минимальное — при выбытии коров по причине ИИБ с абсолютной разницей показателей 0,05% в каждом случае ($p > 0,05$).

Наибольшую величину массовой доли белка в молоке за 305 дней лактации наблюдали при выбраковке особей в результате ВНБ (3,21%), что на 0,08% ($p < 0,01$) выше, чем таковое при ИИБ, и на 0,04% ($p < 0,01$) и 0,01% ($p > 0,05$) выше, чем при ХБ и АГБ соответственно. Если рассматривать содержание массовой доля жира в молоке за последнюю законченную лактацию, а также за 305 дней последней законченной лактации, то отмечено, что наибольшие значения данного показателя зарегистрированы при выбытии животных как вследствие АГБ, так и вследствие ХБ (по 3,83%), тогда как при ИИБ этот показатель был на 0,06% ($p < 0,001$) и 0,07% ($p < 0,001$) ниже.

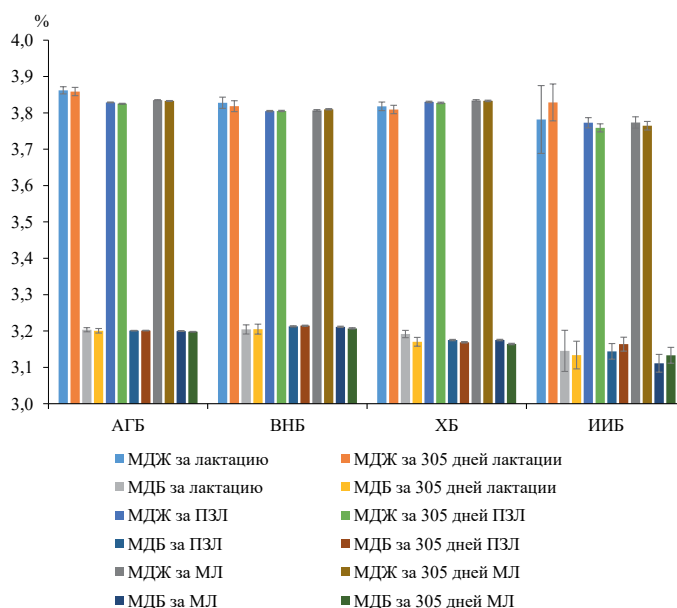
Максимальные величины массовой доли белка за последнюю законченную лактацию, равно как и за 305 дней, наблюдали у коров, выбракованных по причине ВНБ (3,21%), тогда как наиболее низкими были показатели при выбытии коров в результате ИИБ — 3,14% и 3,16% соответственно, что ниже в абсолютном выражении на 0,07% ($p < 0,001$) и 0,05% ($p < 0,01$).

Минимальное содержание жира в молоке за максимальную лактацию и 305 дней лактации отмечено у особей, выбракованных в результате ИИБ (3,77% и 3,76% соответственно), тогда как наибольшее — при выбытии животных вследствие АГБ (за максимальную лактацию в целом) и выбраковке коров по причине АГБ и ХБ, если рассматривать 305 дней максимальной лактации, что выше максимальных значений в каждом из случаев на 0,07% ($p < 0,001$ в каждом случае).

Различия в массовой доле белка в молоке за максимальные лактации в целом, равно как и за 305 дней лактации, схожи с

Рис. 2. Массовые доли жира и белка в молоке выбракованных коров (n = 37344)

Fig. 2. Mass fractions of fat and protein in milk of culled cows (n = 37344)

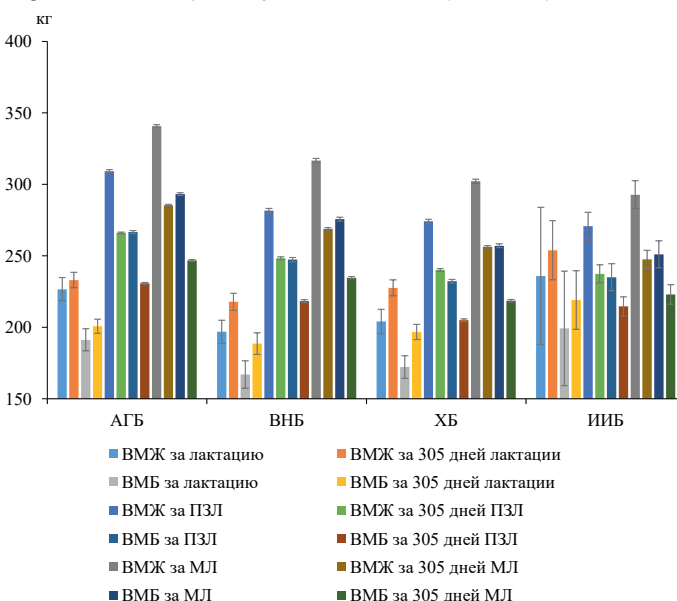


такowymi за последнюю законченную лактацию. В частности, совпадают величины максимальных значений — 3,21%, причем выявлены они и в тех случаях, когда особи выбыли из стада по причине ВНБ, однако несколько большей была разница с минимальными значениями показателя, зафиксированными при выбраковке коров от ИИБ, составившая 0,10% ($p < 0,01$) и 0,08% ($p < 0,001$) соответственно.

Из результатов (рис. 3) следует, что наибольший выход молочного жира и белка как за законченную, так и за их 305 дней был характерен для животных, выбракованных из стада по причине ИИБ, и составлял в отношении молочного жира 235,92 кг и 253,87 кг, а молочного белка — 199,25 кг и 219,11 кг соответственно.

Рис. 3. Выход молочного жира и белка у выбракованных коров (n = 37344)

Fig. 3. Milk fat and protein yield in culled cows (n = 37344)



Минимальным выходом как жира, так и белка отличались коровы, выбывшие в результате ВНБ. Так, выход молочного жира был ниже аналогичного при ИИБ на 16,55% ($p > 0,05$) и 14,19% ($p < 0,05$) за законченную лактацию и 305 дней лактации, а выход молочного белка — на 16,19% ($p > 0,05$) и 13,95% ($p > 0,05$) соответственно.

С точки зрения последней законченной лактации, равно как и ее 305 дней, максимальный выход молочного жира и белка отмечен у особей, выбракованных вследствие АГБ, тогда как наименьший выход молочного жира установлен у животных, выбывших по причине ИИБ (на 12,46% ($p < 0,001$) и 10,57% ($p < 0,001$) ниже), а наименьший выход молочного белка — у коров, выбракованных вследствие ХБ (на 10,79% ($p < 0,001$) и 11,20% ($p < 0,001$) ниже аналогичного при АГБ).

Максимальные показатели выхода молочного жира и белка за максимальную лактацию, равно как и за 305 дней, наблюдали у особей, выбывших в результате АГБ. Минимальный выход молочного жира за законченную максимальную лактацию и 305 дней выявлен у животных, выбракованных по причине ИИБ, и был ниже такового при АГБ на 14,11% ($p < 0,001$) и 13,29% ($p < 0,001$) соответственно. Наименьший выход молочного белка за законченную максимальную лактацию и 305 дней наблюдали у коров, выбывших в результате ИИБ и ХБ соответственно, что меньше аналогичного при АГБ на 14,37% ($p < 0,001$) и 11,41% ($p < 0,001$) соответственно.

Рассматривая величины коэффициента устойчивости лактации (рис. 4), стоит отметить, что его наименьшей величиной за законченную и последнюю законченную лактации характеризуются животные, выбракованные по причине ВНБ — 82,48% и 87,19% соответственно, что на 6,90% ($p > 0,05$) и 2,60% ($p > 0,05$) ниже максимальных значений показателя, наблюдаемых у коров, выбывших в результате ИИБ.

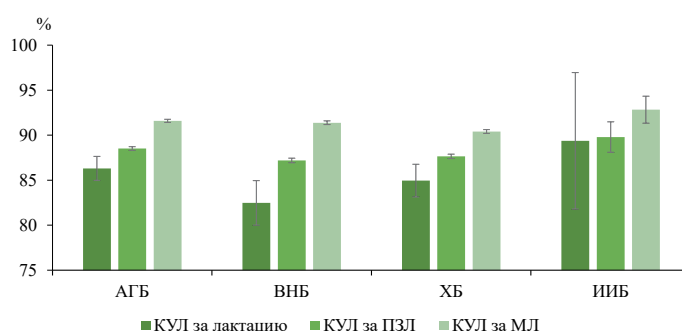
Наиболее высокими значениями показателя за максимальную лактацию характеризовались особи, выбракованные вследствие ИИБ (92,84%), тогда как аналогичный показатель был минимальным у коров, выбывших по причине ХБ (90,41%), что на 1,18% ($p < 0,001$) и 0,97% ($p < 0,001$) ниже, чем при АГБ и ВНБ соответственно.

Выводы/Conclusions

Коровы, выбракованные в результате акушерско-гинекологических болезней, характеризовались максимальными значениями: удоя за последнюю законченную и максимальную лактации, а также за их 100, 200 и 305 дней; массовой доли жира за законченную лактацию и ее 305 дней, равно как и за аналогичные периоды последней законченной и максимальной лактации; массовой доли белка за законченную лактацию; выходом молочного жира и белка за последнюю

Рис. 4. Коэффициент устойчивости лактации у выбракованных коров ($n = 37344$)

Fig. 4. Lactation stability coefficient in culled cows ($n = 37344$)



законченную и максимальные лактации, в том числе за 305 дней лактации.

Животные, выбывшие по причине внутренних незаразных болезней, отличались максимальными значениями массовой доли белка за лактацию, последнюю законченную и максимальные лактации, в том числе и за их 305 дней; минимальными значениями удоя во все изучаемые периоды, а также выхода молочного жира и белка за законченную лактацию и ее 305 дней; коэффициентом устойчивости лактации за законченные и последнюю законченную лактации.

Особь, выбракованные вследствие хирургических болезней, имели максимальные показатели: массовой доли жира за последнюю законченную и 305 дней последней законченной лактации; массовой доли жира за 305 дней максимальной лактации; минимальные значения величины удоя за 100, 200 и 305 дней последней законченной лактации; массовой доли жира за законченные лактации; выхода молочного белка за последнюю законченную лактацию и ее 305 дней; выхода молочного белка за 305 дней максимальной лактации; коэффициента устойчивости лактации за максимальную лактацию.

Коровы, выбывшие из-за инфекционных и инвазионных болезней, имели максимальные значения: удоя за все изучаемые периоды; выхода массовой доли жира и белка за законченные лактации, в том числе за 305 дней; коэффициента устойчивости лактации за все изучаемые, а также минимальные значения: удоя за последнюю законченную лактацию; удоя за максимальную лактацию и 100, 200 и 305 дней максимальной лактации; массовой доли жира и белка за все изучаемые лактации, за исключением массовой доли жира за 305 дней законченной лактации; выхода молочного жира за последнюю законченную и максимальную лактации и их 305 дней; выхода молочного белка за максимальную лактацию.

Полученные новые знания эффективны в установлении групп животных, потенциально имеющих высокий риск выбраковки, а также полезны при разработке плана профилактических мероприятий в условиях сельхозпредприятия.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные. Автор внес вклад в работу 100%. Автор принимал участие в написании рукописи и несет ответственность за плагиат. Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the presented data. The author contributed 100% to the work. The author participated in writing the manuscript and is responsible for plagiarism. The author declared no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания «Совершенствование комплексных отечественных технологий селекции, растениеводства и животноводства на основе идентификации высокоценных генотипов, молекулярно-генетических методов, биотехнологий, конструирования адаптивных и высокопродуктивных агробиocenозов и агроэкосистем для производства экологически безопасной и функциональной продукции» (№ 125031003428-9).

FUNDING

The research was carried out within the framework of a state assignment "Improvement of integrated domestic technologies of selection, plant growing and livestock farming based on identification of high-value genotypes, molecular genetic methods, biotechnology, construction of adaptive and highly productive agrobiocenoses and agroecosystems for production of ecologically safe and functional products" (No. 125031003428-9).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скворцова Е.Г., Скворцов Е.А. Влияние продуктивного долголетия молочных коров на экономическую эффективность производства молока. *Аграрное образование и наука*. 2024; (3): 42–51. <https://elibrary.ru/uapfyi>
2. Крупин Е.О., Шакиров Ш.К., Казеева Н.А. Тенденции изменения энергетической и протеиновой питательности силоса кукурузного в Республике Татарстан. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2021; 246: 107–111. <https://elibrary.ru/xqjqto>
3. Крупицын В.В., Котарев В.И. Показатели молочной продуктивности коров, разводимых в хозяйствах Воронежской области, с учетом анализа основных технологических причин их выбраковки. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020; (4): 232–239. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-4-232-239>
4. Ливчиков А.С. Влияние способов содержания на продуктивное долголетие и воспроизводительные качества крупного рогатого скота. *Инновационные технологии в зоотехнии и ветеринарии. Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции*. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2023; 57–61. <https://elibrary.ru/doztct>
5. Григорьева Т.Е., Сергеева Н.С. Распространение родовых и послеродовых болезней у коров и их влияние на воспроизводительную способность. *Ветеринарная патология*. 2016; (2): 49–54. <https://elibrary.ru/yzarcv>
6. Басонов О.А., Павлова О.Е. Продолжительность хозяйственного использования коров от уровня их молочной продуктивности. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017; (4): 103–107. <https://doi.org/10.18286/1816-45-2017-4-103-107>
7. Крупин Е.О., Шакиров Ш.К., Зухрабов М.Г. Влияние сбалансированного кормления коров в сухостойный период на содержание макро- и микроэлементов в молозиве и молоке. *Аграрный научный журнал*. 2019; (11): 65–69. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i11pp65-69>
8. Крупин Е.О., Зухрабов М.Г., Шакиров Ш.К. Молочная продуктивность, состав и качество молока высокопродуктивных коров на фоне направленного регулирования обмена веществ. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2010; 203: 134–140. <https://elibrary.ru/sbdlxs>
9. Алиев А.Ю. Применение препарата «Энрофлон® гель» для лечения коров, больных субклиническим маститом. *Аграрная наука*. 2021; (4S): 41–44. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-347-4-41-44>
10. Smolentsev S.Yu. et al. The Quality of Meat and Eggs of Laying Hens When Adding Succinic Acid Drug to the Diet. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020; 15(6): 1462–1464.
11. Гридин В.Ф., Гридина С.Л. Анализ причин выбраковки коров при различной молочной продуктивности. *Вестник биотехнологии*. 2021; (2): 4. <https://www.elibrary.ru/vtlpgu>
12. Майоров В.А., Козловский В.Ю., Сычева О.В. К вопросу о сроках использования молочного скота. *Вестник АПК Ставрополя*. 2015; (1): 154–157. <https://www.elibrary.ru/txgemp>
13. Черепанов Г.Г., Богданова Н.А. К анализу возрастной динамики молочной продуктивности и выбраковки молочных коров: разработка метода и его апробация. *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2012; (1): 110–119. <https://www.elibrary.ru/ouwwlp>
14. Закирова Р.Р., Куликова Е.И., Алыпova Е.Л., Березкина Г.Ю. Воспроизводительные качества коров-первотелок и анализ причин их выбраковки. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022; (7): 139–144. <https://www.elibrary.ru/vqyzqu>

REFERENCES

1. Skvortsova E.G., Skvortsov E.A. Influence of productive longevity of dairy cows on the economic efficiency of milk production. *Agrarian education and science*. 2024; (3): 42–51 (in Russian). <https://elibrary.ru/uapfyi>
2. Krupin E.O., Shakirov Sh.K., Kazeeva N.A. Trends of change in energy and protein value of corn silage in the Republic of Tatarstan. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2021; 246: 107–111 (in Russian). <https://elibrary.ru/xqjqto>
3. Krupitsyn V.V., Kotarev V.I. Indicators of dairy productivity of cows bred in farms of the Voronezh region with the analysis of main technological reasons for their culling. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020; (4): 232–239 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2020-4-232-239>
4. Livchikov A.S. The influence of maintenance methods on dairy productivity, longevity and reproductive qualities of cattle. *Innovative technologies in animal science and veterinary medicine. Collection of articles of the V All-Russian scientific and practical conference*. Penza: Penza State Agrarian University. 2023; 57–61 (in Russian). <https://elibrary.ru/doztct>
5. Grigorieva T.E., Sergeeva N.S. Spread of delivery and postpartum diseases in cows and their influence on reproductive ability. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2016; (2): 49–54 (in Russian). <https://elibrary.ru/yzarcv>
6. Basonov O.A., Pavlova O.E. Duration of economic use of cows depending on their milk productivity level. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2017; (4): 103–107 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-45-2017-4-103-107>
7. Krupin E.O., Shakirov Sh.K., Zuhrafov M.G. The impact of the balanced feeding of cows in the dry period on the content of macro- and microelements in colostrum and milk. *Agrarian scientific journal*. 2019; (11): 65–69 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i11pp65-69>
8. Krupin E.O., Zuhrafov M.G., Shakirov Sh.K. Milk yield, composition and quality of cows milk in the presence of directional regulation of metabolism. *Scientific notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2010; 203: 134–140 (in Russian). <https://elibrary.ru/sbdlxs>
9. Aliev A.Yu. Application of the drug "Enroflon® gel" for the treatment of cows with subclinical mastitis. *Agrarian science*. 2021; (4S): 41–44 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-347-4-41-44>
10. Smolentsev S.Yu. et al. The Quality of Meat and Eggs of Laying Hens When Adding Succinic Acid Drug to the Diet. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2020; 15(6): 1462–1464.
11. Gridin V.F., Gridina S.L. Analysis of the reasons for culling cows with different milk productivity. *Bulletin of biotechnology*. 2021; (2): 4 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vtlpgu>
12. Maiorov V.A., Kozlovsky V.Yu., Sycheva O.V. On effective dairy cattle use term. *Agrarian Bulletin of Stavropol Region*. 2015; (1): 154–157 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/txgemp>
13. Cherepanov G.G., Bogdanova N.A. On analysis of the age dynamics of milk yields and culling of dairy cows: construction of a method and its verification. *Problems of productive animal biology*. 2012; (1): 110–119 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ouwwlp>
14. Zakirova R.R., Kulikova E.I., Aлыпova E.L., Berezkina G.Yu. Reproductive qualities of primary cows and analysis of the reasons for their culture. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2022; (7): 139–144 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vqyzqu>

15. Фирсова Э.В., Карташова А.П. Голштинская порода скота в Российской Федерации, современное состояние и перспективы развития. *Генетика и разведение животных*. 2019; (1): 62–69. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-1-62-69>
16. Тихомиров И.А., Скоркин В.К., Рахманова Т.А. Соблюдение технологии машинного доения — залог повышения качества молока и продуктивного долголетия коров. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2017; (4): 53–60. <https://www.elibrary.ru/zwiwzgx>
17. Леонов А.Н., Китиков В.О. Оптимизация процесса машинного доения. *Весті Національної академії наук Беларусі. Серія аграрних наук*. 2014; (1): 93–100. <https://www.elibrary.ru/udcuut>
18. Гнатюк С.И., Гнатюк М.А. Особенности отбора, выбраковки и продуктивного долголетия молочного скота в зависимости от факторов наследственной природы. *Научный вестник Луганского государственного аграрного университета*. 2022; (3): 16–22. <https://www.elibrary.ru/fvmaxj>
19. Комаров В.Ю. Распространение заболеваний дистального отдела конечностей крупного рогатого скота в условиях современного животноводческого комплекса. *Вестник аграрной науки*. 2022; (1): 54–59. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.1.54>
20. Романова Е.А., Тулинова О.В., Позовникова М.В., Васильева Е.Н., Петрова А.В., Лейбова В.Б. Связь экстерьерных признаков с компонентным составом молока у айрширских коров. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2023; (2): 71–77. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/2/71-77>
21. Бакай Ф.Р., Кривикова А.Н., Мехтиева К.С. Продуктивное долголетие и воспроизводительные качества у коров разных генотипов. *Инновационная наука*. 2022; (5–1): 39–40. <https://www.elibrary.ru/hrlcpx>
22. Трухачев В.И., Олейник С.А., Злыднев Н.З., Покотило А.А., Ершов А.М. Направления селекционного улучшения черно-пестрых пород крупного рогатого скота. *Вестник АПК Ставрополя*. 2020; (4): 52–55. <https://www.elibrary.ru/zxsqpu>
23. Васильева О.К., Сафронов С.Л. Модельный тип молочной коровы при разных технологиях производства молока. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2018; 52: 89–96. <https://www.elibrary.ru/yndqex>
24. Крупин Е.О. Интерьерные показатели выбракованных животных в зависимости от группы нозологий. *Аграрный научный журнал*. 2024; (7): 71–76. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp71-76>
15. Firsova E.V., Kartashova A.P. Holstein breed of the cattle in the Russian Federation, the current state and the prospects of development. *Genetics and breeding of animals*. 2019; (1): 62–69 (in Russian). <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-1-62-69>
16. Tikhomirov I.A., Skorkin V.K., Rakhmanova T.A. The compliance with machine milking technology is the key of milk quality and cows' productive longevity improving. *Journal of VNIIMZH*. 2017; (4): 53–60 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zwiwzgx>
17. Leonov A.N., Kitikov V.O. Optimization of the machine milking process. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*. 2014; (1): 93–100 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/udcuut>
18. Gnatyuk S.I., Gnatyuk M.A. Features of selection, culture and productive longevity of dairy cattle depending on factors of hereditary nature. *Nauchnyy vestnik Luganskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022; (3): 16–22 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/fvmaxj>
19. Komarov V.Yu. Distribution of diseases of the distal limb of cattle in the conditions of modern livestock complex. *Bulletin of agrarian science*. 2022; (1): 54–59 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.1.54>
20. Romanova E.A., Tulinova O.V., Pozovnikova M.V., Vasilyeva E.N., Petrova A.V., Leibova V.B. Relationship between exterior features with milk component composition of Ayrshire cows. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2023; (2): 71–77 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/2/71-77>
21. Bakay F.R., Krovikova A.N., Mekhtiyeva K.S. Productive longevity and reproductive qualities in cows of different genotypes. *Innovatsionnaya nauka*. 2022; (5–1): 39–40 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/hrlcpx>
22. Trukhachev V.I., Oleynik S.A., Zlydnev N.Z., Pokotilo A.A., Ershov A.M. The directions for breeding improvement of Black-White cattle breeds. *Agrarian Bulletin of Stavropol Region*. 2020; (4): 52–55 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zxsqpu>
23. Vasilyeva O.K., Safronov S.L. Model type of dairy cow with different technologies of milk production. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018; 52: 89–96 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yndqex>
24. Krupin E.O. Interior indicators of culled animals depending on the nosology group. *Agrarian scientific journal*. 2024; (7): 71–76 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp71-76>

ОБ АВТОРАХ

Евгений Олегович Крупин

доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник
отдела физиологии, биохимии, генетики
и питания животных
evgeny.krupin@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8086-1788>

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Оренбургский тракт, 48, Казань, 420059, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Evgeny Olegovich Krupin

Doctor of Veterinary Sciences, Leading Researcher of the Department
of Physiology, Biochemistry, Genetics and Animal Nutrition
evgeny.krupin@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8086-1788>

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture — subdivision of the «Federal Research Center «Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»,

48 Orenburg tract, Kazan, 420059, Russia

Сисей Ансу¹ ✉С.Ф. Назимкина¹Ж.Ю. Мурадян¹Е.А. Люсин²

¹Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Москва, Россия

²ООО «Группа компаний ВИК», Островцы, г. о. Раменский, Московская обл., Россия

✉ ansuceesay4@gmail.com

Поступила в редакцию: 20.05.2025

Одобрена после рецензирования: 11.07.2025

Принята к публикации: 26.07.2025

© Сисей Ансу, Назимкина С.Ф., Мурадян Ж.Ю., Люсин Е.А.

Терапевтическая эффективность препарата «Лактико» при лечении коров с субклиническим маститом

РЕЗЮМЕ

Представлены экспериментальные данные по применению препарата «Лактико» и оценка эффективности при лечении коров с субклиническим маститом. Диагноз «субклинический мастит» подтверждали на основании пробы с диагностиком для определения соматических клеток при использовании системы Kenotest. Уровень соматических клеток в пробах молока в группе № 1 перед лечением и через 72 часа после последнего применения препарата определяли при помощи пробы на вискозиметрическом анализаторе молока «Экомилк Скан». В начале и конце опыта от животных с субклиническим маститом была отобрана периферическая кровь для проведения гематологических исследований.

До применения препарата «Лактико» в опытной группе зафиксирован повышенный уровень соматических клеток в молоке ($761,23 \pm 63,0$ тыс/мл), что указывало на субклинический мастит. После курса лечения показатель достоверно снизился ($p < 0,05$) до физиологической нормы ($344,5 \pm 51,3$ тыс/мл), подтверждая высокую эффективность терапевтического вмешательства.

Ключевые слова: субклинический мастит, коровы, терапевтическая эффективность, гематологические показатели, соматические клетки

Для цитирования: Сисей Ансу, Назимкина С.Ф., Мурадян Ж.Ю., Люсин Е.А. Терапевтическая эффективность препарата «Лактико» при лечении коров с субклиническим маститом. *Аграрная наука*. 2025; 397 (08): 26–31.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-26-31>

Ceesay Ansu¹ ✉Svetlana F. Nazimkina¹Zhora Yu. Muradyan¹Evgeny A. Lyusin²

¹Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

²“VIC Group of Companies” LLC, Ostrovtsy village, Ramenskoye City District, Moscow region, Russia

✉ ansuceesay4@gmail.com

Received by the editorial office: 20.05.2025

Accepted in revised: 11.07.2025

Accepted for publication: 26.07.2025

© Ceesay Ansu, Nazimkina S.F., Muradyan Zh.Yu., Lyusin E.A.

Therapeutic efficacy of the drug “Lactico” in the treatment of cows with subclinical mastitis

ABSTRACT

The article presents experimental data on the use of the drug “Lactico” and an assessment of its effectiveness in the treatment of cows with subclinical mastitis. The diagnosis of subclinical mastitis was confirmed based on a test with a diagnosticum for determining somatic cells using the Kenotest system. The level of somatic cells in milk samples before treatment and 72 hours after the last use of the drug was determined using a test on the viscosimetric milk analyzer “Ecomilk Scan” the beginning and end of the experiment, peripheral blood was collected from animals with subclinical mastitis for hematological studies. Before using the drug “Lactico” in the experimental group No. 2, an increased level of somatic cells in milk was recorded (761.23 ± 63.0 thousand/ml), which indicated subclinical mastitis. After the course of treatment, the indicator significantly decreased ($p < 0.05$) to the physiological norm (344.5 ± 51.3 thousand/ml), confirming the high efficiency of the therapeutic intervention.

Key words: subclinical mastitis, cows, therapeutic efficacy, hematological parameters, somatic cells

For citation: Ceesay Ansu, Nazimkina S.F., Muradyan Zh.Yu., Lyusin E.A. Therapeutic efficacy of the drug “Lactico” in the treatment of Cows with subclinical mastitis. *Agrarian science*. 2025; 397 (08): 26–31 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-26-31>

Введение/Introduction

Сохранение здоровья молочной железы у коров — одно из ключевых условий стабильной и высокопродуктивной работы молочных хозяйств [1, 2].

Заболевания вымени, в частности мастит, наносят значительный экономический ущерб за счет снижения удоя, ухудшения качества молока, выбраковки продукции и вынужденного выбытия животных из стада [3–7].

Среди всех форм воспаления молочной железы особую угрозу представляет субклинический мастит, характеризующийся отсутствием видимых клинических признаков при наличии воспалительного процесса и увеличении количества соматических клеток (СКК) в молоке [8].

По оценкам различных авторов, распространенность субклинического мастита на молочных фермах достигает 15–60% поголовья, а потери молока могут составлять до 30% годового удоя на животное [9, 10].

Проблема усугубляется распространением устойчивых штаммов, особенно *S. uberis* и *S. agalactiae*, демонстрирующих снижение чувствительности к ряду антибиотиков, включая амоксициллин и комбинации с клавулановой кислотой. [11]. В этих условиях ключевым фактором успешного лечения мастита становится выбор препарата с доказанной активностью в отношении конкретных штаммов и минимальной остаточностью в молоке.

Этиология мастита носит полифакторный характер. Возбудителями заболевания выступают грамположительные и грамотрицательные бактерии, в первую очередь *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *S. uberis*, *Escherichia coli*, микоплазмы, грибы, а также условно-патогенная микрофлора [12–14].

Развитию патологии способствуют такие predisposing факторы, как нарушения технологии доения, травмы сосков, недостаточная гигиена, иммунодефицитные состояния и стресс. Патогенез субклинического мастита включает локальный иммунный дисбаланс и формирование персистирующего очага воспаления, что осложняет своевременную диагностику и затрудняет терапию [15, 16]. Наряду с возбудителем важную роль в течении мастита играет иммунный статус животного. При субклиническом воспалении наблюдаются снижение уровня IgG и изменение активности факторов неспецифической резистентности (лизоцим, бактерицидная активность), что требует комплексной оценки терапии, включая иммунологические и гематологические параметры [17, 18].

Традиционно лечение маститов основывается на применении антибактериальных препаратов, преимущественно β -лактамов, макролидов и тетрациклинов [19, 20].

Наиболее распространенным методом является внутримастное введение антибиотиков, иногда в сочетании с противовоспалительными средствами [21, 22]. Однако такой подход имеет

ряд серьезных недостатков. Во-первых, нерациональное или частое применение антибиотиков способствует развитию устойчивости у патогенной микрофлоры, снижая эффективность терапии. Во-вторых, остаточные количества антибиотиков в молоке требуют обязательной выдержки, что ведет к потере товарной продукции. Кроме того, системное воздействие антибактериальных средств может угнетать нормальную микрофлору и снижать общую резистентность организма [23].

В связи с этим в последние годы растет интерес к альтернативным (неантибиотическим) методам лечения субклинического мастита. Среди таких подходов особое внимание уделяется пробиотической терапии, основанной на использовании живых бактерий, способных подавлять патогенную микрофлору и одновременно стимулировать иммунный ответ животного. Значимую роль играют иммуностимулирующие препараты природного и синтетического происхождения, активизирующие как врожденный, так и адаптивный иммунитет [24]. Перспективными считаются тканевые биопрепараты, в том числе экстракты плаценты, обладающие регенераторными и модулирующими свойствами.

Дополнительные возможности открывает применение фитотерапевтических средств, содержащих биологически активные соединения растительного происхождения с антимикробным и противовоспалительным действием. Кроме того, в ряде случаев, особенно в органических фермерских хозяйствах, применяются гомеопатические препараты, способствующие поддержанию здоровья молочной железы без риска загрязнения молока лекарственными остатками [25].

Каждый из этих классов средств имеет свои преимущества и ограничения, однако все они объединены стремлением обеспечить безопасную и эффективную терапию, минимизируя побочные эффекты и экономические потери. Современные исследования показывают, что такие препараты могут быть использованы как в монотерапии при легких формах мастита, так и в комбинации с антибиотиками — для усиления действия и сокращения длительности лечения. В связи с этим сохраняется потребность в совершенствовании антибактериальной терапии мастита, в том числе за счет внедрения препаратов комбинированного действия, обеспечивающих как антимикробный, так и противовоспалительный эффект.

Наиболее перспективными считаются лекарственные средства, сочетающие антибиотик широкого спектра с ингибитором β -лактамаз и глюкокортикостероидом, что позволяет одновременно бороться с основными возбудителями мастита и снижать выраженность воспалительной реакции.

Цель работы — оценка терапевтической эффективности и безопасности препарата «Лактико» при субклиническом мастите у коров.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Экспериментальные исследования были проведены в хозяйстве ООО «Лесные поляны» (Россия, Московская обл., Пушкинский р-н, пос. Царёво) с октября по декабрь 2024 года.

Объектом исследования послужили коровы голштинизированной черно-пестрой породы в период лактации живой массой 500–600 кг и удоем 6000–7000 л/год.

Животные были предварительно отобраны по принципу аналогов и распределены на две группы по 20 голов — опытную (с диагностированным субклиническим маститом), контролем служили здоровые животные.

Диагноз «субклинический мастит» у коров ставили на основании осмотра животных ветеринарным врачом хозяйства и лабораторного тестирования проб молока. Для определения соматических клеток в молоке использовали системы Kenotest (Россия) и вискозимитрический анализатор молока «Соматос-Мини» (Россия). Пороговое значение соматических клеток СКК > 500 тыс/см³ считали критерием субклинического воспаления.

Коровам опытной группы интрацистернально вводили препарат на основе амоксициллина (амоксициллина тригидрат), клавулановой кислоты и преднизолона (комбинированное средство «Лактико», ООО «Группа компаний ВИК», Россия) по 10 мл в пораженную долю дважды в сутки в течение 3 суток (всего 6 введений с интервалом в 12 часов) согласно рекомендации производителя. Наблюдение за животными продолжали в течение 14 дней.

Периферическую кровь отбирали до завершения курса и через 72 часа после завершения курса лечения из яремной вены с соблюдением биотических норм обращения с животными^{1, 2}. Гематологические исследования проводили в лаборатории ООО «Константа» (г. Москва) с использованием ветеринарного автоматического гематологического анализатора Mindray BC-2800 Vet (Mindray, Китай). Учитывали показатели гемограммы и лейкограммы.

Для оценки наличия остаточного количества антибиотиков в молоке через 72 часа после завершения курса терапии использовали качественный микробиологический тест PROQUITEST 4 (Испания) согласно инструкции производителя и ГОСТ³. Результаты интерпретировали визуально по

изменению окраски среды, что позволило достоверно судить о наличии или отсутствии ингибирующих веществ.

Обработку полученных данных осуществляли методом вариационной статистики с расчетом среднего значения (М), стандартного отклонения ($\pm m$) и уровня достоверности различий (р) с использованием критерия Стьюдента. Значения считались достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты клинического наблюдения показали, что терапия коров с субклинической формой мастита препаратом на основе амоксициллина, клавулановой кислоты и преднизолона (препарат «Лактико») обеспечила выраженный лечебный эффект. Так, у всей опытной группы по окончании лечения симптомов мастита не наблюдалось.

Через 72 часа после последнего введения препарата ингибиторный микробиологический тест не выявил остаточных количеств антибиотиков в молоке, что позволяет заключить о соблюдении требований безопасности молочной продукции для потребителя. Данный результат подтверждает корректность схемы введения и соблюдение рекомендуемого интервала между последним введением препарата и сдачей молока.

Гематологические показатели до и после лечения представлены в таблице 1. Статистически значимых изменений в основных параметрах гемограммы, таких как уровень гемоглобина,

Таблица 1. Гематологические показатели у коров с субклинической формой мастита до и после применения препарата «Лактико» (М $\pm$ m, n = 20)

Table 2. Hematological parameters in cows with subclinical mastitis before and after using the drug «Lactico» (M $\pm$ m, n = 20)

Показатель, ед.	Норма	До введения препарата	Через 72 часа после последнего введения препарата
Гемоглобин, г/л	90–120	84,3 $\pm$ 7,2	97,2 $\pm$ 5,1
Эритроциты, 10 ¹² ед/л	5–7,5	6,1 $\pm$ 1,1	5,1 $\pm$ 1,3
СОЭ, мм/ч	0,5–1,5	5,3 $\pm$ 0,8	4,0 $\pm$ 1,1
Тромбоциты, 10 ⁹ ед/л	260–700	275,5 $\pm$ 55,3	256,1 $\pm$ 51,2
Лейкоциты, 10 ⁹ ед/л	4,5–12,0	8,8 $\pm$ 1,2	7,8 $\pm$ 1,7
Эозинофилы, %	3–8	4,4 $\pm$ 0,8	4,1 $\pm$ 1,1
Базофилы, %	0–2	–	–
Миелоциты, %	–	–	–
Метамиелоциты, %	0–1	–	–
Палочкоядерные нейтрофилы, %	2–5	4,1 $\pm$ 1,4	4,1 $\pm$ 1,1
Сегментоядерные нейтрофилы, %	20–35	35,5 $\pm$ 6,2	31,3 $\pm$ 5,2
Моноциты, %	2–7	3,6 $\pm$ 1,2	4,2 $\pm$ 0,9
Лимфоциты, %	40–75	58 $\pm$ 11,1	54,5 $\pm$ 8,4

¹ 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

² 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».

³ ГОСТ 32219-2013 Молоко и молочные продукты. Иммунологические методы определения наличия антибиотиков.

количество эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, СОЭ, выявлено не было. Эти данные указывают на отсутствие системного негативного воздействия препарата на кроветворную систему животных, что важно при длительной и массовой терапии. При этом наблюдали умеренную положительную динамику иммунологических параметров — повышение уровня IgG и стабилизацию лизоцимной активности, что согласуется с выводами М.В. Довыденковой (2021 г.), зафиксировавшей аналогичные изменения при эффективной терапии субклинического мастита [24].

После курса лечения в течение 3 дней препаратом у коров с субклиническим маститом наблюдали достоверное снижение количества соматических клеток в молоке. До начала терапии среднее значение СКК составляло $761,2 \pm 63,0$ тыс/см³, через 72 часа после завершения курса — $344,5 \pm 51,3$ тыс/см³ ($p \leq 0,05$), что соответствует физиологическим нормативам и подтверждает эффективность препарата (табл. 2).

Данные согласуются с результатами, полученными Красочко и соавт. (2021 г.), при применении препарата аналогичного состава [25].

Была проведена оценка остаточных веществ препарата в молоке. Это позволило продемонстрировать их отсутствие по результатам качественного теста, что подтверждает безопасность молока после завершения терапии.

Следует отметить, что, несмотря на описанную в литературе резистентность ряда штаммов к амоксициллину с клавуланатом [15], по результатам, представленным в опыте, препарат «Лактико» при своевременном начале лечения и интрацестернальном способе введения обеспечивает терапевтический эффект.

Таблица 2. Уровень соматических клеток в пробах молока у коров с субклинической формой мастита ($M \pm m$, $n = 20$)
Table 2. Results of somatic cell counting in milk samples from cows with subclinical mastitis ($M \pm m$, $n = 20$)

Показатель, ед.	До лечения	После лечения
Количество соматических клеток, тыс/см ³	761,23 ± 63,00	344,50 ± 51,30*

Примечание: * различия достоверны при $p \leq 0,05$ с использованием критерия Стьюдента.

Выводы/Conclusions

Применение комбинированного препарата, содержащего амоксициллин, клавулановую кислоту и преднизолон, продемонстрировало высокую клиническую эффективность в терапии субклинического мастита у лактирующих коров.

В ходе исследований было зафиксировано достоверное снижение количества соматических клеток в молоке на 54,7%, что соответствует физиологическим нормам здоровых животных. Тесты на остаточное количество антибиотиков показали полное отсутствие препарата в молоке после завершения терапевтического курса. Трехдневный курс лечения обеспечил достижение полной клинической ремиссии, сопровождающейся быстрой регрессией воспалительного процесса. При этом не наблюдалось отклонений основных физиологических показателей у животных.

Полученные данные свидетельствуют о высокой терапевтической эффективности и безопасности исследуемого препарата. Важным преимуществом является короткий срок лечения, позволяющий быстро возвращать молочную продукцию в пищевой оборот.

Результаты исследования подтверждают перспективность применения данной лекарственной комбинации в ветеринарной практике для лечения субклинических форм мастита у продуктивных животных.

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Semina L.K., Avduevskaya N.N., Skulyabina Z.A., Baldiceva G.A., Gorbato A.V. Improved measures for the prevention of mass mastitis in cows in the Vologda region farms. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. Institute of Physics Publishing. 2020; 422: 42006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012045>
- Berezovsky A., Dovbnaya A., Fotin O., Kisil D., Morozov B. Rationale for the prevention of mastitis in cows during the dry period and after calving. *Science horizons*. 2023; 26(4). <https://doi.org/10.48077/scihor4.2023.43>
- Выставкина Л.Ю., Малигина Н.А., Зубанов В.В. Применение препаратов «Бовистем» и «Мастидерм» для лечения коз с клиническим маститом. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2023; (6): 60–65. <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-224-6-60-65>
- Довыденкова М.В. Изучение резистентности коров при заболевании маститом в зависимости от возраста лактации. *Аграрная наука*. 2021; (11–12): 27–31. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-27-31>

REFERENCES

- Semina L.K., Avduevskaya N.N., Skulyabina Z.A., Baldiceva G.A., Gorbato A.V. Improved measures for the prevention of mass mastitis in cows in the Vologda region farms. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. Institute of Physics Publishing. 2020; 422: 42006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012045>
- Berezovsky A., Dovbnaya A., Fotin O., Kisil D., Morozov B. Rationale for the prevention of mastitis in cows during the dry period and after calving. *Science horizons*. 2023; 26(4). <https://doi.org/10.48077/scihor4.2023.43>
- Vystavkina L.Yu., Malygina N.A., Zubanov V.V. Use of Bovistems and Mastiderm drugs to treat goats with clinical mastitis. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2023; (6): 60–65 (in Russian). <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-224-6-60-65>
- Dovydenkova M.V. Study of the resistance of cows with mastitis depending on the age of lactation. *Agrarian science*. 2021; (11–12): 27–31 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-27-31>

5. Kukeyeva A., Abdrakhmanov T., Yeszhanova G., Bakisheva Zh., Kemeshov Zh. The use of a homeopathic preparation in the treatment of subclinical form of mastitis in cows. *Open Veterinary Journal*. 2023; 13(8): 991. <https://doi.org/10.5455/ovj.2023.v13.i8.5>
6. Ребезов М.Б., Уханова Д.В., Топурия Л.Ю. Ветеринарно-санитарная оценка молока. *Перспективы развития пищевой и химической промышленности в современных условиях. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 45-летию факультета прикладной биотехнологии и инженерии Оренбургского государственного университета*. Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2019; 280–283. <https://elibrary.ru/qiesoo>
7. 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; 1(6): 67–72. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-67-72>
8. Ребезов М.Б., Топурия Л.Ю., Уханова Д.В. Состояние факторов естественной резистентности у коров при субклиническом мастите. *Приоритетные и инновационные технологии в животноводстве — основа модернизации агропромышленного комплекса России. Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции научных сотрудников и преподавателей*. Ставрополь: Агрус. 2019; 365–367. <https://elibrary.ru/epkrbw>
9. Коренник И.В. Соматические клетки в молоке. *Ветеринария*. 2010; (6): 10–13. <https://elibrary.ru/msreqh>
10. Красочко П.П., Ковзов В.В., Ковзов И.В., Корчагина А.А., Черных О.Ю. Эффективность ветеринарного препарата «Триолакт» при лечении маститов у коров. *Аграрная наука*. 2021; (3): 17–20. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-17-20>
11. Круглова Ю.С., Рогов Р.В., Мурадян Ж.Ю. Применение препарата «Мастинол-форте» в терапии мастита у дойных коров. *Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции*. Луганск: Луганский государственный аграрный университет. 2023; 307–310. <https://elibrary.ru/wovsbc>
12. Латыпова Г.М. Новый противомаститный препарат «Йодилин-Масти». *Актуальные проблемы ветеринарной патологии и морфологии животных. Материалы Международной научно-производственной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А. Авророва*. Воронеж: Научная книга. 2006; 922–923.
13. Bochniarz M. et al. Comparative analysis of total protein, casein, lactose, and fat content in milk of cows suffering from subclinical and clinical mastitis caused by *Streptococcus* spp. *Journal of Veterinary Research (Poland)*. 2023; 67(2): 251–257. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2023-0028>
14. Лящук Ю.О., Овчинников А.Ю., Беляков М.В., Самарин Г.Н., Калашников М.В. Обзор средств антибиотикотерапии, активных в отношении возбудителей инфекционного мастита. *Аграрная наука*. 2024; (6): 50–55. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-50-55>
15. Семенов В.Г., Тюрин В.Г., Мусаев Ф.А., Морозова Н.И., Лузова А.В., Бирюкова Д.Э. Научно обоснованный подход к профилактике и лечению мастита коров комплексными иммуномодулирующими препаратами. *Аграрная наука*. 2024; (5): 39–45. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-39-45>
16. Татаркина Н.И., Пономарева Е.А. Молочная продуктивность коров в период раздоя с использованием ферментных добавок. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2012; (3): 31–34. <https://elibrary.ru/pltkjf>
17. Трубникова П.В., Айбазов А.-М.М. Корреляция иммунологических и гематологических показателей крови у молочных коз. *Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства*. 2007; (3): 34–37. <https://elibrary.ru/oogwdp>
18. Шепелева К.В., Петров А.К., Рогов Р.В., Куликов Е.В., Крючков И.А. Терапевтическая эффективность противомаститных препаратов в лечении субклинической и клинической форм мастита дойных коров. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2024; 19(1): 39–50. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2024-19-1-39-50>
19. Semenov V.G. et al. The use of biopreparations in the therapy of mastitis in cows. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International AgroScience Conference, AgroScience 2021"*. IOP Publishing Ltd. 2021; 935: 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/935/1/012038>
5. Kukeyeva A., Abdrakhmanov T., Yeszhanova G., Bakisheva Zh., Kemeshov Zh. The use of a homeopathic preparation in the treatment of subclinical form of mastitis in cows. *Open Veterinary Journal*. 2023; 13(8): 991. <https://doi.org/10.5455/ovj.2023.v13.i8.5>
6. Rebezov M.B., Ukanova D.V., Topuria L.Yu. Veterinary and sanitary assessment of milk. *Prospects for the development of the food and chemical industries in modern conditions. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 45th anniversary of the Faculty of Applied Biotechnology and Engineering of the Orenburg State University*. Orenburg: Orenburg State University. 2019; 280–283 (in Russian). <https://elibrary.ru/qiesoo>
7. Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Analysis of the reasons for culling Holstein cows depending on genetic factors. *Agrarian science*. 2025; 1(6): 67–72 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-395-06-67-72>
8. Rebezov M.B., Topuria L.Yu., Ukanova D.V. The state of natural resistance factors in cows with subclinical mastitis. *Priority and innovative technologies in animal husbandry are the basis for modernization of the agro-industrial complex of Russia. Collection of scientific articles based on the materials of the International scientific and practical conference of researchers and teachers*. Stavropol: Agrus. 2019; 365–367 (in Russian). <https://elibrary.ru/epkrbw>
9. Korennik I.V. Body cells in the milk. *Veterinary medicine*. 2010; (6): 10–13 (in Russian). <https://elibrary.ru/msreqh>
10. Krasochko P.P., Kovzov V.V., Kovzov I.V., Korchagina A.A., Chernykh O.Yu. Effectiveness of veterinary preparation "Triolact" when treating mastitis in cows. *Agrarian science*. 2021; (3): 17–20 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-346-3-17-20>
11. Kruglova Yu.S., Rogov R.V., Muradyan Zh.Yu. Use of the drug "Mastinol-forte" in the treatment of mastitis in dairy cows. *Agricultural science in ensuring food security and rural development. Collection of materials of the IV International scientific and practical conference*. Lugansk: Lugansk State Agrarian University. 2023; 307–310 (in Russian). <https://elibrary.ru/wovsbc>
12. Latypova G.M. New antimastitis drug "Yodilin-Masti". *Current issues of veterinary pathology and morphology of animals. Proceedings of the International Scientific and Industrial Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor A.A. Avrorov*. Voronezh: Nauchnaya kniga. 2006; 922–923 (in Russian).
13. Bochniarz M. et al. Comparative analysis of total protein, casein, lactose, and fat content in milk of cows suffering from subclinical and clinical mastitis caused by *Streptococcus* spp. *Journal of Veterinary Research (Poland)*. 2023; 67(2): 251–257. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2023-0028>
14. Lyashchuk Yu.O., Ovchinnikov A.Yu., Belyakov M.V., Samarina G.N., Kalashnikov M.V. Review of antibiotic agents active against infectious mastitis pathogens. *Agrarian science*. 2024; (6): 50–55 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-50-55>
15. Semenov V.G., Tyurin V.G., Musaev F.A., Morozova N.I., Luzova A.V., Biryukova D.E. A scientifically-based approach to the prevention and treatment of cow mastitis with complex immunotropic drugs. *Agrarian science*. 2024; (5): 39–45 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-39-45>
16. Tatarkina N.I., Ponomareva E.A. Milk productivity of cows during the milking period using enzyme additives. *Feeding of agricultural animals and feed production*. 2012; (3): 31–34 (in Russian). <https://elibrary.ru/pltkjf>
17. Trubnikova P.V., Aybazov A.-M.M. Correlation of immunological and hematological blood parameters in dairy goats. *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*. 2007; (3): 34–37 (in Russian). <https://elibrary.ru/oogwdp>
18. Shepeleva K.V., Petrov A.K., Rogov R.V., Kulikov E.V., Kryuchkov I.A. Therapeutic efficacy of antimastitis drugs in the treatment of subclinical and clinical forms of dairy cow mastitis. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024; 19(1): 39–50. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2024-19-1-39-50>
19. Semenov V.G. et al. The use of biopreparations in the therapy of mastitis in cows. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International AgroScience Conference, AgroScience 2021"*. IOP Publishing Ltd. 2021; 935: 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/935/1/012038>

20. Carvalho A.L.M.A., Nascimento Neto J.Da.P., Carvalho T.B.T., Lima Neto H.R., Victali R.M., Chalfun L.H.L. Intramammary treatment of clinical mastitis quarters with ceftiofur does not cause antibiotic residues in adjacent untreated quarters. *Journal of Dairy Research*. 2024; 1–3.
https://doi.org/10.1017/s0022029924000025
21. Явников Н.В., Кугелев И.М., Капай Н.А., Москвина А.Л. Изучение чувствительности полевых штаммов *Str. Agalactiae* и *Str. Ueberis* — возбудителей мастита коров к препарату на основе марбофлоксацина. *Аграрная наука*. 2023; (8): 36–40.
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-36-40
22. Skogoreva A.M., Manzhurina O.A., Popova O.V., Semenov S.N., Aristov A.V. Improving treatment of subclinical cow mastitis using miramistin antiseptic agent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. Institute of Physics Publishing. 2020; 422: 012045.
https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012045
23. Kober A.K.M.H. et al. Immunomodulatory Effects of Probiotics: A Novel Preventive Approach for the Control of Bovine Mastitis. *Microorganisms*. 2022; 10(11): 2255.
https://doi.org/10.3390/microorganisms10112255
24. Li X. et al. Alternatives to antibiotics for treatment of mastitis in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10: 1160350.
https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1160350
25. Tomanić D., Samardžija M., Kovačević Z. Alternatives to Antimicrobial Treatment in Bovine Mastitis Therapy: A Review. *Antibiotics*. 2023; 12(4): 683.
https://doi.org/10.3390/antibiotics12040683

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Сисей Ансу¹

аспирант

ansuceesay4@gmail.ru

https://orcid.org/0009-0001-0496-6019

Светлана Фёдоровна Назимкина¹

кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных

nsf1964@yandex.ru

https://orcid.org/0009-0006-7652-1226

Жора Юрикович Мурадян¹

кандидат биологических наук, доцент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных

zh_muradyan@mail.ru

https://orcid.org/0000-0003-2516-7627

Евгений Александрович Люсин²

ведущий ветеринарный врач-консультант
lyusin@vicgroup.ru

20. Carvalho A.L.M.A., Nascimento Neto J.Da.P., Carvalho T.B.T., Lima Neto H.R., Victali R.M., Chalfun L.H.L. Intramammary treatment of clinical mastitis quarters with ceftiofur does not cause antibiotic residues in adjacent untreated quarters. *Journal of Dairy Research*. 2024; 1–3.
https://doi.org/10.1017/s0022029924000025

21. Yavnikov N.V., Kugelev I.M., Kapay N.A., Moskvina A.L. To study the sensitivity of field strains of *Str. Agalactiae* and *Str. uberis* — causative agents of cow mastitis to a drug based on marbofloxacin. *Agrarian science*. 2023; (8): 36–40 (in Russian).
https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-36-40

22. Skogoreva A.M., Manzhurina O.A., Popova O.V., Semenov S.N., Aristov A.V. Improving treatment of subclinical cow mastitis using miramistin antiseptic agent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming. Institute of Physics Publishing. 2020; 422: 012045.
https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012045

23. Kober A.K.M.H. et al. Immunomodulatory Effects of Probiotics: A Novel Preventive Approach for the Control of Bovine Mastitis. *Microorganisms*. 2022; 10(11): 2255.
https://doi.org/10.3390/microorganisms10112255

24. Li X. et al. Alternatives to antibiotics for treatment of mastitis in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10: 1160350.
https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1160350

25. Tomanić D., Samardžija M., Kovačević Z. Alternatives to Antimicrobial Treatment in Bovine Mastitis Therapy: A Review. *Antibiotics*. 2023; 12(4): 683.
https://doi.org/10.3390/antibiotics12040683

REFERENCES

Ceesay Ansu¹

Postgraduate Student

ansuceesay4@gmail.ru

https://orcid.org/0009-0001-0496-6019

Svetlana Fedorovna Nazimkina¹

Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction

nsf1964@yandex.ru

https://orcid.org/0009-0006-7652-1226

Zhora Yurikovich Muradyan¹

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction

zh_muradyan@mail.ru

https://orcid.org/0000-0003-2516-7627

Evgeny Alexandrovich Lyusin²

Leading Veterinary Consultant
lyusin@vicgroup.ru

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

² ООО «ГК ВИК», дер. Островцы, квартал 30137, стр. 681, г. о. Раменский, Московская обл., 140125, Россия

¹ Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Scriabin, 23 Academician Skryabin Str., Moscow, 109472, Russia

² LLC “VIC Group of Companies”, 30137 block, 681 building, Ostrovtsy village, Ramenskoye City District, Moscow region, 140125, Russia

Подпишитесь на Telegram канал ИД «Аграрная наука»

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



Оформите подписку на информационные e-mail рассылки

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



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

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

УДК 636.2.082.32

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-32-38

А.С. Горелик¹ ✉

О.В. Горелик²

М.Б. Ребезов^{2,3}

С.Ю. Харлап²

Н.И. Кульмакова⁴

К.С. Исаева⁵

¹ Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

³ Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

⁴ Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Россия

⁵ Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

✉ temae077ex@mail.ru

Поступила в редакцию: 05.01.2025

Одобрена после рецензирования: 11.07.2025

Принята к публикации: 26.07.2025

© Горелик А.С., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Кульмакова Н.И., Исаева К.С.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-32-38

Artyom S. Gorelik¹ ✉

Olga V. Gorelik²

Maksim B. Rebezov^{2,3}

Svetlana Yu. Kharlap²

Natalia I. Kulmakova⁴

Kuralay S. Isaeva⁵

¹ Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Response of the Russian Federation, Yekaterinburg, Russia

² Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

³ Gorbato Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

⁴ Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Russia

⁵ Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

✉ temae077ex@mail.ru

Received by the editorial office: 05.01.2025

Accepted in revised: 11.07.2025

Accepted for publication: 26.07.2025

© Gorelik A.S., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Kulmakova N.I., Isaeva K.S.

Изменение показателей молочной продуктивности по лактациям

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Современный молочный скот Среднего Урала отличается большой массой. Это крупные животные с высоким генетическим потенциалом продуктивности 10–12 тыс. кг и более молока за лактацию. Вызывает интерес оценка дальнейшей возможности повышения племенной ценности животных голштинской породы, в том числе продуктивного долголетия.

Цель работы — изучить изменчивость показателей молочной продуктивности коров-дочерей разных быков-производителей в зависимости от возраста в лактациях.

Методы. Исследования проведены в условиях типичного сельскохозяйственного предприятия по производству молока — племенного репродуктора по разведению голштинской породы крупного рогатого скота. Объект исследований — коровы-дочери от быков-производителей Альтаэскавайе, Кэмпмэн, Чарман и Эмен. Материалом и данными для сравнения служила база ИАС «СЕЛЭКС — Молочный скот», результаты собственных исследований. Учитывались удои за 305 дней лактации, МДЖ и МДБ в молоке по лактациям.

Результаты. В результате исследований установлено, что удои коров-дочерей разных быков-производителей в зависимости от возраста изменяются по-разному. Так, удои у коров быка Альтаэскавайе имел самые высокие показатели по второй лактации, а затем стабилизировался с колебаниями в ту или иную сторону на 350–700 кг с постоянным снижением (начиная с 5-й лактации). Такие же изменения отмечались у дочерей быка Чармана. Дочери быка Кэмпмэна повышали удои до половозрастной лактации, а затем — снижение с колебаниями по лактации. У дочерей быка Эмена установлено повышение удоев вплоть до 5-й лактации включительно. Такие же изменения установлены и по МДЖ и МДБ в молоке, что подтверждается колебаниями коэффициента изменчивости в зависимости от возраста.

Ключевые слова: голштинская порода, быки-производители, коровы-дочери, удои, качественные показатели, возраст, коэффициент изменчивости

Для цитирования: Горелик А.С. и др. Изменение показателей молочной продуктивности по лактациям. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 32–38. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-32-38>

Changes in milk productivity indicators by lactation

ABSTRACT

Relevance. Modern dairy cattle of the Middle Urals are distinguished by their large mass. These are large animals with a high genetic potential of 10–12 thousand kg or more of milk per lactation. It is of interest to assess the further possibility of increasing the breeding value of Holstein breed animals, including productive longevity.

The aim of the work is to study the variability of milk productivity indicators of cows-daughters of different breeding bulls depending on the age in lactation.

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 object of the research is cows-daughters from breeding bulls Altaesquaye, Campman, Charman and Emen. The material and data for comparison were the database of the IAC “SELEX — Dairy Cattle”, the results of our own research. Milk yield for 305 days of lactation by lactation, MJ and MDB in milk by lactation were taken into account.

Results. As a result of the research, it was found that the milk yields of cows-daughters of different bulls-producers vary differently depending on age. Thus, the milk yield of Altaesquaye bull cows had the highest rates during the second lactation, and then stabilized with fluctuations in one direction or another by 350–700 kg with a constant decrease (starting from the 5th lactation). The same changes were noted in the daughters of bull Charman. The daughters of the Campman bull increased milk yield to age-appropriate lactation, and then decreased with fluctuations in lactation. The daughters of bull Emen have been found to have increased milk yields up to and including the 5th lactation. The same changes were found for MJ and MDB in milk, which is confirmed by fluctuations in the coefficient of variability depending on age.

Key words: Holstein breed, breeding bulls, daughter cows, milk yield, quality indicators, age, coefficient of variability

For citation: Gorelik A.S. *et al.* Changes in milk productivity indicators by lactation. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 32–38 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-32-38>

Введение/Introduction

Молочное скотоводство представляет собой ключевую отрасль агропромышленного комплекса¹ [1–3].

Обеспечение населения качественными продуктами питания, а также расширение разнообразия продукции животноводства являются стратегически важными задачами государства [4–7]. Для этого используются высокопродуктивные породы сельскохозяйственных животных, в том числе крупного рогатого скота молочного направления продуктивности [8–10].

На основании последней породной инвентаризации 2021 года все животные с долей кровности по голштинам свыше 75% отнесены к голштинской породе² [11–13]. Данная породная формация создавалась практически повсеместно, с использованием в качестве улучшаемой породы, породные ресурсы молочного скота регионов страны, которые различались между собой по биологическим и хозяйственно полезным признакам. Это позволяет говорить о различиях между популяциями современного молочного скота регионов. Так, в условиях Среднего Урала в качестве улучшающей породы выступало маточное поголовье уральского отродья черно-пестрой породы СССР [14–18].

В результате современный молочный скот Среднего Урала отличается большой массой. Это крупные животные с генетическим потенциалом продуктивности 10–12 тыс. кг и более молока за лактацию, МДЖ в молоке 3,97%, МДБ — 3,23% [19–23].

Вызывает интерес оценка дальнейшей возможности повышения племенной ценности животных голштинской породы и их генетического потенциала продуктивности, а также влияние возраста коров на показатели молочной продуктивности с учетом их происхождения.

Цель работы — изучить изменчивость показателей молочной продуктивности коров-дочерей разных быков-производителей в зависимости от возраста в лактациях.

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 в Свердловской области (Россия).

Объект исследований — коровы-дочери голштинской породы от быков-производителей Альтаэскавайе (Альта Эскавайр), Кэмпмэн, Чарман, Эмен³.

Материалом и данными для сравнения служила база ИАС «СЕЛЭКС — Молочный скот»⁴ (Россия), результаты собственных исследований.

Условия содержания, основной рацион, режим и фронт кормления и поения, параметры микроклимата для всех групп были одинаковыми и соответствовали зоогигиеническим нормам⁵. Учитывались удои за 305 дней лактации по лактациям, МДЖ и МДБ в молоке по лактациям.

Отбор проб сырья и продукции проводили в соответствии с ГОСТ 3622⁶, ГОСТ 26809.¹⁷

Молочную продуктивность (удой, содержание жира, белка в молоке) коров контролировали по контрольным дойкам. Содержание жира и белка определяли в средней пробе молока от каждой коровы один раз в месяц в молочной лаборатории ОАО «Уралплемцентр» (Свердловская обл., Россия).

Определяли количество молочного жира⁸ и белка⁹.

Отбор быков для проверки по продуктивности дочерей проводили исходя из их работы в стаде в один год — 2017-й, длительности использования дочерей не менее 5 лактаций и количеству дочерей.

Количество дочерей в группе — не менее 20 голов, окончивших по 5–7 лактаций.

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, использующихся для научных целей¹⁰, и принципов обращения с животными согласно статье 4 ФЗ РФ № 498-ФЗ¹¹.

Результаты исследований были обработаны при помощи программы Microsoft Office Excel (США) с применением критерия достоверности по Стьюденту с использованием приложения Excel из программного пакета Office XP и Statistica (США).

¹ Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации: под руководством С.Е. Тяпугина, Д.В. Бутусова. М.: Изд-во ФГБНУ ВНИИплем. 2021; 255.

² Павлова Я.С. Хозяйственно полезные признаки голштинского черно-пестрого скота в зависимости от линейной принадлежности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Научный руководитель проф., д-р с.-х. наук О.В. Горелик. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет. 2024; 139.

³ По данным, внесенным в ИАС «СЕЛЭКС — Молочный скот» племенного репродуктора по разведению голштинской породы крупного рогатого скота в Свердловской области.

⁴ <https://pllinor.ru/selexdairy cattle>

⁵ Морозова Н.И. и др. Молочная продуктивность голштинских коров при круглогодичном стойловом содержании (монография). Рязань, 2013.

⁶ ГОСТ 3622-68 Молоко и молочные продукты. Отбор проб и подготовка их к испытанию.

⁷ ГОСТ 26809.1-2014 Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосодержащие продукты.

⁸ ГОСТ 5867-2023 Молоко и продукты переработки молока. Методы определения жира.

⁹ ГОСТ 34454-2018 Продукция молочная. Определение массовой доли белка методом Кьельдаля.

¹⁰ 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

¹¹ 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».

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Основным показателем для оценки коров по молочной продуктивности служит удой. На рисунке 1 представлены данные об удое коров-дочерей по лактациям в сравнительном аспекте.

На диаграмме хорошо видно, что удой изменяется в зависимости от возрастного аспекта во всех изучаемых группах коров-дочерей, повышаясь по достижении физиологического расцвета (зрелости).

Установлено, что голштинский скот, дочери быков-производителей Альтаэскавайе, Кэмпмэн, Чарман и Эмен имеют высокий потенциал по длительности продуктивного использования, что позволяет проводить отбор по продуктивному долголетию. Все коровы имеют высокий генетический потенциал продуктивности.

Необходимо отметить, что удои коров-дочерей разных быков-производителей в зависимости от возраста изменяются по-разному. Так, удой у коров быка Альтаэскавайе имел самые высокие показатели по второй лактации, а затем стабилизировался с колебаниями в ту или иную сторону на 350–700 кг с постоянным снижением (начиная с 5-й лактации). Такие же изменения отмечались у дочерей быка Чармана. Дочери быка Кэмпмэна повышали удой до половозрастной лактации, а затем — снижение с колебаниями по лактации. У дочерей быка Эмена установлено повышение удоев вплоть до 5-й лактации включительно.

На рисунке 2 представлены данные об изменении массовой доли жира в молоке коров-дочерей разных быков-производителей в зависимости от лактационной деятельности.

На графике видно, что МДЖ в молоке изменяется по лактациям и снижается к концу продуктивного использования коров, несколько увеличиваясь по последней лактации, за исключением молока от дочерей быка Эмена.

На рисунке 3 представлены данные о динамике МДБ в молоке коров-дочерей оцениваемых быков-производителей.

К концу периода продуктивного использования коров наблюдается повышение содержания белка в молоке. Не установлено закономерной взаимосвязи изменений удоя, МДЖ и МДБ в молоке коров-дочерей оцениваемых быков-производителей.

Получение положительных результатов при проведении селекционно-племенной работы зависит от множества факторов, в том числе от разнообразия признаков в стаде. Этот показатель можно оценивать по коэффициентам изменчивости.

Рис. 1. Удой коров-дочерей по лактациям, кг
Fig. 1. Milk yield of daughter cows by lactation, kg

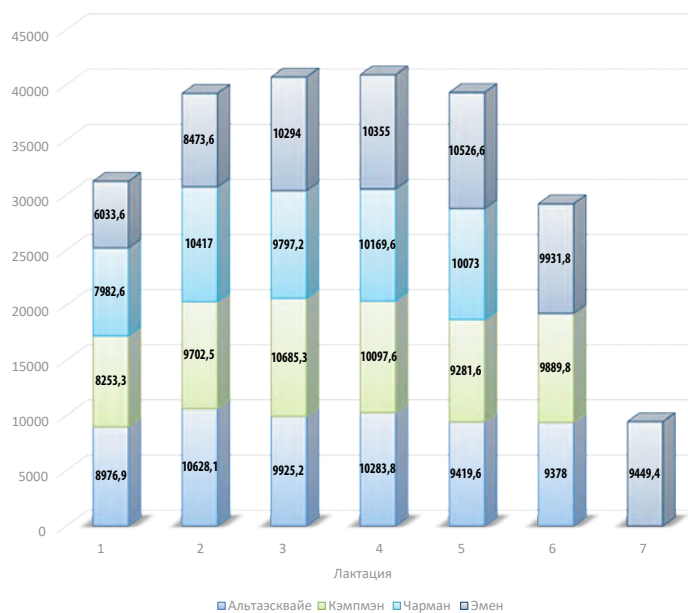


Рис. 2. Динамика МДЖ в молоке коров-дочерей, %
Fig. 2. Dynamics of the mass fraction of fat in the milk of daughter cows, %

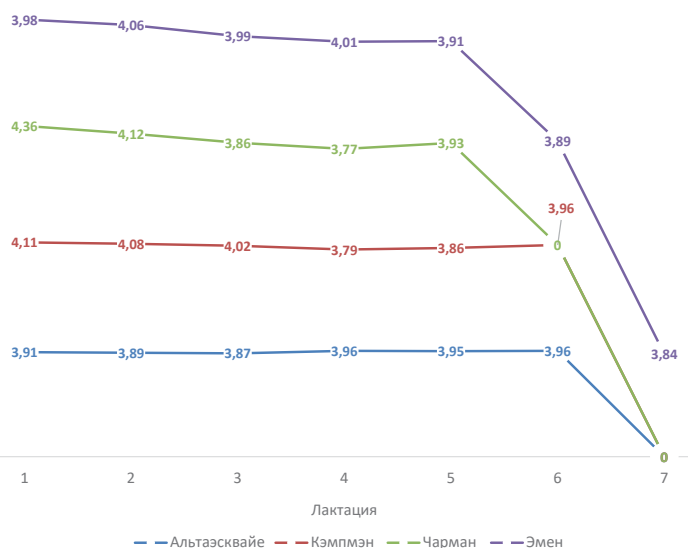
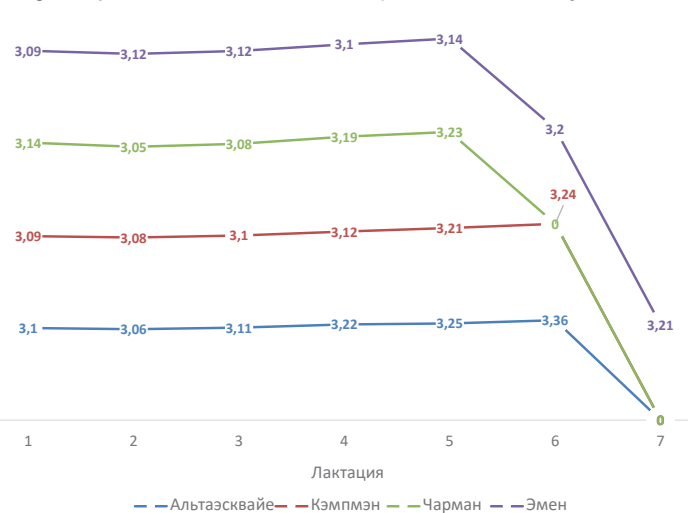


Рис. 3. Динамика МДБ в молоке коров-дочерей, %
Fig. 3. Dynamics of the mass fraction of protein in milk of daughter cows, %



Коэффициенты вариации по удою коров-дочерей оцениваемых быков-производителей по лактациям представлены на рисунке 4.

В результате анализа можно сделать вывод о том, что изменчивость удоя изменяется в зависимости как от происхождения — принадлежности к быку-производителю, так и от возраста (лактации). Сравнивая результаты по расчетам коэффициента изменчивости между коровами-дочерьми быков, установлено, что более высокими они оказались у дочерей быка Эмена по всем законченным лактациям. В зависимости от лактации они колебались в пределах от 12,31% (5-я лактация) до 19,75% (2-я лактация).

В других группах дочерей коэффициент вариации изменялся по лактациям и относительно сверстниц, постоянно колеблясь в ту или иную сторону. Так, у дочерей быка Альтаэскавайе коэффициент изменчивости снизился в 3-ю лактацию на 6,94% относительно 1-й и увеличился до 16,62%, или на 8,51%, по 5-й лактации в сравнении с 3-й, постепенно понижаясь и повышаясь по остальным лактационным периодам.

У дочерей быка Кэмпмэна разнообразие удоя постепенно повышалось до 5-й лактации (за исключением 3-й, когда он оказался незначительно ниже, чем по предыдущей лактации). По 6-й лактации у дочерей данного быка коэффициент вариации был самым низким — 8,63%.

У дочерей быка Чармана самый высокий показатель коэффициента вариации установлен по 1-й лактации, затем наблюдалось его снижение по 3-ю лактацию, а потом — незначительное повышение.

Коэффициенты изменчивости МДЖ и МДБ в молоке по лактациям представлены на графиках (рис. 5, 6).

На графиках изменения коэффициента вариации по МДЖ в молоке по лактациям видно, что практически во всех группах дочерей (за исключением дочерей быка Альтаэскавайе) наблюдается ритмичность: снижение этого показателя с 1-й во 2-ю лактацию (дочери быков Кэмпмэна и Чармана), далее повышение по 3-й лактации с понижением по 4-й и дальнейшим повышением по 5-й (дочери быков Кэмпмэна, Чармана и Эмена).

Рис. 4. Коэффициенты изменчивости по удою коров-дочерей быков-производителей в зависимости от лактации, %

Fig. 4. Variability coefficients for milk yield of daughter cows of sire bulls depending on lactation, %

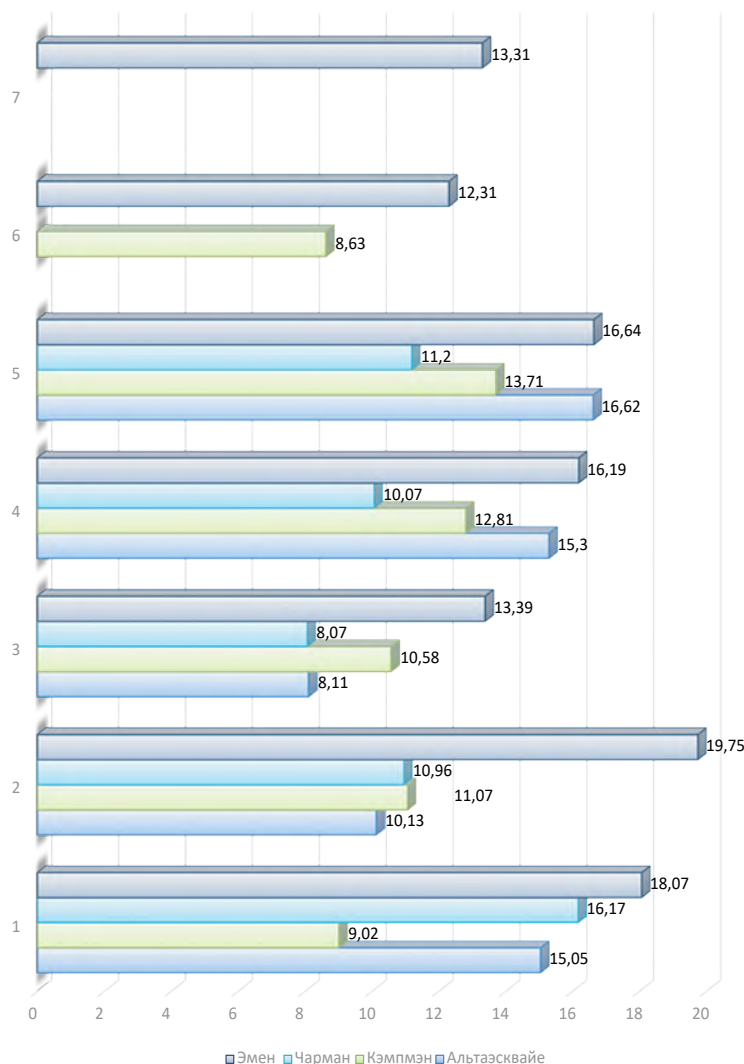


Рис. 5. Коэффициенты вариации МДЖ в молоке у дочерей быков-производителей, %

Fig. 5. Coefficients of variation of the mass fraction of fat in milk in daughters of sires, %

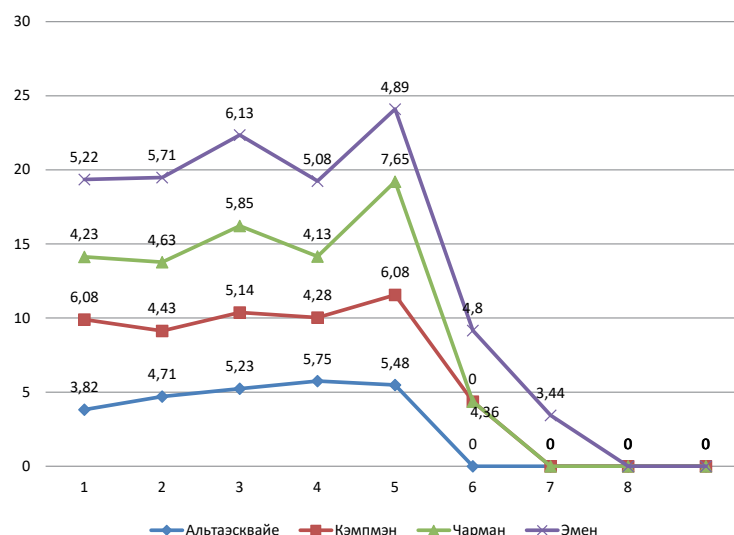
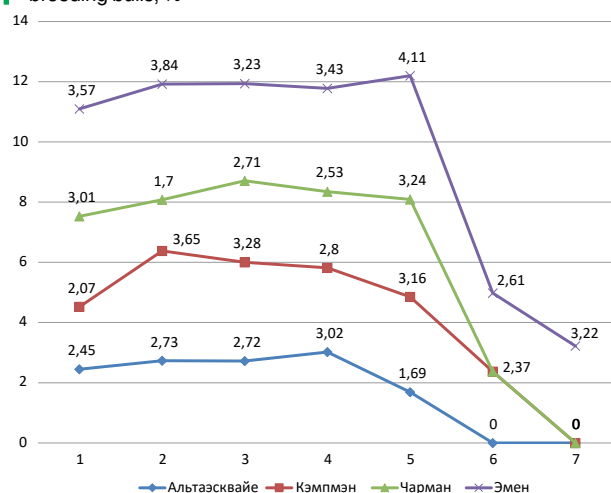


Рис. 6. Коэффициенты изменчивости МДБ в молоке у дочерей быков-производителей, %

Fig. 6. Coefficients of variability of MDB in milk from daughters of breeding bulls, %



У дочерей быка Альтаэскавайе коэффициент неизменно повышается с 1-й по 4-ю лактацию с дальнейшим снижением.

Необходимо отметить, что в последнюю законченную лактацию у всех дочерей (независимо от возраста) наблюдается снижение показателя коэффициента вариации, что объясняется снижением поголовья с возрастом.

Коэффициенты изменчивости МДБ в молоке с возрастом изменяются по-другому (рис. 6).

Коэффициент вариации МДБ в молоке у коров-дочерей быка Эмена колебался по лактациям — с 3,57% в 1-ю до 4,11% в 5-ю, то снижаясь, то возрастая, далее снижался до 2,61% по 6-й, несколько возрастая в 7-ю лактацию.

У дочерей Чармана эти показатели резко снизились по 2-й лактации, а затем повышались до 5-й включительно с небольшими колебаниями в ту или иную сторону.

Дочери быка Кэмпмэна с возрастом имели постоянные изменения коэффициента вариации в ту или иную сторону, снижаясь к концу использования до тех же величин, которые установлены по 1-й лактации и были самыми низкими.

Коровы дочери быка Альтаэскавайе отличались тем, что здесь коэффициент изменчивости постоянно увеличивался (начиная с 1-й лактации по 4-ю и снижаясь до минимума по 5-й лактации).

Выводы/Conclusions

Таким образом, можно сделать вывод, что дочери всех оцениваемых быков-производителей имели высокие показатели продуктивности, которые были выше минимальных требований по голштинской породе.

Наибольшие удои у дочерей быков Альтаэскавайе и Чармана наблюдали во 2-ю лактацию, после чего показатели стабилизировались с постепенным снижением с 5-й лактации. В то же время у дочерей Кэмпмэна максимальная продуктивность достигла к половозрастной лактации, а у дочерей Эмена — сохраняла тенденцию к росту (вплоть до 5-й лактации).

Коэффициенты изменчивости удоя, МДЖ и МДБ подтвердили, что генетический фактор (происхождение от конкретного быка) оказывает значительное влияние на стабильность продуктивности. Наибольшая вариабельность удоя отмечена у дочерей Эмена (до 19,75%), что может указывать на менее предсказуемую наследственность. В зависимости от длительности продуктивного использования у них установлены особенности изменения удоя и качественных показателей молока — как между группами дочерей, так и внутри групп. Исходя из полученных данных, бык-производитель оказывает влияние на возрастные изменения продуктивных качеств их дочерей.

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

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование является поисковым и выполнено в рамках научных исследований Уральского государственного аграрного университета (№ государственной регистрации AAAA-A19-1191014000069).

FUNDING

The study is exploratory and carried out within the framework of scientific research at the Ural State Agrarian University (state registration No. AAAA-A19-1191014000069).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Сивкин Н.В., Стрекозов Н.И. Анализ стратегии развития молочного скотоводства в Российской Федерации. *Молочная промышленность*. 2022; 10: 61–64. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-10-61-64>
- Экхорутомвен О.Т. Интенсификация воспроизводства высокопродуктивного стада молочного скота. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. 2024; 62(2): 135–144. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-2-135-144>
- Сурай Н.М., Пономарева Н.В., Хашир Б.О., Михалев А.П. Мировой и отечественный молочный рынок: состояние и перспективы развития. *Молочная промышленность*. 2023; 3: 16–18. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-03-16-18>

REFERENCES

- Sivkin N.V., Strekozov N.I. Analysis of the development strategy of dairy cattle breeding in the Russian Federation. *Dairy Industry*. 2022; 10: 61–64 (in Russian). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-10-61-64>
- Ekhurutomven O.T. Intensification of reproduction of highly productive herd of dairy cattle. *News of the National Academy of Sciences of Belarus. Journal of Agrarian Sciences*. 2024; 62(2): 135–144 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2024-62-2-135-144>
- Surai N.M., Ponomareva N.V., Khashir B.O., Mikhalev A.P. World and domestic dairy market: state and development prospects. *Dairy industry*. 2023; 3: 16–18 (in Russian). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-03-16-18>

4. Гридина С.Л., Гридин В.Ф., Лешонко О.И., Гусева Л.В. Динамика развития племенного молочного животноводства Свердловской области. *Аграрный вестник Урала*. 2018; (8): 30–34. <https://elibrary.ru/ylgqol>
5. Строев В.В., Магомедов М.Д., Алексейчева Е.Ю. Повышение производства и потребления молочных продуктов в России и продовольственная безопасность. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2023; 13(6–1): 368–380. <https://elibrary.ru/fkhuwk>
6. Ребезов М.Б., Харлап С.Ю., Горелик А.С. Характеристика хозяйственно полезных качеств голштинского скота. *Обеспечение устойчивого и биобезопасного развития АПК. Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция*. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Коква. 2022; 69–75. <https://elibrary.ru/ciknvi>
7. Лефлер Т.Ф., Садыко С.Г., Кириенко Н.Н. Влияние быков разной линейной принадлежности на молочную продуктивность дочерей. *Вестник КрасГАУ*. 2019; (7): 116–122. <https://www.elibrary.ru/rnsixr>
8. Чеченихина О.С., Смирнова Е.С. Биологические и продуктивные особенности коров черно-пестрой породы при различной технологии доения. *Молочно-хозяйственный вестник*. 2020; (1): 90–102. <https://www.elibrary.ru/ueogyv>
9. Соловьёва 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>
10. Соловьёва О.И., Крестянинова Е.И., Беляев О.В., Боцаев Д.Ф. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы при разной сочетаемости линий. *Главный зоотехник*. 2021; (4): 24–33. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2104-03>
11. Назарченко О.В., Цопанова А.В., Денисов С.А., Евшиков С.С. Голштинская порода и ее генетический потенциал в условиях Зауралья. *Аграрная наука в условиях модернизации и цифрового развития АПК России. Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции*. Курган (Лесниково): Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева 2022; 139–143. <https://elibrary.ru/rwvkjv>
12. Сергеева Д.С. Влияние голштинизации на экстерьерные показатели коров (литературный обзор). *Студенческая наука — первый шаг в академическую науку. Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10–11-х классов*. Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2022; 459–462. <https://elibrary.ru/qbbndr>
13. Ефремова Д.В. Голштинская порода крупного рогатого скота и ее значение в мировом скотоводстве. *В мире научных открытий. Материалы VII Международной студенческой научной конференции*. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина. 2023; 1558–1561. <https://elibrary.ru/yuzaha>
14. Гайнутдинова Э.Р., Сафина Н.Ю., Шакиров Ш.К. Совместимость молочной продуктивности и воспроизводительной способности коров-перволоток голштинской породы. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020; 15(2): 5–9. <https://elibrary.ru/fboovk>
15. Горелик О.В., Ребезов М.Б., Долматова И.А. Молочная продуктивность коров уральского типа голштинизированного черно-пестрого скота. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Материалы 81-й Международной научно-технической конференции*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 2023; 2: 250. <https://elibrary.ru/azjxic>
16. 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>
17. Брянтцев 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 Ошского государственного университета*. 2023; (3): 9–20. https://doi.org/10.52754/16948610_2023_3_2
18. 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>
19. Фирсова Э.В., Карташова А.П. Голштинская порода скота в Российской Федерации: современное состояние и перспективы развития. *Генетика и разведение животных*. 2019; (1): 62–69. <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-1-62-69>
4. Gridina S.L., Gridin V.F., Leshonok O.I., Guseva L.V. Dynamics of development of the breast dairy livestocking in Sverdlovsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018; (8): 30–34 (in Russian). <https://elibrary.ru/ylgqol>
5. Stroeve V.V., Magomedov M.D., Alekseecheva 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/fkhuwk>
6. Rebezov M.B., Kharlap S.Yu., Gorelik A.S. Characteristics of economic and useful qualities of Holstein cattle. *Ensuring sustainable and biosafe development of the agro-industrial complex. All-Russian (national) scientific and practical conference*. Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov. 2022; 69–75 (in Russian). <https://elibrary.ru/ciknvi>
7. Lefler T.F., Sadyko S.G., Kirienko N.N. The influence of bulls of different linear accessory on daughters' dairy efficiency. *Bulletin of KrasGAU*. 2019; (7): 116–122 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rnsixr>
8. Chechenikhina O.S., Smirnova E.S. Biological and productive features of Black-Motley cows with various milking techniques. *Molochno-khozyaistvenny Vestnik*. 2020; (1): 90–102 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ueogyv>
9. 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>
10. Solovyova O.I., Krestyaninova E.I., Belyaev O.V., Bochaev D.F. Milk productivity and reproductive traits of cows of Holstein breed when different genealogical lines combinations. *Head of animal breeding*. 2021; (4): 24–33 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-03-2104-03>
11. Nazarchenko O.V., Tsopanova A.V., Denisov S.A., Evshikov S.S. Holstein breed and its genetic potential in the Trans-Urals. *Agricultural science in the context of modernization and digital development of the Russian agro-industrial complex. Collection of articles based on the materials of the International scientific and practical conference*. Kurgan (Lesnikovo): Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev. 2022; 139–143 (in Russian). <https://elibrary.ru/rwvkjv>
12. Sergeeva D.S. The influence of Holsteinization on the exterior indicators of cows (literature review). *Student science is the first step into academic science. Materials of the All-Russian student scientific and practical conference with the participation of schoolchildren of grades 10–11*. Cheboksary: Chuvash State Agrarian University. 2022; 459–462 (in Russian). <https://elibrary.ru/qbbndr>
13. Efremova D.V. Holstein cattle breed and its importance in world cattle breeding. *In the world of scientific discoveries. Proceedings of the VII International student scientific conference*. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin. 2023; 1558–1561 (in Russian). <https://elibrary.ru/yuzaha>
14. 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>
15. Gorelik O.V., Rebezov M.B., Dolmatova I.A. Milk productivity of Ural type cows of Holsteinized black-and-white cattle. *Current problems of modern science, technology and education. Proceedings of the 81st International scientific and technical conference*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2023; 2: 250 (in Russian). <https://elibrary.ru/azjxic>
16. 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>
17. 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
18. Gridin V.F., Gridina S.L. Analysis of breed and class composition cattle of the Ural region. *Rossiyskaya sel'skhozajstvennaya nauka*. 2019; (1): 50–51 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019150-51>
19. Firsova E.V., Kartashova A.P. Holstein breed of the cattle in the Russian Federation, the current state and the prospects of development. *Genetics and breeding of animals*. 2019; (1): 62–69 (in Russian). <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2019-1-62-69>

20. 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>

21. Соловьёва О.И., Крестянинова Е.И. Факторы, влияющие на здоровье и долголетие молочных коров. *Повышение конкурентоспособности животноводства и задачи кадрового обеспечения. Материалы XXVIII Международной научно-практической конференции*. Быково. 2022; 143–148. <https://elibrary.ru/bakhwq>

22. Прохоренко П. Голштинская порода и ее влияние на генетический прогресс продуктивности черно-пестрого скота европейских стран и Российской Федерации. *Молочное и мясное скотоводство*. 2013; (2): 2–6. <https://www.elibrary.ru/pwvkav>

23. Костомыхин Н.М., Габедва М.А., Воронкова О.А. Молочная продуктивность и продолжительность хозяйственного использования голштинизированных коров разной линейной принадлежности. *Главный зоотехник*. 2018; (4): 3–9. <https://www.elibrary.ru/yvjfif>

20. Chechenikhina O.S., Bykova O.A., Loretts O.G., Stepanov A.V. The age of retirement of cows from the herd, depending on genetic and paratypical factors. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; (6): 71–79 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-71-79>

21. Solovyova O.I., Krestyaninova E.I. Factors affecting the health and longevity of dairy cows. *Increasing the competitiveness of livestock breeding and the tasks of personnel support. Proceedings of the XXVIII International scientific and practical conference*. Bykovo. 2022; 143–148 (in Russian). <https://elibrary.ru/bakhwq>

22. Prokhorenko P. Holstein breed and its influence to genetic progress of Black-and-White cattle performance in European countries and the Russian Federation. *Dairy and beef cattle farming*. 2013; (2): 2–6 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pwvkav>

23. Kostomakhin N.M., Gabedava M.A., Voronkova O.A. Milk productivity and duration of the economic use of Holsteinized cows of different liner origin. *Head of animal breeding*. 2018; (4): 3–9 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yvjfif>

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^{2,3}

- доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов²;
- доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник³
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>

Наталья Ивановна Кульмакова⁴

доктор сельскохозяйственных наук, доцент
kni11@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0372-6109>

Куралай Сметкановна Исаева⁵

кандидат технических наук, профессор, заведующая кафедрой биотехнологии
issayevakuralay@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4533-0188>

¹ Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
ул. Мира, 22, Екатеринбург, 620062, Россия

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

³ Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук,
ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

⁴ Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева,
Тимирязевская ул., 49, Москва, 127550, Россия

⁵ Торайгыров университет,
ул. им. Ломова, 64, Павлодар, 140008, Казахстан

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^{2,3}

- Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Biotechnology and Food Products²;
- Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher³
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>

Natalia Ivanovna Kulmakova⁴

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor
kni11@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0372-6109>

Kuralay Smetkanovna Isaeva⁵

Candidate of Technical Sciences, Professor, Head Department of Biotechnology
issayevakuralay@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4533-0188>

¹ Ural 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

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

³ Gorbato Research Center for Food Systems,
26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

⁴ Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russia

⁵ Toraihyrov University,
64 Lomov Str., Pavlodar, 140008, Kazakhstan

УДК 636.084.41

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-39-44

Е.В. Шейда^{1, 2}О.В. Кван^{1, 2} ✉О.В. Шошина¹Ю.А. Сечнев¹Л.Ю. Топурия³

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

² Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

³ Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

✉ kwan111@yandex.ru

Поступила в редакцию: 05.03.2025

Одобрена после рецензирования: 11.07.2025

Принята к публикации: 26.07.2025

© Шейда Е.В., Кван О.В., Шошина О.В., Сечнев Ю.А., Топурия Л.Ю.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-39-44

Elena V. Sheida^{1, 2}Olga V. Kvan^{1, 2} ✉Oksana V. Shoshina¹Yuri A. Sechnev¹Larisa Yu. Topuria³

¹ Federal Scientific Center of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

² Orenburg State University, Orenburg, Russia

³ Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

✉ kwan111@yandex.ru

Received by the editorial office: 05.03.2025

Accepted in revised: 11.07.2025

Accepted for publication: 26.07.2025

© Sheida E.V., Kvan O.V., Shoshina O.V., Sechnev Yu.A., Topuria L.Yu.

Влияние протеолитических ферментов на степень усвоения питательных веществ в организме бычков

РЕЗЮМЕ

Ферментные добавки получили широкое распространение в кормлении сельскохозяйственных животных по всему миру. Кормление ферментами-катализаторами часто сопровождается увеличением потребления корма, ввиду того что повышаются вкусовые качества рациона за счет сахаров, высвобождаемых при гидролизе клетчатки кормов. После попадания ферментов в желудок происходит увеличение скорости переваривания за счет гидролитической активности в рубце, отчего уменьшается заполнение кишечника, а переваримость увеличивается.

Цель исследования — изучить особенности усвоения питательных веществ рациона бычками при включении в рацион фермента протеазы.

Объекты исследований — бычки казахской белоголовой породы средней массой 320–330 кг в возрасте 14–15 месяцев (количество 8 голов). Дополнение рациона бычков казахской белоголовой породы экзоферментом протеазы грибной в дозировке 50 г/гол оказало положительный эффект на механизмы обмена веществ в организме бычков. В результате чего было зафиксировано повышение переваримости питательных веществ рационов опытной группы. Повышалась усвояемость микроэлементов: Li на 2,0%, B на 0,4%, Se на 1,9%, Br на 2,7%, I на 24,6%, Zn на 1,0%; ухудшалось усвоение: Mn на 19,2%, Co на 29,8%, Ni на 0,8%, Cu на 2,8%, Mo на 4,8%, Cr на 6,8%, Fe на 1,5%. Токсические микроэлементы (Sr, Sn, Al, Cd, Hg, Pb) под воздействием протеазы грибной лучше удалялись из организма животных.

Ключевые слова: бычки, рацион, протеаза, усвоение, макроэлементы, микроэлементы

Для цитирования: Шейда Е.В., Кван О.В., Шошина О.В., Сечнев Ю.А., Топурия Л.Ю. Влияние протеолитических ферментов на степень усвоения питательных веществ в организме бычков. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 39–44.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-39-44>

The effect of proteolytic enzymes on the degree of absorption of nutrients in the body of bull calves

ABSTRACT

Enzyme supplements are widely used in the feeding of farm animals all over the world. Feeding with enzyme catalysts is often accompanied by an increase in feed intake due to the fact that the palatability of the diet increases due to the sugars released during the hydrolysis of feed fiber. After the enzymes enter the stomach, the rate of digestion increases due to the hydrolytic activity in the rumen, which reduces intestinal filling and increases digestibility.

The aim of the study was to study the features of the absorption of nutrients in the diet of bull calves when the protease enzyme is included in the diet.

The objects of research are Kazakh white-headed bulls an average weight of 320–330 kg at the age of 14–15 months (number of 8 heads). Supplementing the diet of Kazakh white-headed bull calves with a mushroom protease exoenzyme at a dosage of 50 g/head had a positive effect on the metabolic mechanisms in the bull calves. As a result, an increase in the digestibility of nutrients in the diets of the experimental group was recorded. The digestibility of trace elements increased: Li by 2.0%, B by 0.4%, Se by 1.9%, Br by 2.7%, I by 24.6%, Zn by 1.0%; assimilation worsened: Mn by 19.2%, Co by 29.8%, Ni by 0.8%, Cu by 2.8%, Mo by 4.8%, Cr by 6.8%, Fe by 1.5%. Toxic trace elements (Sr, Sn, Al, Cd, Hg, Pb) were better removed from the animal body under the influence of fungal protease.

Key words: kazakh white-headed bulls, diet, protease, assimilation, macronutrients, trace elements

For citation: Sheida E.V., Kvan O.V., Shoshina O.V., Sechnev Yu.A., Topuria L.Yu. The effect of proteolytic enzymes on the degree of absorption of nutrients in the body of bull calves. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 39–44 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-39-44>

Введение/Introduction

Ферментные кормовые добавки получили широкое распространение в практике кормления сельскохозяйственных животных. Их использование у крупного рогатого скота способствует улучшению пищеварительных процессов и снижению затрат на выращивание, поскольку корма составляют основную часть производственных расходов, что особенно важно для производителей говядины. Однако для достижения максимальной эффективности работы энзимов, а также получения экономической выгоды необходимо тщательно подбирать их состав и правильно использовать [1].

Ферменты — это биологические катализаторы, незаменимые компоненты пищеварительного процесса у животных. Их роль в переваривании корма настолько значительна, что напрямую влияет на усвояемость питательных веществ и продуктивность сельскохозяйственных животных [2].

Экзогенные протеазы (обычно из микробиологических или бактериальных и грибковых источников) всё чаще используются в рационах сельскохозяйственных животных для усиления гидролиза кормового белка [3].

Введение экзогенных протеаз в рацион молодняка часто приводит не только к улучшению усвоения белка, но и остальных питательных веществ. Эти протеазы разрушают ингибиторы эндогенных протеаз и лектины, содержащиеся в кормах. Щелочным протеазам отводится важная роль ввиду обширной субстратной специфичности и усиленной деятельности на протяжении всего желудочно-кишечного тракта. В эту категорию включены и кератиназы, которые способны расщеплять белки, недостижимые для деятельности протеаз и пептидаз в организме животных. Кератиназы разлагают агглютинины, глицинин и β -конглицинин, а кроме того, белки соединительной ткани, которые обладают стойкостью к воздействию ферментов желудочно-кишечного тракта и некоторых экзогенных протеаз.

Лучше всего использовать протеазы с кератинолитической активностью в качестве кормовых добавок [4], которые в жидкой или гранулированной форме добавляются в общий смешанный рацион, сено, силос, концентраты, добавки или премиксы и повышают доступность питательных веществ в клеточной стенке [5, 6].

Научные исследования, подтверждающие точный механизм действия и эффективность кормовых протеаз в различных производственных условиях, всё еще продолжаются [3]. Способ действия каждого фермента индивидуален и взаимозависим, его использование в сочетании с составами кормов должно осуществляться рационально и осторожно для достижения максимального положительного эффекта. Ферменты прямо или косвенно воздействуют на питательные вещества, оказывая основное воздействие на субстрат, на который они направлены, а также вызывают побочные эффекты [7].

Кормление ферментами часто сопровождается увеличением потребления корма, ввиду того что повышаются вкусовые качества рациона за счет сахаров, высвобождаемых при гидролизе клетчатки кормов. После попадания ферментов в желудок происходит увеличение скорости переваривания за счет гидролитической активности в рубце, отчего уменьшается заполнение кишечника, а переваримость увеличивается [8, 9].

Добавки с ферментами, обладающими протеазной активностью, разработаны для улучшения переваривания, а также усвоения белков и аминокислот из рациона для животных [2]. На рынке кормовых добавок доминируют протеазы, полученные из бактерий. Ферменты обширно используются в различных отраслях, включая производство спирта и пива, хлебобулочных изделий, синтетических моющих средств, в кожевенном производстве, в переработке мяса, рыбы и морепродуктов [1]. Грибная щелочная протеаза — ферментный препарат, обладающий протеолитической активностью, который способствует расщеплению белков на пептиды и аминокислоты.

Добавление ферментов в рационы полигастрических животных оказывает положительный эффект на усвоение питательных веществ, в результате чего крупному рогатому скоту не приходится скармливать повышенное количество корма для достижения высоких продуктивных показателей. При уменьшенном потреблении сухого вещества улучшается усвояемость в рубце вследствие медленного продвижения корма. Если же ферменты добавляются в рацион и потребление сухого вещества снижается, то животные получают больше питательных веществ и энергии благодаря повышенной эффективности переваривания, даже несмотря на удлинение времени нахождения корма в рубце [10].

Зарубежные ученые [11] проводили исследования по изучению воздействия фермента в рационе животных на степень усвоения эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов, что значительно улучшало их биодоступность в кишечнике и способствовало эффективному использованию.

Избыток или недостаток этих элементов может быть источником различных заболеваний [12]. Информации о роли в организме условно-эссенциальных микроэлементов не так много, но известно, что они выполняют различные функции в организме. Состав этой группы элементов непостоянен, новые открытия способны перенести один из них в группу эссенциальных. О последствиях дефицита этих микроэлементов сведений недостаточно [13].

Таким образом, добавление ферментов в рационы жвачных животных может повысить усвояемость волокнистых кормов, снизить затраты на кормление за счет сокращения использования зерна, широко используемого в рационах, и повысить продуктивность и конверсию корма [14].

Цель данного исследования — изучение особенностей усвоения питательных веществ и химических элементов бычками при включении в рацион фермента протеазы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования были выполнены с 2023 по 2024 год в отделе кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. профессора С.Г. Леушина лаборатории биологических испытаний и экспертиз Центра нанотехнологий в сельском хозяйстве и Центра коллективного пользования с использованием материально-технической и методической базы ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН).

Объект исследования — бычки казахской белоголовой породы средней массой 320–330 кг в возрасте 14–15 месяцев (количество — 4 гол.). Животным были установлены фистулы рубца по Басову. Для *in vivo* исследований были сформированы две группы животных (по 4 бычка в каждой) — контрольная и опытная. Контрольная группа получала основной рацион, опытная группа в дополнение получала экзофермент протеаза грибная («Биопрепарат», г. Воронеж, Россия) в дозировке 50 г/гол, который задавали в составе концентрированных кормов путем ступенчатого смешивания.

Исследования проводили в четырех повторностях с использованием латинского квадрата 4×4 в лаборатории биологических испытаний и экспертиз Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук¹.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования выполняли в соответствии с «Позицией по этике использования животных в исследованиях, выполняемых при поддержке Российской академии наук»².

При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Кормление подопытных животных было организовано с учетом рекомендаций А.П. Калашникова и др.³ Рацион для опытных животных состоял из сена разнотравного лугового (80%), зерновой смеси (19%), премикса ПК-60 (1%), в рационе содержались сухое вещество (94,68%), сырой протеин (5,9%), сырая клетчатка (28%), НДК (6,3%),

КДК (4,6%), гемицеллюлоза (1,65%), сырой жир (2,73%), органическое вещество (93,4%), кальций (0,51%), фосфор (0,37%), сырая зола (1,28%), БЭВ (53,8%).

Зоотехнический анализ кормов и выделенного кала проводили по общепринятым методикам и ГОСТам, определяли массовую долю сухого вещества⁴, сырого протеина⁵, сырого жира⁶, сырой клетчатки⁷, сырой золы⁸, кальция⁹.

Лабораторные исследования выполняли с использованием приборной базы ЦКП БСТ РАН (<https://xn----btbumgw.xn--p1ai/>). Элементный состав основных компонентов рациона и выделенного кала был изучен с использованием атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии (АЭС-ИСП и МС-ИСП). Содержание макроэлементов основного рациона представлено в таблице 1.

Таблица 1. Содержание макроэлементов в зерне и сене, входящие в состав опытного рациона бычков казахской белоголовой породы, мг/кг

Table 1. The content of macronutrients in grain and hay, which are part of the experimental diet of Kazakh white-headed bull calves, mg / kg

Показатель	Зерносмесь	Сено
<i>Макроэлементы</i>		
Na	45,0 ± 2,1	58,00 ± 4,02
Mg	1230,0 ± 52,1	1518,1 ± 73,2
P	3062,3 ± 122,4	1052,4 ± 46,1
K	320,2 ± 14,2	5416,6 ± 244,1
Ca	320,2 ± 14,2	3636,2 ± 196,2
<i>Эссенциальные и условно-эссенциальные элементы</i>		
Li	0,050 ± 0,004	0,38 ± 0,02
Be	0,0005 ± 0,0001	0,004 ± 0,001
B	31,2 ± 0,9	37,1 ± 2,4
Mn	38,3 ± 1,6	116,7 ± 6,1
Co	0,033 ± 0,002	0,104 ± 0,004
Ni	0,64 ± 0,02	1,66 ± 0,06
Cu	3,05 ± 0,16	2,32 ± 0,09
Se	0,240 ± 0,007	1,25 ± 0,11
Br	4,32 ± 0,40	3,47 ± 0,34
Mo	6,95 ± 0,29	7,58 ± 0,69
I	0,16 ± 0,01	0,32 ± 0,03
Ba	6,65 ± 0,25	69,7 ± 3,07
Bi	0,0070 ± 0,0002	0,0090 ± 0,0006
Cr	0,33 ± 0,01	2,1 ± 0,09
Fe	51,3 ± 2,31	154,3 ± 5,09
Zn	15,4 ± 0,55	13,4 ± 0,45
As	0,04 ± 0,02	0,096 ± 0,008
<i>Токсичные элементы</i>		
Al	43,3 ± 1,73	165,5 ± 7,78
Sr	2,54 ± 0,09	17,9 ± 0,91
Cd	0,056 ± 0,004	0,030 ± 0,004
Sn	0,0099 ± 0,0006	0,040 ± 0,002
Sb	0,0055 ± 0,0003	0,0130 ± 0,0011
Hg	0,0035 ± 0,0009	0,0135 ± 0,0009
Pb	0,130 ± 0,005	0,320 ± 0,016

¹ Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве: учебники и учеб. пособия для высших с.-х. учеб. заведений. Москва. 1976; 304.

² Модельный закон Межпарламентской ассамблеи государств — участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с животными», ст. 20 (Постановление МА государств — участников СНГ от 31.10.2007 № 29-17), Руководство по работе с лабораторными животными

(http://fnbst.ru/?page_id=3553) и The Guide for the Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D.C. 1996).

³ 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.

⁴ ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества.

⁵ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

⁶ ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

⁷ ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

⁸ ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы.

⁹ ГОСТ 26570-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения кальция.

При выполнении исследований методами АЭС-ИСП и МС-ИСП озоление биосубстратов проводили с использованием микроволновой системы разложения MD-2000 (США). Анализ содержания химических элементов в полученной золе оценивали с использованием масс-спектрометра Elan 9000 (Perkin Elmer, США) и атомно-эмиссионного спектрометра Optima 2000 V (Perkin Elmer, США).

Коэффициенты переваримости питательных веществ рационов рассчитывали путем отношения количества питательных веществ, переваренных животным, к количеству питательных веществ, принятых в течение суток¹⁰.

Статистический анализ выполняли с использованием методик ANOVA (программный пакет Statistica 10.0, Statsoftinc и Microsoft Excel (США). Статистическая обработка включала расчет среднего значения (М) и стандартные ошибки среднего ($\pm$ SEM).

Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Препараты на основе ферментов оказывают положительный эффект на пищеварение и усвоение питательных веществ через стимуляцию развития микроорганизмов в рубце, тем самым увеличивая активность пищеварительных ферментов, снижая при этом окислительные процессы и рост патогенных бактерий [11].

В процессе анализа переваримости питательных веществ корма установили, что коэффициенты переваримости у бычков опытной группы были выше, чем в контроле, по сухому веществу на 2,7%, по органическому веществу на 3,2%, по сырому протеину на 6,8%, по сырой клетчатке на 3,0%, по сырой золе на 2,9%, по сырому жиру на 2,8% (табл. 2).

В ходе исследования был выполнен микронутриентный анализ рациона и выделенного кала, после чего рассчитали элементную усвояемость в организме экспериментальных животных. Так, с дополнением к рациону экзофермента протеазы грибной в дозировке 50 г/гол в организме бычков снижалось усвоение следующих макроэлементов: Na — на 6,0%, Mg — на 6,2%, P — на 5,6%, K — на 0,1%, Ca — на 3,9% (по сравнению с контрольной группой) (табл. 3).

При оценке результатов исследований эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов установили, что с добавлением грибной протеазы в рацион повышалась усвояемость Li (на 2,0%), B (на 0,4%), Se (на 1,9%), Br (на 2,7%), I (на 24,6%) ($p \leq 0,01$), Zn (на 1,0%). Данная добавка привела к снижению усвояемости

Таблица 2. Коэффициенты переваримости питательных веществ корма в организме бычков при использовании в рационе фермента протеазы, %

Table 2. Coefficients of digestibility of feed nutrients in the body of calves when using the protease enzyme in the diet, %

Показатель	Группы	
	контрольная	опытная
Сухое вещество	65,9 $\pm$ 2,1	68,6 $\pm$ 3,02
Органическое вещество	68,2 $\pm$ 3,1	71,4 $\pm$ 2,1
Сырой протеин	75,1 $\pm$ 2,9	81,9 $\pm$ 2,6
Сырая клетчатка	57,9 $\pm$ 1,1	60,9 $\pm$ 1,3
Сырая зола	52,3 $\pm$ 1,2	55,2 $\pm$ 1,3
Сырой жир	74,1 $\pm$ 2,1	76,9 $\pm$ 2,1

Таблица 3. Усвояемость макроэлементов в организме бычков, %

Table 3. The digestibility of trace elements in the body of bulls, %

	Контрольная	Опытная
Na	-16,6	-10,6
Mg	17,4	11,2
P	26,4	20,8
K	69,7	69,6
Ca	-14,4	-10,5

Таблица 4. Усвояемость эссенциальных и условно-эссенциальных элементов в организме бычков, %

Table 4. The digestibility of essential and conditionally essential elements in the body of bulls, %

	Контрольная	Опытная
Li	10,2	12,2
B	41,0	41,4
Mn	51,5	32,3
Co	-51,9	-22,1
Ni	10,9	10,1
Cu	11,9	9,1
Se	56,3	58,2
Br	24,2	26,9
Mo	22,1	17,3
I	4,3	28,9
Cr	-18,5	-11,7
Fe	-4,3	-2,8
Zn	13,2	14,2

таких микроэлементов, как Mn (на 19,2%), Co (на 29,8%), Ni (на 0,8%), Cu (на 2,8%), Mo (на 4,8%), Cr (на 6,8%), Fe (на 1,5%), по сравнению с контролем соответственно (табл. 4).

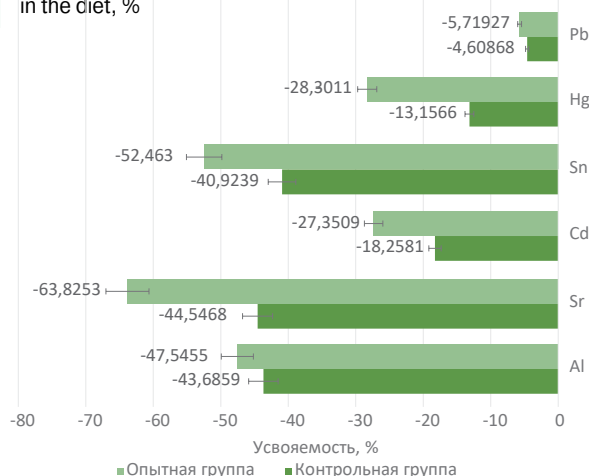
Так, с дополнением к рациону экзофермента протеазы грибной в дозировке 50 г/гол выведение из организма токсических элементов в опытной группе было лучше, чем в контроле, по микроэлементам Sr (на 19,3%), Sn (на 11,5%), Al (на 3,9%), Cd (на 9,1%), Hg (на 15,1%), Pb (на 1,1%).

Полученные данные подтверждают, что экзогенные протеолитические ферменты способны повышать общую усвояемость сухого вещества, органического вещества и нейтрально-детергентной клетчатки в желудочно-кишечном тракте [16]. Кроме того, ферментные препараты могут сохранять свою активность не только в верхних, но и в нижних отделах желудочно-кишечного тракта,

¹⁰ Балакирев Н.А., Харламов А.В., Левахин Г.И., Дускаев Г.К., Кизаев М.А., Бабицева И.А., Мироненко С.И. Пособие для проведения научно-исследовательских работ в зоотехнии: учебно-методическое пособие. Москва — Оренбург. 2016; 227.

Рис. 1. Усвояемость токсичных элементов в организме опытных животных при включении в рацион фермента протеазы, %

Fig. 1. The digestibility of toxic elements in the body of experimental animals when the protease enzyme is included in the diet, %



снижая вязкость перевариваемого продукта, в результате чего происходят ускорение процессов разложения корма и улучшение усвоения питательных веществ [9].

В ходе собственного эксперимента установили, что экзофермент протеаза грибная в дозировке 50 г/гол изменяет ретенцию эссенциальных

и условно-эссенциальных микроэлементов в следующем порядке:

Li, B, Se, Br, I, Zn
Mn, Co, Ni, Cu, Mo, Cr, Fe

Выводы/Conclusions

Введение протеазы грибной в рацион бычков казахской белоголовой породы в дозировке 50 г/гол оказало положительное воздействие на метаболизм веществ в организме. В результате чего отмечено повышение переваримости питательных веществ опытной группы по сухому веществу (на 2,7%), органическому веществу (на 3,2%), сырому протеину (на 6,8%), сырой клетчатке (на 3,0%), сырой золе (на 2,9%), сырому жиру (на 2,8%).

Фермент протеаза грибная способствовал снижению усвоения таких макроэлементов, как Na (на 6,0%), Mg (на 6,2%), P (на 5,6%), K (на 0,1%), Ca (на 3,9%). Повышалась усвояемость микроэлементов: Li — на 2,0%, B — на 0,4%, Se — на 1,9%, Br — на 2,7%, I — на 24,6% ($p \leq 0,01$), Zn — на 1,0%, ухудшалось усвоение Mn (на 19,2%), Co (на 29,8%), Ni (на 0,8%), Cu (на 2,8%), Mo (на 4,8%), Cr (на 6,8%), Fe (на 1,5%).

В организме бычков опытной группы отмечено достоверное снижение уровня токсических микроэлементов (на 19,3%), Sn (на 11,5%), Al (на 3,9%), Cd (на 9,1%), Hg (на 15,1%), Pb (на 1,1%).

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 средства 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

- Ветвицкая А. Качественные ферментные препараты — осязательная выгода. *Эффективное животноводство*. 2020; (8): 86–92. <https://elibrary.ru/sejwpq>
- Ильяшенко А.Н. Обзор кормовых добавок с протеазной активностью. *Эффективное животноводство*. 2024; (6): 22–23. <https://elibrary.ru/hqvlcb>
- Yu S., Bech Thøgersen J., Kragh K.M. Comparative study of protease hydrolysis reaction demonstrating Normalized Peptide Bond Cleavage Frequency and Protease Substrate Breadth Index. *PLoS ONE*. 2020; 15(9): e0239080. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239080>
- Крюков В.С., Зиновьев С.В., Некрасов Р.В. Протеазы в питании моногастрических животных. *Аграрная наука*. 2021; (1): 30–38. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-30-38>
- Mendoza G.D., Loera-Corral O., Plata-Pérez F.X., Hernández-García P.A., Ramírez-Mella M. Considerations on the Use of Exogenous Fibrolytic Enzymes to Improve Forage Utilization. *The Scientific World Journal*. 2014: 247437. <https://doi.org/10.1155/2014/247437>
- Peters A., Lebzien P., Meyer U., Borchert U., Bulang M., Flachowsky G. Effect of exogenous fibrolytic enzymes on ruminal fermentation and nutrient digestion in dairy cows. *Archives of Animal Nutrition*. 2010; 64(3): 221–237. <https://doi.org/10.1080/17450391003693142>
- Anil et al. A Review on the Role of Exogenous Fibrolytic Enzymes in Ruminant Nutrition. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2022; 41(36): 45–58.
- El-Bordeny N.E., El-Sayed H.M., Saied H., Mahran A.T. Evaluation of exogenous fibrolytic enzyme supplementation to improve feed utilization in ruminants. *Journal of Environmental Science*. 2017; 39(1): 69–90.

REFERENCES

- Vetvitskaya A. High-quality enzyme preparations are a tangible benefit. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2020; (8): 86–92 (in Russian). <https://elibrary.ru/sejwpq>
- Ilyashenko A.N. Review of feed additives with protease activity. *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2024; (6): 22–23 (in Russian). <https://elibrary.ru/hqvlcb>
- Yu S., Bech Thøgersen J., Kragh K.M. Comparative study of protease hydrolysis reaction demonstrating Normalized Peptide Bond Cleavage Frequency and Protease Substrate Breadth Index. *PLoS ONE*. 2020; 15(9): e0239080. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239080>
- Kryukov V.S., Zinoviev S.V., Nekrasov R.V. Proteases in the diet of monogastric animals. *Agrarian science*. 2021; (1): 30–38 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-30-38>
- Mendoza G.D., Loera-Corral O., Plata-Pérez F.X., Hernández-García P.A., Ramírez-Mella M. Considerations on the Use of Exogenous Fibrolytic Enzymes to Improve Forage Utilization. *The Scientific World Journal*. 2014: 247437. <https://doi.org/10.1155/2014/247437>
- Peters A., Lebzien P., Meyer U., Borchert U., Bulang M., Flachowsky G. Effect of exogenous fibrolytic enzymes on ruminal fermentation and nutrient digestion in dairy cows. *Archives of Animal Nutrition*. 2010; 64(3): 221–237. <https://doi.org/10.1080/17450391003693142>
- Anil et al. A Review on the Role of Exogenous Fibrolytic Enzymes in Ruminant Nutrition. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2022; 41(36): 45–58.
- El-Bordeny N.E., El-Sayed H.M., Saied H., Mahran A.T. Evaluation of exogenous fibrolytic enzyme supplementation to improve feed utilization in ruminants. *Journal of Environmental Science*. 2017; 39(1): 69–90.

9. Arriola K.G., Oliveira A.S., Ma Z.X., Lean I.J., Giurcanu M.C., Adesogan A.T. A meta-analysis on the effect of dietary application of exogenous fibrolytic enzymes on the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(6): 4513–4527. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12103>

10. Агафонова Е.А., Шейда Е.В., Кван О.В. Использование ферментов в кормлении крупного рогатого скота, последствия для здоровья и продуктивности. *Животноводство и кормопроизводство*. 2023; 106(1): 132–143. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-132>

11. Yu X., Han J., Li H., Zhang Y., Feng J. The effect of enzymes on release of trace elements in feedstuffs based on in vitro digestion model for monogastric livestock. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2018; 9: 73. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0289-2>

12. Касьянов Г.И., Мишкевич Э.Ю., Магомедов А.М. Мясные продукты, обогащенные эссенциальными микроэлементами. *Пищевая индустрия*. 2019; (3): 46–49. <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2019-10011>

13. Гальченко А.В., Шерстнева А.А., Левина М.М. Условно-эссенциальные микроэлементы в питании вегетарианцев и веганов: фтор, кремний, бром, бор. *Микроэлементы в медицине*. 2021; 22(1): 32–43. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2021-22-1-32-43>

14. Beauchemin K.A., Holtshausen L. Development in enzyme usage in ruminants. Bedford M.R., Partridge G.G. (eds.). *Enzymes in Farm Animal Nutrition*. 2nd Edition. *CABI*. 2011; 206–230. <https://doi.org/10.1079/9781845936747.020>

15. Трухачев В.И., Буряков Н.П., Бурякова М.А., Лаптев Г.Ю., Комарова О.Е., Нарезная А.А. Особенности рубцового пищеварения коров при включении в основной рацион ферментной кормовой добавки. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2023; (1): 26–36. <https://doi.org/10.33920/sel-05-2301-03>

16. Ali U. et al. Stability and Survivability of Alginate Gum-Coated *Lactobacillus rhamnosus* GG in Simulated Gastrointestinal Conditions and Probiotic Juice Development. *Journal of Food Quality*. 2023; 3660968. <https://doi.org/10.1155/2023/3660968>

ОБ АВТОРАХ

Елена Владимировна Шейда^{1,2}

• доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина¹;

• доктор биологических наук, старший научный сотрудник² elena-shejda@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Ольга Вилориевна Кван^{1,2}

• кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведомо кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина¹;

• кандидат биологических наук, старший научный сотрудник² kwan111@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Оксана Вячеславовна Шошина¹

кандидат биологических наук, младший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина oksana.shoshina.98@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

Юрий Андреевич Сечнев¹

аспирант отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Леушина y.sechnev@outlook.com <https://orcid.org/0009-0009-5920-1185>

Лариса Юрьевна Топурия³

доктор биологических наук, профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы и фармакологии golaso@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7881-2602>

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, ул. 9 Января, 29, Оренбург, 460000, Россия

² Оренбургский государственный университет, пр. Победы, 13, Оренбург, 460018, Россия

³ Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, 18, Оренбург, 460014, Россия

9. Arriola K.G., Oliveira A.S., Ma Z.X., Lean I.J., Giurcanu M.C., Adesogan A.T. A meta-analysis on the effect of dietary application of exogenous fibrolytic enzymes on the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(6): 4513–4527. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12103>

10. Agafonova E.A., Sheida E.V., Kvan O.V. Enzyme use in cattle nutrition, implications for health and productivity (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023; 106(1): 132–143 (in Russian). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-1-132>

11. Yu X., Han J., Li H., Zhang Y., Feng J. The effect of enzymes on release of trace elements in feedstuffs based on in vitro digestion model for monogastric livestock. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2018; 9: 73. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0289-2>

12. Kasyanov G.I., Mishkevich E.Yu., Magomedov A.M. Meat products enriched with essential trace elements. *Pishchevaya industriya*. 2019; (3): 46–49 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/9999-008A-2019-10011>

13. Galchenko A.V., Sherstneva A.A., Levina M.M. Conditionally essential trace elements in nutrition of vegetarians and vegans: fluorine, silicon, bromine, boron. *Trace elements in medicine*. 2021; 22(1): 32–43 (in Russian). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2021-22-1-32-43>

14. Beauchemin K.A., Holtshausen L. Development in enzyme usage in ruminants. Bedford M.R., Partridge G.G. (eds.). *Enzymes in Farm Animal Nutrition*. 2nd Edition. *CABI*. 2011; 206–230. <https://doi.org/10.1079/9781845936747.020>

15. Trukhachev V.I., Buryakov N.P., Buryakova M.A., Laptev G.Yu., Komarova O.E., Narezhnaya A.A. Features of rumen digestion of cows when an enzyme feed additive is included in the basic ration. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2023; (1): 26–36 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-05-2301-03>

16. Ali U. et al. Stability and Survivability of Alginate Gum-Coated *Lactobacillus rhamnosus* GG in Simulated Gastrointestinal Conditions and Probiotic Juice Development. *Journal of Food Quality*. 2023; 3660968. <https://doi.org/10.1155/2023/3660968>

ABOUT THE AUTHORS

Elena Vladimirovna Sheida^{1,2}

• Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher at the S.G. Leushin Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology¹;

• Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher² elena-shejda@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-2586-613>

Olga Vilorievna Kvan^{1,2}

• Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Head. Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after S.G. Leushin¹;

• Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Acting Head of the Feeding Department² kwan111@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Oksana Vyacheslavovna Shoshina¹

Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher at the S.G. Leushin Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology

oksana.shoshina.98@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

Yuri Andreevich Sechnev¹

Postgraduate Student of the Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after S.G. Leushin y.sechnev@outlook.com <https://orcid.org/0009-0009-5920-1185>

Larisa Yurievna Topuria³

Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise and Pharmacology golaso@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7881-2602>

¹ Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9th January Str., Orenburg, 460000, Russia

² Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

³ Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev Str., Orenburg, 460014, Russia

УДК 619:631.51:633.111.1

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-45-51

Л.В. Арсеньева ✉

О.С. Комолова

Е.А. Денисова

Г.М. Горяинова

П.А. Попов

Всероссийский научно-исследовательский институт фундаментальной и прикладной паразитологии животных и растений — филиал Федерального научно-исследовательского института экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.П. Коваленко Российской академии наук», Москва, Россия

✉ Luizza@inbox.ru

Поступила в редакцию: 01.06.2025

Одобрена после рецензирования: 11.07.2025

Принята к публикации: 26.07.2025

© Арсеньева Л. В., Комолова О.С., Денисова Е.А., Горяинова Г.М., Попов П.А.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-45-51

Luiza V. Arsenyeva ✉

Olga S. Komolova

Elizaveta A. Denisova

Galina M. Goryainova

Peter A. Popov

All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plants — a Branch of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre VIEV", Moscow, Russia

✉ Luizza@inbox.ru

Received by the editorial office: 01.06.2025

Accepted in revised: 11.07.2025

Accepted for publication: 26.07.2025

© Arsenyeva L.V., Komolova O.S., Denisova E.A., Goryainova G.M., Popov P.A.

Использование кормовой добавки «Биоростацидум®» в процессе откорма индюшат

РЕЗЮМЕ

Проведен сравнительный анализ скорости роста и развития индюшат при использовании в их рационе кормовой добавки «Биоростацидум®». Сформированы три группы суточных индюшат кросса BIG-6, каждая из которых состояла из 100 особей (без разделения по половому признаку). I контрольная группа получала тщательно сбалансированный стандартный рацион. II экспериментальная группа в дополнение к стандартному корму получала кормовую добавку «Биоростацидум®» в дозировке 0,5 кг на 1 т корма. III экспериментальная группа получала аналогичную добавку в дозировке 1,0 кг на 1 т корма.

Было установлено, что кормовая добавка «Биоростацидум®» оказывает благоприятное воздействие на организм индюшат, стимулируя увеличение привеса живой массы подопытной птицы на 6,5% и 12,5% по сравнению с контрольной группой. Среднесуточный привес индюшат возрос на 5,6 г и 10,7 г, что эквивалентно 6,6% и 12,7% относительно контрольного показателя. Убойный выход у опытных групп индеек составил 78,6% и 80,1%, что превышает контрольный показатель (76,7%) на 1,9% и 3,4% соответственно. Кроме того, добавление кормовой добавки «Биоростацидум®» в корма основного рациона привело к повышению сохранности индюшат на 2,0% и 4,0% по сравнению с контрольной группой.

Ключевые слова: Биоростацидум®, кормовая добавка, индейки, продуктивность, динамика живой массы, среднесуточный прирост, сохранность

Для цитирования: Арсеньева Л.В., Комолова О.С., Денисова Е.А., Горяинова Г.М., Попов П.А. Использование кормовой добавки «Биоростацидум®» в процессе откорма индюшат. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 45–51.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-45-51>

Use of the feed additive "Biorostacidum®" in the fattening process of turkey chicks

ABSTRACT

A comparative analysis of the growth rate and development of turkeys when using the feed additive "Biorostacidum®" in their diet was carried out. Three groups of day-old turkeys of the BIG-6 cross were formed, each of which consisted of 100 individuals (without gender separation). The first control group received a carefully balanced standard diet. The second experimental group, in addition to the standard feed, received the feed additive "Biorostacidum®" at a dosage of 0.5 kg per 1 ton of feed. Experimental group III received a similar supplement at a dosage of 1.0 kg per 1 ton of feed.

It was found that the feed additive "Biorostacidum®" has a beneficial effect on the body of turkeys, stimulating an increase in the body weight gain of the experimental bird by 6.5% and 12.5% compared with the control group. The average daily weight gain of turkeys increased by 5.6 g and 10.7 g, which is equivalent to 6.6% and 12.7% relative to the control indicator. The slaughter yield in the experimental groups of turkeys was 78.6% and 80.1%, which exceeds the control indicator (76.7%) by 1.9% and 3.4%, respectively. In addition, the addition of the feed additive "Biorostacidum®" to the feed of the main diet led to an increase in the safety of turkeys by 2.0% and 4.0% compared with the control group.

Key words: "Biorostacidum®", feed additive, turkeys, productivity, live weight dynamics, average daily growth, safety

For citation: Arsenyeva L.V., Komolova O.S., Denisova E.A., Goryainova G.M., Popov P.A. Use of the feed additive "Biorostacidum®" in the fattening process of turkey chicks. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 45–51 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-45-51>

Введение/Introduction

Российское птицеводство демонстрирует уверенный рост, что обусловлено высокой скоростью размножения птицы и сравнительно небольшими затратами ресурсов на производство единицы продукции [1, 2].

В мировом мясном производстве мясо птицы занимает значительную позицию, уступая по объемам только свинине. Разведение индеек представляет собой перспективный источник получения высококачественного мяса, обладающего ценными питательными свойствами [3, 4].

Ключевая миссия сектора — покрытие потребностей внутреннего рынка в птицеводческой продукции, которая ценится за диетические свойства и доступную цену [5]. В сравнении с другими направлениями животноводства выращивание птицы характеризуется меньшей себестоимостью. Мясо птицы и продукты, изготовленные из него, служат ценным источником белка, жиров, витаминов и минеральных веществ [6–10].

В современном питании мясо индейки становится всё более популярным благодаря своим полезным свойствам и универсальности в приготовлении разнообразных блюд [11–15].

В себестоимости производимой продукции корма играют существенную роль, занимая порой до 80% затрат. В связи с этим обеспечение высокого качества и экономической эффективности кормовой базы является ключевой задачей в современном птицеводстве [16, 17].

В условиях активного роста отрасли особую значимость приобретает поиск альтернативных источников питательных веществ, а также разработка и применение веществ, способных сдерживать развитие патогенных микроорганизмов [18]. Индейки, будучи восприимчивыми к различным заболеваниям желудочно-кишечного тракта, требуют особого внимания к качеству кормов и поддержанию здоровой микрофлоры кишечника.

На протяжении многих лет в птицеводстве широко применялись антибиотики в качестве кормовых добавок, хотя большая часть этих препаратов уже давно запрещена для использования в промышленных масштабах. Возникшее в обществе негативное восприятие использования антибиотиков с целью ускорения роста птицы стимулировало поиск альтернативных подходов и решений [19, 20].

В современном птицеводстве, в частности при разведении индеек, для поддержания их здоровья и продуктивности активно применяются органические и жирные кислоты. Эти вещества оказывают комплексное воздействие как на физиологические процессы в организме птицы, так и на биохимические характеристики кормов [21, 22]. В условиях запрета антибиотиков в кормопроизводстве во многих странах добавки на основе органических кислот, их солей и монолаурина приобретают особую значимость как эффективная альтернатива для профилактики кишечных инфекций у индеек [12].

Органические кислоты используются в качестве консервантов кормов для повышения продуктивности птицы или как антистрессовый препарат. Использование подобных добавок способствует улучшению ростовых показателей и более эффективному использованию кормов [23, 24].

Влияние органических кислот на кишечную среду заключается в корректировке pH в сторону кислотности. Это в свою очередь стимулирует пептическую функцию и улучшает абсорбцию азотистых соединений, что положительно сказывается на коэффициенте конверсии корма. Помимо этого, органические кислоты демонстрируют сдерживающий эффект в отношении патогенных бактерий [25, 26]. Данное свойство делает их перспективной заменой антибиотикам в животноводстве [27].

Применение органических кислот в обработке кормов оказывает благоприятное воздействие на их питательную ценность. Это обусловлено улучшением усвояемости корма животными после обработки, что в свою очередь способствует увеличению продуктивности сельскохозяйственных животных.

Среднецепочечные жирные кислоты, обладающие полезными свойствами для здоровья и продуктивности сельскохозяйственных животных и птицы, представляют собой перспективную замену антимикробным препаратам и всё чаще используются в птицеводстве [28, 29].

Монолаурин, или моноглицерид лауриновой кислоты, является сложным моноэфиром, сформированным путем соединения глицерина и лауриновой кислоты. Научные исследования свидетельствуют о сильном антибактериальном эффекте моноглицеридов среднецепочечных жирных кислот и их противовирусной активности.

Моноглицериды представляют собой амфифильные вещества, сочетающие в себе липофильные свойства, обусловленные жирнокислотным хвостом, и гидрофильные свойства, связанные с глицериновой основой [30, 31]. Эта уникальная комбинация свойств позволяет им самостоятельно эмульгироваться в воде. В результате моноглицериды проявляют активность в четырех различных средах (водной, пищевой, желудочной, кишечной) и даже в крови. Лауриновая кислота демонстрирует широкий спектр биологической активности, охватывающий антибактериальные, противовирусные и противогрибковые свойства [32].

Изучение безопасности и результативности использования новых кормовых добавок, включающих органические кислоты и их соли, а также жирные кислоты в разведении индеек представляет собой актуальную задачу, обладающую существенным научным и практическим потенциалом [33].

Цель исследования — изучение влияния кормовой добавки «Биоростацидум®» на эффективность и безопасность применения при введении ее в стандартный рацион индеек.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Научный эксперимент проводили в 2024 году в течение 112 суток на территории частного хозяйства Рязанской области (Россия) на основании договора.

300 суточных индюшат кросса BIG-6 были разделены на три группы (по 100 голов в каждой). Птица на момент начала эксперимента имела среднюю живую массу $59,4 \pm 0,3$ г в I контрольной группе, $59,6 \pm 0,3$ г — во II опытной, $59,3 \pm 0,3$ г — в III опытной.

В целях достижения высокой степени надежности полученных данных подбор экспериментальных групп проводили на основе принципа аналогов с учетом характеристик каждой особи, включая живую массу при введении в опыт, половую принадлежность и общее состояние здоровья. Это позволило минимизировать влияние случайных факторов на конечные результаты эксперимента.

В двух опытных группах индюшата получали аналогичный базовый рацион, дополненный кормовой добавкой «Биоростацидум®»: II группа — 0,5 кг на 1 т, а III группа — 1,0 кг добавки на 1 т корма.

В состав исследуемой кормовой добавки «Биоростацидум®»¹ входят следующие активные компоненты: монолаурин, содержание которого варьируется от 29,0 до 43,0%; муравьиная кислота, представленная в форме формиата кальция, в концентрации от 30,0 до 43,0%; фумаровая кислота, доля которой от 17,0 до 30,0%, а также каприловая и каприновая кислоты, каждая из которых присутствует в количестве от 0,1 до 1,0%.

В качестве основного рациона для всех групп птиц применяли комбикорм, питательная ценность которого соответствует рекомендациям по кормлению индюшат кросса BIG-6 в соответствии с возрастной группой² (табл. 1).

Выращивание индюшат осуществляли в стандартных условиях птицеводческого хозяйства, в помещениях, обеспечивающих поддержание оптимального микроклимата в автоматическом режиме.

В начальный период жизни индюшата требуют поддержания повышенной температуры внешней среды, достигающей 35–37 °C при напольном содержании. Впоследствии температуру постепенно уменьшают до 18–20 °C, обеспечивая тем

Таблица 1. Рацион индюшат согласно возрасту
Table 1. Diet for turkeys according to age

Компонент	Индюшата, возраст (дн.)			
	1–30	31–60	61–90	91–112
Кукуруза	20	20	23	28
Пшеница	18,9	24	25	25
Подсолнечный шрот	5	17	17	14
Горох	5	5	5	5
Сухой обрат	5	5	2	1
Рыбная мука	10	7	6	3
Мясо-костная мука	8	7	6	5
Дрожжи гидролизные	5,5	5,5	4	4
Люцерновая мука	5	3	3	3
Костная мука	–	2	1,5	1,5
Мел, ракушка	2,6	2	2,4	2,5
Соль, г	–	–	0,1	0,4
Премикс, г	1	1	1	1

самым оптимальные условия для роста и развития молодняка.

Оптимальный уровень влажности воздуха поддерживали в диапазоне 60–70%, а в периоды низких температур — 40–50%.

Регулярное поддержание оптимальных параметров температуры, влажности и вентиляции способствовало созданию комфортных условий для выращивания. Все индюшата содержались в одинаковых условиях, которые соответствовали зоотехническим стандартам для кросса BIG-6³.

В течение всего эксперимента осуществляли строгий учет сохранности поголовья, одновременно — мониторинг общего состояния здоровья всех особей. Любые выявленные отклонения от физиологической нормы тщательно регистрировали с целью исключения влияния заболеваний на объективность результатов эксперимента.

По завершении 112-дневного цикла откорма для объективного анализа мясных качеств был произведен контрольный убой 10 индеек из каждой исследуемой группы⁴. Непосредственно перед забоем птицу выдерживали на голодной диете в течение 12 часов. После проведения убоя для оценки мясной продуктивности птицы изучали такие параметры, как предубойная масса, масса потрошеной тушки и убойный выход.

Эксперименты на животных проводили в соответствии с правилами, принятыми Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных или иных научных целей⁵.

¹ Разработчик — индивидуальный предприниматель О.С. Кололова. Производство кормовой добавки осуществляется на площадке ООО «ТД Агросистема», 140315, Московская обл., г. Егорьевск, с. Раменки, ул. Совхозная, д. 18. Свидетельство на товарный знак № 958148. https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet

² ГОСТ 18221-2018 Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы. Общие технические условия. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственной птицы (разработаны ФГБНУ «ВНИТИП» — Всероссийским НИИ птицеводства).

³ Приказ Минсельхоза РФ от 3 апреля 2006 года № 104 «Об утверждении Ветеринарных правил содержания птиц на птицеводческих предприятиях закрытого типа (птицефабриках)».

⁴ ГОСТ 31473-2012 Мясо индеек (тушки и их части). Общие технические условия.

⁵ Приказ Минсельхоза России от 28.04.2022 № 269 «Об утверждении Ветеринарных правил убоя животных и Ветеринарных правил назначения и проведения ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и продуктов убоя (промысла) животных, предназначенных для переработки и (или) реализации», Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (г. Страсбург, 18 марта 1986 г.).

Для контроля веса птицы использовали весы Valor 3200 (Ohaus Corporation, США). На момент проведения эксперимента средство измерения было поверено.

Статистический анализ собранных в ходе эксперимента данных осуществляли с применением метода вариационной статистики. Для проведения расчетов и обработки результатов использовали Microsoft Office (США). При этом рассчитывали среднее арифметическое (M) и стандартную ошибку (m) путем деления стандартного отклонения выборки на квадратный корень от количества элементов выборки. Степень достоверности (P) рассчитывали с помощью таблицы значений критериев Стьюдента. Результаты считали достоверными, начиная со значения $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Одним из определяющих аспектов результативности применения кормовых добавок в рационах сельскохозяйственных животных и птицы считается отслеживание изменений живого веса в ходе периода выращивания.

В связи с вышесказанным было осуществлено научное исследование, направленное на изучение динамики живой массы у индюшат от 1-го дня жизни до достижения ими 16-недельного возраста при условии включения в их основной рацион кормовой добавки «Биоростацидум®».

Для проведения эксперимента и последующей статистической обработки из каждой экспериментальной группы случайным образом выбирали по 50 особей птиц, у которых живую массу исследовали, проводя индивидуальное взвешивание на электронных весах в возрасте суток, а затем на 21-е сутки, 84-е сутки и 112-е сутки (в утренние часы перед кормлением).

В начале эксперимента разница в весе между группами была незначительной (59,3–59,6 г), что свидетельствует о корректности формирования групп методом аналогов (табл. 2).

Исследование показало: использование кормовой добавки «Биоростацидум®» в рационах индюшат приводит к заметному улучшению показателей прироста живой массы, что было зафиксировано в процессе регулярных взвешиваний.

К 21-дневному возрасту индюшата в I контрольной группе демонстрировали меньший средний вес, чем особи во II и III экспериментальных группах. Разница в живой массе составила 4,6% и 9,9%, соответственно, в пользу двух опытных групп.

Таблица 2. Динамика живой массы индеек в эксперименте ($n = 50$)
Table 2. Dynamics of live weight of fattening turkeys ($n = 50$)

Показатель	Группы		
	I контрольная	II опытная, «Биоростацидум®» 0,5 кг/т корма	III опытная, «Биоростацидум®» 1,0 кг/т корма
Живая масса (г) в возрасте (дн.)			
1	59,4 ± 0,3	59,6 ± 0,3	59,3 ± 0,3
21	197,8 ± 0,4	206,9 ± 0,7	217,3 ± 0,1
84	6083,7 ± 17,3	6398,9 ± 15,6	6654,6 ± 17,1
112	9567,9 ± 11,6	10193,9 ± 15,1	10761,1 ± 12,4
в % к контрольной группе	–	+6,5	+12,5
Прирост живой массы			
Абсолютный, кг	9508,5 ± 11,6	10134,3 ± 15,1	10701,8 ± 12,4
Среднесуточный, г	84,9 ± 0,1	90,5 ± 0,1	95,6 ± 0,11
в % к контрольной группе	–	+6,6	+12,6

Подобная закономерность прослеживалась в процессе дальнейшего роста и развития молодняка индеек. К 84-му дню жизни особи из II экспериментальной группы демонстрировали превосходство по показателю средней живой массы над особями из I контрольной группы на 315,2 ± 18,9 г, что эквивалентно 5,2%. В тот же временной промежуток индюшата III экспериментальной группы показывали более высокие результаты по средней живой массе в сравнении с I контролем, опережая их на 9,4%.

На 112-й день индюшата из II опытной группы весили на 626 ± 18,2 г, или на 6,5%, больше, чем их сверстники из контроля, в то время как индюшата из III опытной группы были тяжелее контрольных на 1193,2 ± 16,4 г, что составляет 12,5%.

К дню завершения эксперимента было зафиксировано, что абсолютный прирост массы тела во II и III экспериментальных группах превысил показатели контрольной группы на 625,8 ± 18,2 г и 1193,3 ± 16,4 г соответственно. Введение в рацион индеек кормовой добавки «Биоростацидум®» оказало положительное влияние на динамику их среднесуточного увеличения живой массы. Во II опытной группе этот показатель возрос на 5,6 ± 0,2 г, что соответствует 6,6%, а в III — на 10,7 ± 0,1 г, или 12,6%.

На протяжении всего периода выращивания индюшата, получавшие в дополнение к основному рациону кормовую добавку «Биоростацидум®» в различных концентрациях, демонстрировали более интенсивное развитие и рост в сравнении с особями контрольной группы.

Уровень сохранности молодняка индеек в процессе их разведения является ключевым зоотехническим и экономическим показателем. Этот аспект существенно влияет на рентабельность птицеводства, в том числе на производство мяса индеек.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что использование изучаемой кормовой добавки «Биоростацидум®» в кормлении птиц способствует увеличению сохранности молодняка индюшат (табл. 3).

Таблица 3. Сохранность индюшат в эксперименте (n = 100)

Table 3. Safety of turkeys of the experiment (n = 100)

Показатель	Группы		
	I контрольная	II опытная, «Биоростацидум®» 0,5 кг/т корма	III опытная, «Биоростацидум®» 1,0 кг/т корма
	Кол-во индюшат, гол.		
В начале эксперимента	100	100	100
В конце эксперимента	96	98	100
Падёж, гол.	4	2	–
Сохранность, %	96,0	98,0	100,0

Таблица 4. Мясные качества птицы, получавшей в составе корма добавку «Биоростацидум®» (n = 10)

Table 4. Meat qualities of poultry fed with the additive «Biorostacidum®» (n = 10)

Показатель	Группы		
	I контрольная	II опытная, «Биоростацидум®» 0,5 кг/т корма	III опытная, «Биоростацидум®» 1,0 кг/т корма
Предубойная масса, г	9191 ± 9,12	10 126 ± 21,99	10 670 ± 27,04
Масса потрошенной тушки, г	7053 ± 25,86	7960 ± 21,47	8548 ± 13,14
Убойный выход, %	76,7 ± 0,30	78,6 ± 0,24	80,1 ± 0,23

В течение эксперимента в I контрольной группе выживаемость птиц была зафиксирована на уровне 96,0%. Во II экспериментальной группе, где в корм добавляли «Биоростацидум®» в количестве 0,5 кг на 1 т, сохранность достигла 98,0%. В III экспериментальной группе, получавшей корм с добавлением 1,0 кг «Биоростацидум®» на 1 т, этот показатель достиг максимального значения — 100%.

Следовательно, можно заключить, что применение кормовой добавки «Биоростацидум®» положительно сказалось на сохранности птицы. В опытных группах, где использовали добавку, выживаемость превысила контрольные значения на 2,0% и 4,0% соответственно, что свидетельствует о потенциальной эффективности данного препарата в повышении сохранности поголовья.

В ходе исследований была выявлена высокая жизнеспособность индеек в опытных группах, что подтверждает целесообразность их разведения с использованием добавки «Биоростацидум®» в условиях промышленного производства мяса индеек.

Выход мяса птицы определяется комплексом характеристик, указывающих на объем и

потребительские качества мясной продукции, что во многом определяет рентабельность мясного производства.

Для определения мясной продуктивности в заключительной фазе исследований был осуществлен контрольный убой 10 особей индюшат из каждой экспериментальной группы. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Индюшата II и III опытных групп превосходили индюшат I контрольной группы по предубойной массе на 637 г и 1200 г соответственно.

Преимущество индюшат двух опытных групп по массе потрошенной тушки составило 11,1% для II группы, 18,6% для III груп-

пы. Убойный выход во II опытной группе — 77,4%, в III — 78,3%, в то время как у индеек из контрольной группы он составил 74,3%.

Выводы/Conclusions

Введение кормовой добавки «Биоростацидум®» в рацион индюшат способствует увеличению их живой массы на 6,5% в дозировке 0,5 кг/т корма, на 12,5% — 1,0 кг/т корма относительно значений контрольной группы.

Использование данной добавки в количестве 0,5 кг/т корма и 1,0 кг/т корма приводит к росту абсолютного прироста индюшат, соответственно, на 625,8 ± 18,2 г и 1193,3 ± 16,4 г в сравнении с контролем.

Применение кормовой добавки «Биоростацидум®» способствует увеличению среднесуточного прироста на 6,6% при введении 0,5 кг/т корма, на 12,6% — 1,0 кг/т, увеличению убойного выхода на 1,9% и 3,4% соответственно.

Использование «Биоростацидум®» в дозировке 0,5 кг/т и 1,0 кг/т корма повышает процент сохранности индюшат на 2,0% и 4,0% по сравнению с контрольной группой индеек.

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием по теме № FGUG-2025-0002 «Разработать новые и модернизировать существующие методы, средства и технологии обеспечения устойчивого ветеринарно-санитарного благополучия животноводства, качества и безопасности продукции и кормов, охраны окружающей среды от загрязнения отходами животноводства» (регистрационный № 1022041200309-0-4.3.1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Marinchenko T. Development of meat poultry farming in Russia within the framework of state programs. *E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East" (AFE-2022)*. EDP Sciences. 2023; 371: 03033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337103033>

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

FUNDING

The research was carried out in accordance with the State assignment on the topic No. FGUG-2025-0002 "Develop new and modernize existing methods, tools, and technologies for ensuring sustainable veterinary and sanitary well-being of livestock, quality and safety of products and feed, and environmental protection from pollution caused by livestock waste" (registration No. 1022041200309-0-4.3.1).

REFERENCES

1. Marinchenko T. Development of meat poultry farming in Russia within the framework of state programs. *E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East" (AFE-2022)*. EDP Sciences. 2023; 371: 03033. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337103033>

2. Skvortsova E.G., Filinskaya O.V., Bushkareva A.S., Mostofina A.V., Konovalov A.V. Broiler chickens product quality as an indicator of sustainable poultry farming development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. AGRITECH-VI 2021. IOP Publishing Ltd. 2022; 042073.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042073>
3. Ребезов Я.М., Харлап С.Ю., Горелик О.В., Абдулхаликов Р.З. Морфологический состав мяса индеек средних кроссов разных пород. *Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты. Сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова. 2021; 234–237.
<https://www.elibrary.ru/myeerl>
4. Ребезов Я.М., Горелик О.В., Ребезов М.Б. Сравнительная оценка индеек разных кроссов и породных групп по продуктивным качествам. *Аграрная наука*. 2019; 329(60): 26–29.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-329-6-26-29>
5. Smolentsev S. et al. The efficiency of growing turkey for meat. *BIO WEB OF CONFERENCES. EBWWF 2024 – International Scientific Conference Ecological and Biological Well-Being of Flora and Fauna*. EDP Sciences, 2024; 116: 02002.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202411602002>
6. Петрова Ю.В., Лугова И.С., Васильченко В.Д., Антипов А.А., Агринская Е.П. Влияние «Продуктив Ацид SE» на микробиологические показатели мяса индеек. *Аграрная наука*. 2021; (7–8): 11–14.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-11-14>
7. Салихова Г.Г. Перспективы использования мяса индейки в качестве сырья в спортивном питании. *Состояние и перспективы увеличения производства высококачественной продукции сельского хозяйства. Материалы XII Международной научно-практической конференции*. Новосибирск: Издательский центр НГАУ «Золотой колос». 2024; 104–107.
<https://www.elibrary.ru/exwvwp>
8. Губаненко Г.А., Речкина Е.А., Рыгалова Е.А. Разработка паштета из индейки повышенной пищевой ценности. *Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Материалы Международной научно-практической конференции*. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2024; 180–185.
<https://www.elibrary.ru/wijzpe>
9. Ребезов Я.М., Горелик О.В., Ребезов М.Б., Харлап С.Ю. Химический состав мяса индеек разных породных групп. *От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение развития животноводства и биотехнологий. Сборник материалов Международной научно-практической конференции «От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение АПК»*. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2020; 180–182.
<https://www.elibrary.ru/hfliax>
10. Igenbayev A. et al. Fatty acid composition of female turkey muscles in Kazakhstan. *Journal of World's Poultry Research*. 2019; 9(2): 78–81.
<https://doi.org/10.36380/jwpr.2019.9>
11. Давлеев А.Д. Российское индейководство восстанавливает рекордные темпы роста. *Комбикорма*. 2021; (2): 11–15.
<https://www.elibrary.ru/rcstsk>
12. Scicutella F., Mannelli F., Daghighi M., Viti C., Buccioni A. Polyphenols and Organic Acids as Alternatives to Antimicrobials in Poultry Rearing: A Review. *Antibiotics*. 2021; 10(8): 1010.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics10081010>
13. Камбаров А.С. и др. Разработка технологии и рецептуры мясного паштета из мяса индейки. *Вестник Алматинского технологического университета*. 2019; 4: 9–16.
<https://www.elibrary.ru/zrppgl>
14. Rebezov Ya.M., Khayrullin M.F., Bezinar T.I., Sereda T.I., Zinina O.V., Drapeko E.E. Technological solution for turkey meat processing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The series "International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management"*. IOP Publishing Ltd. 2020; 623: 012120.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012120>
15. Ребезов Я.М. Оценка безопасности продукции из мяса индейки. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. 2019; 10(1): 130–134.
<https://www.elibrary.ru/wstcyn>
16. Молоканова О.В. Санитария комбикорма: теория и практика. *Птицеводство*. 2023; (10): 47–52.
<https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-10-47-52>
17. Погодаев В.А., Ребезов М.Б. Продуктивность и динамика метаболических процессов в организме молодняка индеек при использовании в рационе эубиотиков на основе бифидобактерий штамма *Bifidobacterium bifidum*. *Всё о мясе*. 2023; 3: 36–47.
<https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-3-36-47>
18. Бисести П., Такконни А. Органические кислоты и фитогенные добавки в рационах отъемышей. *Свиноводство*. 2020; (6): 23–26.
<https://www.elibrary.ru/bzwvwy>
2. Skvortsova E.G., Filinskaya O.V., Bushkareva A.S., Mostofina A.V., Konovalov A.V. Broiler chickens product quality as an indicator of sustainable poultry farming development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. AGRITECH-VI 2021. IOP Publishing Ltd. 2022; 042073.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042073>
3. Rebezov Ya.M., Kharlap S.Yu., Gorelik O.V., Abdulkhalikov R.Z. Morphological composition of meat of medium-sized cross turkeys of different breeds. *Actual problems of agricultural science: applied and research aspects. Collection of scientific papers of the All-Russian (national) scientific and practical conference*. Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 2021; 234–237 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/myeerl>
4. Rebezov Ya.M., Gorelik O.V., Rebezov M.B. Comparative evaluation of turkeys of different crosses and breed groups by productive qualities. *Agrarian science*. 2019; 329(60): 26–29 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-329-6-26-29>
5. Smolentsev S. et al. The efficiency of growing turkey for meat. *BIO WEB OF CONFERENCES. EBWWF 2024 – International Scientific Conference Ecological and Biological Well-Being of Flora and Fauna*. EDP Sciences, 2024; 116: 02002.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202411602002>
6. Petrova Yu.V., Lugovaya I.S., Vasilchenko V.D., Antipov A.A., Agrinskaya E.P. Effect of "Productive Acid SE" on microbiological parameters of turkey meat. *Agrarian science*. 2021; (7–8): 11–14 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-11-14>
7. Salikhova G.G. Prospects for the use of turkey meat as a raw material in sports nutrition. *Status and prospects for increasing the production of high-quality agricultural products. Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference*. Novosibirsk: Publishing Center of the Novosibirsk State Agrarian University "Zolotoy kolos". 2024; 104–107 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/exwvwp>
8. Gubanenko G.A., Rechkina E.A., Rygalova E.A. Development of turkey pate with increased nutritional value. *Science and education: experience, problems, development prospects. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University, 2024; 180–185 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/wijzpe>
9. Rebezov Ya.M., Gorelik O.V., Rebezov M.B., Kharlap S.Yu. Chemical composition of meat of turkeys of different breed groups. *From inertia to development: scientific and innovative support for the development of animal husbandry and biotechnology. Collection of materials of the International scientific and practical conference "From inertia to development: scientific and innovative support for the agro-industrial complex"*. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University, 2020; 180–182 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/hfliax>
10. Igenbayev A. et al. Fatty acid composition of female turkey muscles in Kazakhstan. *Journal of World's Poultry Research*. 2019; 9(2): 78–81.
<https://doi.org/10.36380/jwpr.2019.9>
11. Davleyev A.D. Russian turkey farming recovers the record growth rates. *Compound feeds*. 2021; (2): 11–15 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/rcstsk>
12. Scicutella F., Mannelli F., Daghighi M., Viti C., Buccioni A. Polyphenols and Organic Acids as Alternatives to Antimicrobials in Poultry Rearing: A Review. *Antibiotics*. 2021; 10(8): 1010.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics10081010>
13. Kambarova A.S. et al. Development of technology and recipe for meat pate from turkey meat. *Bulletin of the Almaty Technological University*. 2019; 4: 9–16 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/zrppgl>
14. Rebezov Ya.M., Khayrullin M.F., Bezinar T.I., Sereda T.I., Zinina O.V., Drapeko E.E. Technological solution for turkey meat processing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The series "International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management"*. IOP Publishing Ltd. 2020; 623: 012120.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012120>
15. Rebezov Ya.M. Safety assessment of turkey meat products. *Actual problems of modern science, technology and education*. 2019; 10(1): 130–134 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/wstcyn>
16. Molokanova O.V. Sanitary of feed: theory and practice. *Ptitsvodstvo*. 2023; (10): 47–52 (in Russian).
<https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-10-47-52>
17. Pogodaev V.A., Rebezov M.B. Productivity and dynamics of metabolic processes in the body of young turkeys when using eubiotics based on bifidobacteria strain *Bifidobacterium bifidum* in the diet. *Vse o myase*. 2023; 3: 36–47 (in Russian).
<https://doi.org/10.21323/2071-2499-2023-3-36-47>
18. Bisesti P., Tacconi A. Organic acids and phytogetic additives in the diets of weaning piglets. *Pigbreeding*. 2020; (6): 23–26 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/bzwvwy>

19. Воробьев С.С., Васильев А.А., Полябин С.В., Сивохина Л.А. Влияние кормовой добавки на основе органических кислот на продуктивность цыплят-бройлеров. *Птицеводство*. 2022; (6): 15–20. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-6-15-20>
20. Подобед Л.И. Монолаурин и органические кислоты вместо антибиотиков. *Животноводство России*. 2023; (S3): 28–29. <https://www.elibrary.ru/esdhpj>
21. Королев А.В., Васильев А.А., Новицкая О.А., Новицкий А.П. Эффективная кормовая добавка в рационах цыплят-бройлеров. *Зоотехния*. 2024; (5): 14–16. <https://www.elibrary.ru/dwdhbx>
22. Хорин Б.В., Юрин Д.А., Юрина Н.А. Гуминовая кормовая добавка в рационе кур-несушек. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021; (2): 223–227. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-2-223-227>
23. Гончаров А. Альфа-моноглицериды эффективно разрушают патогенную микрофлору. *Комбикорма*. 2020; (1): 113–114. <https://www.elibrary.ru/rsuqwo>
24. Waseem Mirza M., Rehman Z.-U., Mukhtar N. Use of Organic Acids as Potential Feed Additives in Poultry Production. *Journal of World's Poultry Research*. 2016; 6(3): 105–116.
25. Арсеньева Л.В., Попов П.А., Комолова О.С. Кормовая добавка «Биоростацидум®» в рационах свиней на откорме. *Ветеринария*. 2024; (3): 13–17. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2024.27.3.13-17>
26. Khan R.U. *et al.* Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29(22): 32594–32604. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19241-8>
27. Околелова Т.М., Енгашев С.В. Что полезно знать о применении органических кислот в кормах и воде для птицы. *Международный вестник ветеринарии*. 2022; (1): 92–99. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.1.92>
28. Гончаров А.Т. Монобутираты и монопропионаты в рационах цыплят-бройлеров улучшают их продуктивность и срок хранения охлажденных тушек. *Птицеводство*. 2020; (12): 26–29. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-12-26-29>
29. Jackman J.A., Boyd R.D., Elrod C.C. Medium-chain fatty acids and monoglycerides as feed additives for pig production: towards gut health improvement and feed pathogen mitigation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2020; 11: 44. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00446-1>
30. Gladyshev M.I. Fatty Acids: Essential Nutrients and Important Biomarkers. *Biomolecules*. 2022; 12(9): 1250. <https://doi.org/10.3390/biom12091250>
31. Fortuoso B.F. *et al.* Glycerol monolaurate in the diet of broiler chickens replacing conventional antimicrobials: Impact on health, performance and meat quality. *Microbial Pathogenesis*. 2019; 129: 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.02.005>
32. Потапова Л.В., Журавлев М.С., Буряков Н.П., Езерская Ю.А. Влияние альфа-монолаурин на продуктивность свиней на откорме в промышленных условиях. *Аграрная наука*. 2021; (7–8): 68–70. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-68-70>
33. Pham V.H. *et al.* Dietary encapsulated essential oils and organic acids mixture improves gut health in broiler chickens challenged with necrotic enteritis. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2020; 11: 18. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0421-y>
19. Vorobyov S.S., Vasiliev A.A., Pozyabin S.V., Sivokhina L.A. The effects of an additive based on organic acids on the productive performance and feed efficiency in broilers. *Ptitsvodstvo*. 2022; (6): 15–20 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2022-71-6-15-20>
20. Podobed L.I. Monolaurin and organic acids instead of antibiotics. *Animal husbandry of Russia*. 2023; (S3): 28–29 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/esdhpj>
21. Korolev A.V., Vasiliev A.A., Novitskaya O.A., Novitsky A.P. An effective feed additive in the diets of broiler chickens. *Zootekniya*. 2024; (5): 14–16 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/dwdhbx>
22. Khorin B.V., Yurin D.A., Yurina N.A. Humic feed additive in the diet for laying hens. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021; (2): 223–227 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-2-223-227>
23. Goncharov A. Alpha-monoglycerides effectively destroy pathogenic microflora. *Compound feeds*. 2020; (1): 113–114 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rsuqwo>
24. Waseem Mirza M., Rehman Z.-U., Mukhtar N. Use of Organic Acids as Potential Feed Additives in Poultry Production. *Journal of World's Poultry Research*. 2016; 6(3): 105–116.
25. Arsenyeva L.V., Popov P.A., Komolova O.S. Feed additive "Biorostacidum®" in the diets of fattening pigs. *Veterinary medicine*. 2024; (3): 13–17 (in Russian). <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2024.27.3.13-17>
26. Khan R.U. *et al.* Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022; 29(22): 32594–32604. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19241-8>
27. Okolelova T.M., Engashev S.V. What is useful to know about the use of organic acids in feed and water for poultry. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2022; (1): 92–99 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.1.92>
28. Goncharov A.T. The Effects of Glycerol 1-Monobutyrate and 1-Monopropionate in Diets for Broilers on the Productive Performance and Shelf Life of Chilled Carcasses. *Ptitsvodstvo*. 2020; (12): 26–29 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-12-26-29>
29. Jackman J.A., Boyd R.D., Elrod C.C. Medium-chain fatty acids and monoglycerides as feed additives for pig production: towards gut health improvement and feed pathogen mitigation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2020; 11: 44. <https://doi.org/10.1186/s40104-020-00446-1>
30. Gladyshev M.I. Fatty Acids: Essential Nutrients and Important Biomarkers. *Biomolecules*. 2022; 12(9): 1250. <https://doi.org/10.3390/biom12091250>
31. Fortuoso B.F. *et al.* Glycerol monolaurate in the diet of broiler chickens replacing conventional antimicrobials: Impact on health, performance and meat quality. *Microbial Pathogenesis*. 2019; 129: 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.02.005>
32. Potapova L.V., Zhuravlev M.S., Buryakov N.P., Ezerskaya Yu.A. Effect of alpha-monolaurin on performance of fattening pigs under industrial conditions. *Agrarian science*. 2021; (7–8): 68–70 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-68-70>
33. Pham V.H. *et al.* Dietary encapsulated essential oils and organic acids mixture improves gut health in broiler chickens challenged with necrotic enteritis. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2020; 11: 18. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0421-y>

ОБ АВТОРАХ

Луиза Владимировна Арсеньева
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
Luizza@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6903-3327>

Ольга Сергеевна Комолова
консультант
Lipto-yug@mail.ru

Елизавета Аркадьевна Денисова
доктор биологических наук, главный научный сотрудник
Denliza@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1603-403X>

Галина Михайловна Горяинова
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
Ggoryainova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8856-0616>

Пётр Александрович Попов
доктор ветеринарных наук, руководитель
popov.petr18@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4155-0386>

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

ABOUT THE AUTHORS

Luiza Vladimirovna Arsenyeva
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
Luizza@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6903-3327>

Olga Sergeevna Komolova
Consultant
Lipto-yug@mail.ru

Elizaveta Arkadievna Denisova
Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher
Denliza@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1603-403X>

Galina Mikhailovna Goryainova
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
Ggoryainova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8856-0616>

Peter Alexandrovich Popov
Doctor of Veterinary Sciences, Supervisor
popov.petr18@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4155-0386>

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

5 Zvenigorodskoe shosse, Moscow, 123022, Russia

Т.А. Ларкина ✉
Г.К. Пегливанян
О.Ю. Баркова
А.В. Габова
Н.В. Дементьева

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста», Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

✉ tanya.larkina2015@yandex.ru

Поступила в редакцию: 31.03.2025

Одобрена после рецензирования: 11.07.2025

Принята к публикации: 26.07.2025

© Ларкина Т.А., Пегливанян Г.К., Баркова О.Ю., Габова А.В., Дементьева Н.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-52-57

Tanya A. Larkina ✉
Grigory K. Peglivanyan
Olga Yu. Barkova
Alina V. Gabova
Natalia V. Dementieva

All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals — branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Pushkin, St. Petersburg, Russia

✉ tanya.larkina2015@yandex.ru

Received by the editorial office: 31.03.2025

Accepted in revised: 11.07.2025

Accepted for publication: 26.07.2025

© Larkina T.A., Peglivanyan G.K., Barkova O.Yu., Gabova A.V., Dementieva N.V.

Определение уровня экспрессии гена LCORL в мышечной ткани северных оленей

РЕЗЮМЕ

В результате работы проведен всесторонний анализ связи транскрипционной активности гена LCORL в поперечной грудной мышце домашнего северного оленя ненецкой породы с его убойной массой.

Сравнительный анализ уровня относительной экспрессии гена LCORL в исследуемой ткани у оленей в различных группах по признаку «убойная масса» показал, что ген LCORL высоко экспрессируется в группе убойной массы 50,2–59,2 кг (Median = 0,367), а самое низкое значение экспрессии в группе оленей 60,2–75,0 кг (Median = 0,036). Анализ литературных источников выявил, что тканеспецифическая экспрессионная активность гена LCORL с учетом весовых характеристик оленей ранее не изучалась. Результаты настоящего исследования предоставляют новую информацию об особенностях экспрессии гена LCORL у домашних северных оленей ненецкой породы с учетом тканеспецифичности и убойной массы.

Анализ корреляционных связей с применением критерия Спирмена не выявил разнонаправленную зависимость уровня относительной экспрессии гена LCORL в образцах поперечной грудной мышцы с убойной массой оленей разных групп, что, видимо, может быть обусловлено особенностями выборки оленей.

Ключевые слова: мРНК, экспрессия, LCORL, домашний северный олень, ненецкая порода, убойная масса

Для цитирования: Ларкина Т.А. и др. Определение уровня экспрессии гена LCORL в мышечной ткани северных оленей. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 52–57. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-52-57>

Determination of the expression level of the LCORL gene in reindeer muscle tissue

ABSTRACT

As a result of the work, a comprehensive analysis of the connection of the transcriptional activity of the LCORL gene in the transverse breast muscle of the northern deer of the Nenetskaya breed with its slaughter mass was carried out.

A comparative analysis of the level of relative expression of the LCORL gene in the studied fabric in deer in various groups on the basis of “slaughter mass” showed that the LCORL gene is highly expressed in the slaughter group of 50.2–59.2 kg (Median = 0.367), and the lowest expression in the deer group 60.2–75.0 kg (Median = 0.036). The analysis of literary sources revealed that the tissue expression of the LCORL gene, taking into account the weight characteristics of the deer, was not previously studied. The results of this study provide new information about the features of the expression of the LCORL gene in the northern reindeer of the Nenetsk breed, taking into account tissue -specificity and letters.

An analysis of correlation ties using the Dersman criterion did not reveal a multidirectional dependence of the level of relative expression of the LCORL gene in samples of the transverse chest muscle with a slaughter mass of deer of different groups, which can apparently be due to the features of the sample of deer.

Key words: mRNA, expression, LCORL, domestic reindeer, Nenets breed, slaughter weight

For citation: Larkina T.A. *et al.* Determination of the expression level of the LCORL gene in reindeer muscle tissue. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 52–57 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-52-57>

Введение/Introduction

Оленеводство является исконной отраслью и важнейшим видом животноводства малочисленных коренных народов Севера [1]. Селекция и племенная работа в оленеводстве ведется традиционными методами, включающими в себя специфическую культуру, а также большой опыт разведения северных оленей в различных ландшафтных зонах с климатическими особенностями [2].

Ненецкая аборигенная порода северных оленей — самая большая в России и мире по численности (950 тыс. голов) и используемой пастбищной территории (110 млн га) [3]. Данную породу разводят на территории Мурманской области (Кольский п-ов), Ненецкого автономного округа (АО), Республики Коми, Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского и Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономных округов. Олени этой породы средней величины с достаточно хорошо выраженными рабочими качествами. Они отлично адаптируются к местным природно-климатическим условиям [4].

Домашние северные олени живут на полувольном выпасе, питаются теми же кормами, что и дикие сородичи, однако используют кормовые ресурсы более полно, поскольку не совершают длительных миграций. Макдевитт с соавт. выделяет несколько экотипов внутри ненецкой породы, разделение основано на сроках отела, особенностях телосложения, живой массе, окраске [5].

Исследования по биоразнообразию и генетической структуре ненецкой породы активно ведутся в России [6, 7]. Актуальным становится изучение генов, участвующих в формировании продуктивных качеств домашнего северного оленя ненецкой породы. Анализ основополагающих механизмов экспрессии генов, вовлеченных в определение размеров тела, позволяет глубже понять их вклад в формирование морфологических характеристик организма на протяжении всего периода его индивидуального развития.

LCORL (ligand dependent nuclear receptor corepressor-like) — лиганд-зависимый ядерный рецептор, подобный корепрессору, является транскрипционным фактором и использует консервативный мотив спираль-поворот-спираль для связывания с ДНК. Активно функционирует при сперматогенезе и является одним из важнейших генов, который определяет рост и массу тела у животных [8–16].

Для дальнейших научных интерпретаций будет использоваться референсный геном белохвостого оленя (*Odocoileus virginianus texanus*) на платформе <https://ncbi.nlm.nih.gov>, так как в базах данных отсутствует последовательность полного генома северного оленя (*Rangifer tarandus*). Ген *LCORL* белохвостого оленя имеет общую протяженность

180 749 п. н. и состоит из 14 экзонов. Из них наиболее протяженным и информативным является экзон 7 — 4812 п. н. (1604 аминокислот), остальные экзоны имеют существенно более низкую протяженность (8 — 88 п. н., 6 — 93 п. н., 5 — 252 п. н., 4 — 132 п. н., 3 — 81 п. н., 2 — 63 п. н., 1 — 614 п. н.) [17].

Цель исследования — анализ уровня экспрессии гена *LCORL* в поперечной грудной мышце домашнего северного оленя ненецкой породы в связи с убойной массой животных.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследование проводили в лаборатории молекулярной генетики Всероссийского НИИ генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста (г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия).

Материалом для исследований послужила мРНК, выделенная из поперечной грудной мышцы домашнего северного оленя ненецкой породы ($n = 49$) обоих полов, возраст животных 5–7 лет в момент набора максимальной живой массы (после гона). Данные об убойной массе получены с заготовительных пунктов п-ва Ямал (Тазовский р-н Ямало-Ненецкого автономного округа Тюменской области Российской Федерации) в 2023 году.

Общая выборка животных была разделена по полу на быков и важенков. Выборки по полу животных разделили на группы по убойной массе (в кг): 30,8–39,9; 40,4–49,6; 50,2–59,2; 60,2–75,0.

Сбор образцов тканей поперечной грудной мышцы проводили после убоя путем отделения части ткани с помощью скальпеля. Образцы помещали в стабилизирующий раствор «Фиксатор IntactRNA для стабилизации РНК в биологических образцах» («Евроген», Россия). Выделение РНК и ДНК проводили с использованием коммерческого набора «ЛИРА+» для выделения РНК, ДНК и белков (ООО «Биолабмикс», Россия).

В качестве эндогенного контроля использовали референсный ген домашнего хозяйства *GAPDH* (Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase). Дизайн праймеров для генов *LCORL* и *GAPDH* осуществляли при помощи базы данных NCBI с использованием программы BLAST¹ (США).

Последовательность праймеров (ООО «Бигль», Санкт-Петербург) представлена в таблице 1.

Конвертирование РНК в кДНК проводили с использованием коммерческого набора «Обратная

Таблица 1. Праймеры для генов *LCORL* и *GAPDH*
Table 1. Primers for *LCORL* and *GAPDH* genes

Ген	F (прямой праймер)	RV (обратный праймер)	Длина фрагмента п. н.
<i>LCORL</i>	TCTTAGCAAACTGAACAAAA	GCCAAGAAATTAGATTGTCCA	148
<i>GAPDH</i>	GGAGCACGAGAGGAAGAGAGTT	ACAAGGCAGGGCTCCCTAAG	146

¹ <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>

транскриптаза M-MuLV — RN» (ООО «Биолаб-микс», Россия). Реакцию ПЦР в реальном времени (ПЦР-РВ) для каждого образца проводили в трех повторях с применением реагентов «БиоМастер HS-qPCR SYBR Blue(2x)» (ООО «Биолабмикс», Россия) на приборе IQ5 (Bio-Rad, США) с использованием программного обеспечения прибора.

Режим амплификации кДНК:

95 °C — 5 мин. — 1 цикл

95 °C — 15 сек. — 40 циклов

60 °C — 15 сек. — 40 циклов

72 °C — 30 сек. — 40 циклов

Расчет изменений экспрессии гена *LCORL* выполняли методом $-2\Delta\Delta Ct$ (delta delta Cycle threshold) [18]. Статистическую обработку данных проводили в программе SIGMAPLOT 14 с применением ANOVA by ranks и критерия Крускала — Уоллиса (США), который предназначен для проверки равенства медиан нескольких выборок, при ненормальном распределении показателей признака. Известен и под названиями Н-критерий Крускала — Уоллиса, однофакторный дисперсионный анализ Крускала — Уоллиса (англ. Kruskal — Wallis one-way analysis of variance).

Мощность выполненного теста альфа = 0,050 : 0,109.

Корреляционный анализ выполнен с применением критерия Спирмена.

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

Проведено исследование транскрипционной активности гена *LCORL* в поперечной грудной мышце домашнего северного оленя ненецкой породы с подтверждением связи относительного уровня экспрессии и убойной массы животных (табл. 2).

Самый высокий уровень относительной экспрессии гена *LCORL* в поперечной грудной мышце наблюдали в исследуемой группе оленей с убойной массой 40,4–49,6 кг в образце 42 (10,34008), а самый минимальный — в группе 30,8–39,9 кг в образце 16 (0,00002).

На рисунке 1 каждый столб отражает уровень экспрессии гена *LCORL* в отдельном образце поперечной грудной мышцы домашних северных оленей ненецкой породы.

Анализ корреляционных связей с применением критерия Спирмена не выявил разнонаправленную зависимость уровня относительной экспрессии гена *LCORL* в образцах поперечной грудной мышцы с убойной массой оленей разных групп, что, видимо, может быть обусловлено особенностями выборки оленей.

На следующем этапе данного исследования провели сравнительный анализ уровня относительной экспрессии гена *LCORL* в исследуемой ткани у оленей разных групп по убойной массе. Результаты показали, что ген *LCORL* высоко

Таблица 2. Данные по уровню экспрессии гена *LCORL* в исследуемой ткани в различных группах домашнего северного оленя ненецкой породы

Table 2. Data on the level of *LCORL* gene expression in the studied tissue in different groups of domestic reindeer of the Nenets breed

Группы животных по убойной массе, обоих полов, кг (n = 49)	№ образца	Убойная масса, кг	Среднее Ct_{LCORL}	Уровень относительной экспрессии ($2^{-\Delta\Delta Ct}$)
30,8–39,9 (n = 12)	13	30,8	3,11	0,17922
	19	32,2	26,81	0,0254
	34	34,2	14,59	0,1231
	16	35,4	21,8	0,00002
	5	35,8	24,73	1,52165
	1	36,4	28,08	0,08429
	35	36,8	10,94	7,853
	33	37,4	9,00	0,05993
	32	38,2	19,98	0,00098
	10	38,4	29,62	0,65109
	18	39,2	32,44	0,0052
	46	39,9	25,80	0,00174
40,4–49,6 (n = 15)	3	40,4	23,57	2,41333
	29	40,8	15,21	0,00189
	24	42,2	19,39	0,00028
	23	42,4	10,88	0,05113
	37	42,8	22,16	0,07617
	42	44,8	12,1	10,34008
	4	45	24,54	1,85282
	12	45,4	12,5	0,02234
	38	46,2	6,36	2,29555
	11	46,6	6,17	4,77771
	28	46,6	21,1	0,00258
	15	47,4	19,89	0,00103
	49	48,8	16,07	1,71915
	47	49,2	22,96	0,00613
	31	49,6	19,63	0,00235
50,2–59,2 (n = 15)	25	50,2	1,47	0,71936
	50	50,2	14,95	0,74335
	8	51,6	33	0,36705
	9	53,6	32,61	0,64118
	43	54,6	11,89	6,96065
	21	54,8	21,51	0,00016
	14	55	21,17	0,00061
	30	56,4	11,27	0,03099
	39	57,6	6,57	0,57985
	48	57,6	14,2	1,6347
	45	58	21,64	0,01373
	17	58,4	27,2	0,06898
	40	58,6	6,35	8,47259
	41	59	24,66	0,00376
	20	59,2	11,03	0,01216
60,2–75 (n = 7)	44	60,2	21,12	0,0357
	22	61,2	15,61	0,00102
	36	62	8,62	0,40118
	26	62,3	12,84	0,00687
	27	65,4	12,06	0,03041
	2	66,6	23,3	0,86575
	6	75	2,07	1,46489

Рис. 1. Уровень относительной экспрессии гена *LCORL* в образцах поперечной грудной мышцы домашних северных оленей ненецкой породы

Fig. 1. Relative expression level of the *LCORL* gene in transverse pectoral muscle samples of domestic Nenets reindeer оленей ненецкой породы

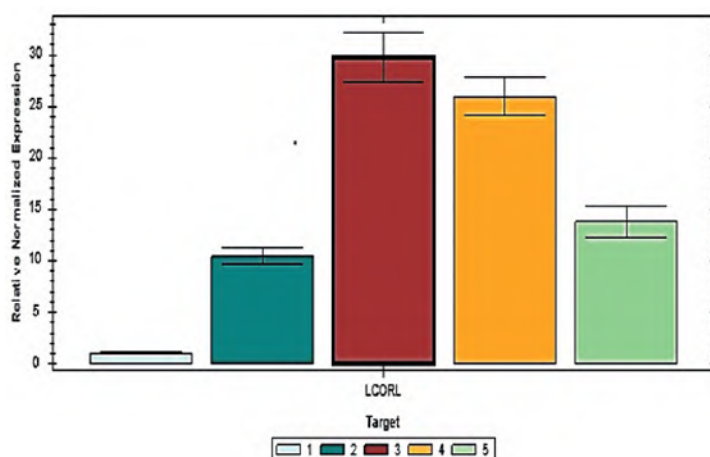


Таблица 3. Различия уровня экспрессии гена *LCORL* в исследуемой ткани в группах оленей, разделенных по убойной массе и полу

Table 3. Differences in the expression level of the *LCORL* gene in the studied tissue in groups of deer divided by slaughter weight and sex of animals

Пол	1 30,8–39,9, кг (n = 12)		2 40,4–49,6, кг (n = 15)		3 50,2–59,2, кг (n = 15)	4 60,2–75, кг (n = 7)
	Важенки n = 10	Быки n = 2	Важенки n = 9	Быки n = 6	Быки n = 15	Быки n = 7
Mean ± Std. Err. 2-ΔΔCT	1,050 ± 0,771	0,003 ± 0,002	1,277 ± 0,561	2,012 ± 1,689	1,350 ± 0,681	0,401 ± 0,215
Median 2-ΔΔCT	0,104	0,003	0,076	0,004	0,367	0,036

Примечание: Mean — среднее значение, Std. Err. — стандартная ошибка, Median — медиана.

экспрессируется в группе убойной массы 50,2–59,2 кг (Median = 0,367), а самое низкое значение экспрессии — в группе оленей 60,2–75 кг (Median = 0,036) (табл. 3). Выявлено, что во второй группе по убойной массе наблюдаются высокие средние значения уровня относительной экспрессии 1,277 ± 0,561 у важенков и 2,012 ± 1,689 у быков.

Анализ литературных источников показал, что тканеспецифическая экспрессионная активность гена *LCORL* с учетом весовых характеристик

оленей ранее не изучалась. Результаты настоящего исследования предоставляют новую информацию об особенностях экспрессии гена *LCORL* у домашних северных оленей ненецкой породы с учетом тканеспецифичности и убойной массы. Обнаружение вариантов генетического полиморфизма в кодирующих областях гена *LCORL* и анализ частот встречаемости аллелей между особями дикого типа и мутантного подтверждают влияние генетической изменчивости данного локуса на фенотипическую изменчивость показателей роста и размера тела у северных оленей [19].

Таким образом, следующим этапом в исследовании станет поиск новых полиморфизмов в экзонах гена *LCORL* и их связи с убойной массой домашних северных оленей.

Выводы/ Conclusions

Впервые было выявлено, что ген *LCORL* экспрессируется в поперечной грудной мышце исследуемых групп домашнего северного оленя ненецкой породы. Наибольший уровень экспрессии был зафиксирован для группы оленей с убойным весом 50,2–59,2 кг (Median = 0,367), а наименьший — в группе 60,2–75 кг (Median = 0,036) (по медиане). Во второй группе по убойной массе (40,4–49,6 кг) наблюдаются высокие средние значения уровня относительной экспрессии гена *LCORL* 1,277 ± 0,561 у важенков и 2,012 ± 1,689 у быков, что говорит о стремительных темпах скорости роста и набора мышечной массы до момента, пока особи не достигли максимальных значений по весу.

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 при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по теме № 124020200114-7.

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic No. 124020200114-7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Южаков А.К., Лайшев К.А. Особенности роста и формирования телосложения северных оленей ненецкой породы. *Международный вестник ветеринарии*. 2022; (2): 104–111. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.2.104>
2. Митюков А.С., Канева Л.А., Жариков Я.А. Вероятные направления производства мяса в северных регионах Российской Федерации. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2015; 39: 129–131. <https://www.elibrary.ru/uxwmcf>

REFERENCES

1. Yuzhakov A.A., Laishev K.A. Features of the growth and formation of the physique of nenets reindeer from birth to puberty. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2022; (2): 104–111 (in Russian). <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2022.2.104>
2. Mityukov A.S., Kaneva L.A., Zharikov Ya.A. Likely avenues of meat production in the northern regions of the Russian Federation. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2015; 39: 129–131 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/uxwmcf>

3. Логинов В.Г. Оленеводство как базовая отрасль традиционного сектора АПК Севера. *Аграрный вестник Урала*. 2014; (11): 74–77.
<https://www.elibrary.ru/tajscb>
4. Южаков А.А., Романенко Т.М., Лайшев К.А. Феногеографическая изменчивость северных оленей ненецкой породы. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2017; 47: 115–122.
<https://www.elibrary.ru/zbeqzx>
5. McDevitt A.D. *et al.* Survival in the Rockies of an endangered hybrid swarm from diverged caribou (*Rangifer tarandus*) lineages. *Molecular Ecology*. 2009; 18(4): 665–679.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.04050.x>
6. Денискова Т.Е. и др. Генетическая характеристика региональных популяций ненецкой породы северного оленя (*Rangifer tarandus*). *Сельскохозяйственная биология*. 2018; 53(6): 1152–1161.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.6.1152rus>
7. Харзинова В.Р., Зиновьева Н.А. Применение микросателлитов в популяционно-генетических исследованиях северного оленя (*Rangifer tarandus*) (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024; 25(4): 525–537.
<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.525-537>
8. Metzger J., Schrimpf R., Philipp U., Distl O. Expression Levels of *LCORL* Are Associated with Body Size in Horses. *PLoS ONE*. 2013; 8(2): e56497.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056497>
9. Soranzo N. *et al.* Meta-Analysis of Genome-Wide Scans for Human Adult Stature Identifies Novel Loci and Associations with Measures of Skeletal Frame Size. *PLoS Genetics*. 2009; 5(4): e1000445.
<https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1000445>
10. Lindholm-Perry A.K. *et al.* Association, effects and validation of polymorphisms within the *NCAPG-LCORL* locus located on BTA6 with feed intake, gain, meat and carcass traits in beef cattle. *BMC Genetics*. 2011; 12: 103.
<https://doi.org/10.1186/1471-2156-12-103>
11. Rubin C.-J. *et al.* Strong signatures of selection in the domestic pig genome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012; 109(48): 19529–19536.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1217149109>
12. Al-Mamun H.A., Kwan P., Clark S.A., Ferdosi M.H., Tellam R., Gondro C. Genome-wide association study of body weight in Australian Merino sheep reveals an orthologous region on OAR6 to human and bovine genomic regions affecting height and weight. *Genetics Selection Evolution*. 2015; 47: 66.
<https://doi.org/10.1186/s12711-015-0142-4>
13. Takasuga A. *PLAG1* and *NCAPG-LCORL* in livestock. *Animal Science Journal*. 2016; 87(2): 159–167.
<https://doi.org/10.1111/asj.12417>
14. Lyu S., Arends D., Nassar M.K., Brockmann G.A. Fine mapping of a distal chromosome 4 QTL affecting growth and muscle mass in a chicken advanced intercross line. *Animal Genetics*. 2017; 48(3): 295–302.
<https://doi.org/10.1111/age.12532>
15. Larkina T.A. *et al.* Evolutionary Subdivision of Domestic Chickens: Implications for Local Breeds as Assessed by Phenotype and Genotype in Comparison to Commercial and Fancy Breeds. *Agriculture*. 2021; 11(10): 914.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11100914>
16. Han Y.J., Chen Y., Liu Y., Liu X.L. Sequence variants of the *LCORL* gene and its association with growth and carcass traits in Qinchuan cattle in China. *Journal of Genetics*. 2017; 96(1): 9–17.
<https://doi.org/10.1007/s12041-016-0732-0>
17. Betsha M.W. *et al.* Sequencing of reindeer (*Rangifer tarandus*) genomes: insights into evolution, domestication and adaptation. *Bioinformatics of genome regulation and structure/systems biology (BGRS/SB-2018). The 11th International conference*. Novosibirsk: Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. 2018; 198.
<https://doi.org/10.18699/BGRSSB-2018-168>
18. Weldenegodguad M. *et al.* Genome sequence and comparative analysis of reindeer (*Rangifer tarandus*) in northern Eurasia. *Scientific Reports*. 2020; 10: 8980.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-65487-y>
19. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of Relative Gene Expression Data Using Real-Time Quantitative PCR and the 2^{-ΔΔCT} Method. *Methods*. 2001; 25(4): 402–408.
<https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>
20. Крутикова А.А., Баркова О.Ю. Анализ полиморфизма гена лиганд-зависимого ядерного рецептора типа корепрессора северного оленя. *Международный вестник ветеринарии*. 2020; (4): 111–115.
<https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2020.4.111>
3. Loginov V.G. Reindeer husbandry as a basic branch of the North's traditional agricultural sector. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2014; (11): 74–77 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/tajscb>
4. Yuzhakov A.A., Romanenko T.M., Laishev K.A. Genogeographic variability reindeer Nenets breed. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2017; 47: 115–122 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/zbeqzx>
5. McDevitt A.D. *et al.* Survival in the Rockies of an endangered hybrid swarm from diverged caribou (*Rangifer tarandus*) lineages. *Molecular Ecology*. 2009; 18(4): 665–679.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.04050.x>
6. Deniskova T.E. *et al.* Genetic characteristics of regional populations of Nenets reindeer breed (*Rangifer tarandus*). *Agricultural Biology*. 2018; 53(6): 1152–1161.
<https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.6.1152eng>
7. Kharzinova V.R., Zinovieva N.A. Application of microsatellites in population genetic studies of reindeer (*Rangifer tarandus*) (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(4): 525–537 (in Russian).
<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.525-537>
8. Metzger J., Schrimpf R., Philipp U., Distl O. Expression Levels of *LCORL* Are Associated with Body Size in Horses. *PLoS ONE*. 2013; 8(2): e56497.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056497>
9. Soranzo N. *et al.* Meta-Analysis of Genome-Wide Scans for Human Adult Stature Identifies Novel Loci and Associations with Measures of Skeletal Frame Size. *PLoS Genetics*. 2009; 5(4): e1000445.
<https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1000445>
10. Lindholm-Perry A.K. *et al.* Association, effects and validation of polymorphisms within the *NCAPG-LCORL* locus located on BTA6 with feed intake, gain, meat and carcass traits in beef cattle. *BMC Genetics*. 2011; 12: 103.
<https://doi.org/10.1186/1471-2156-12-103>
11. Rubin C.-J. *et al.* Strong signatures of selection in the domestic pig genome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012; 109(48): 19529–19536.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1217149109>
12. Al-Mamun H.A., Kwan P., Clark S.A., Ferdosi M.H., Tellam R., Gondro C. Genome-wide association study of body weight in Australian Merino sheep reveals an orthologous region on OAR6 to human and bovine genomic regions affecting height and weight. *Genetics Selection Evolution*. 2015; 47: 66.
<https://doi.org/10.1186/s12711-015-0142-4>
13. Takasuga A. *PLAG1* and *NCAPG-LCORL* in livestock. *Animal Science Journal*. 2016; 87(2): 159–167.
<https://doi.org/10.1111/asj.12417>
14. Lyu S., Arends D., Nassar M.K., Brockmann G.A. Fine mapping of a distal chromosome 4 QTL affecting growth and muscle mass in a chicken advanced intercross line. *Animal Genetics*. 2017; 48(3): 295–302.
<https://doi.org/10.1111/age.12532>
15. Larkina T.A. *et al.* Evolutionary Subdivision of Domestic Chickens: Implications for Local Breeds as Assessed by Phenotype and Genotype in Comparison to Commercial and Fancy Breeds. *Agriculture*. 2021; 11(10): 914.
<https://doi.org/10.3390/agriculture11100914>
16. Han Y.J., Chen Y., Liu Y., Liu X.L. Sequence variants of the *LCORL* gene and its association with growth and carcass traits in Qinchuan cattle in China. *Journal of Genetics*. 2017; 96(1): 9–17.
<https://doi.org/10.1007/s12041-016-0732-0>
17. Betsha M.W. *et al.* Sequencing of reindeer (*Rangifer tarandus*) genomes: insights into evolution, domestication and adaptation. *Bioinformatics of genome regulation and structure/systems biology (BGRS/SB-2018). The 11th International conference*. Novosibirsk: Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. 2018; 198.
<https://doi.org/10.18699/BGRSSB-2018-168>
18. Weldenegodguad M. *et al.* Genome sequence and comparative analysis of reindeer (*Rangifer tarandus*) in northern Eurasia. *Scientific Reports*. 2020; 10: 8980.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-65487-y>
19. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of Relative Gene Expression Data Using Real-Time Quantitative PCR and the 2^{-ΔΔCT} Method. *Methods*. 2001; 25(4): 402–408.
<https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262>
20. Krutikova A.A., Barkova O.Yu. Analysis of the ligand-dependent nuclear receptor gene of corepressor type polymorphism in reindeer. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2020; (4): 111–115 (in Russian).
<https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2020.4.111>

ОБ АВТОРАХ

Татьяна Александровна Ларкина

кандидат биологических наук, младший научный сотрудник
 tanya.larkina2015@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4574-4639>

Григорий Карпетович Пегливанян

младший научный сотрудник
 peglivanian_grig@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5194-4851>

Ольга Юрьевна Баркова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
 barkoffws@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0963-905X>

Алина Валерьевна Габова

лаборант-исследователь, магистр
 alina.gabova7@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0007-6039-6958>

Наталья Викторовна Дементьева

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
 dementevan@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0210-9344>

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

ABOUT THE AUTHORS

Tatyana Aleksandrovna Larkina

Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher
 tanya.larkina2015@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4574-4639>

Grigory Karapetovich Peglivanyan

Junior Researcher
 peglivanian_grig@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5194-4851>

Olga Yurievna Barkova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
 barkoffws@list.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0963-905X>

Alina Valerievna Gabova

Laboratory Researcher, Master's Degree
 alina.gabova7@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0007-6039-6958>

Natalia Viktorovna Dementieva

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
 dementevan@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0210-9344>

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



AGROCON

Найди себя в АГРО

Крупнейшая межуниверситетская
 выставка-форум АПК для
 молодёжи



agrocon.pro

17 ОКТЯБРЯ | ул. МИКЛУХО-МАКЛАЯ, д.6
 РУДН

Р.Р. Вафин

Х.Х. Гильманов ✉

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

✉ gilmanov.xx@mail.ru

Поступила в редакцию: 17.03.2025

Одобрена после рецензирования: 11.07.2025

Принята к публикации: 26.07.2025

© Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-58-63

Ramil R. Vafin

Khamid Kh. Gilmanov ✉

Federal State Budget Scientific Institution
“Federal Scientific Centre VIEV”,
Moscow, Russia

✉ gilmanov.xx@mail.ru

Received by the editorial office: 17.03.2025

Accepted in revised: 11.07.2025

Accepted for publication: 26.07.2025

© Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh.

Способы проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по анализируемым SNP-маркерам гена *iNOS*

РЕЗЮМЕ

Современное развитие генетико-селекционных технологий требует углубленного изучения молекулярно-генетических механизмов, определяющих устойчивость крупного рогатого скота к лейкозу. В этом контексте исследование полиморфизма гена *iNOS* *Bos taurus* представляет особую научную и практическую значимость, поскольку его результаты могут быть использованы для совершенствования селекционных программ, направленных на повышение как продуктивности животных, так и их резистентности к хроническим инфекционным заболеваниям.

Цель настоящего исследования — разработка способов проведения ПЦР в реальном времени в формате гибридизационно-флуоресцентной детекции однонуклеотидных полиморфизмов для генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркерам *AH13-1* и *AH13-6* гена *iNOS*.

Дизайн модифицированных и немодифицированных олигонуклеотидов, формирующих для определенного полиморфного маркера свой набор из 5'-флуоресцентно-меченых аллель-специфических праймеров, анти-праймера, меченого гасителем флуоресценции с 3'-конца олигонуклеотида, а также общего праймера, выполнен в программе OligoAnalyzer 1.2. Разработанные способы, протестированные в данной работе, относятся к разновидности анти-праймер-опосредованной количественной ПЦР в реальном времени, гибридизационно-флуоресцентный формат детекции которой обеспечивает корректную интерпретацию данных кривых роста сигнала флуоресценции. Их достоверность подкреплена ПЦР-ПДРФ-анализом с подобранными праймерами и эндонуклеазами рестрикции, тоже способными к идентификации генотипов искомым SNP-маркерам. При этом предложенные способы проведения ПЦР в реальном времени по сравнению с ПЦР-ПДРФ-анализом более экспрессны, так как не требуют времязатратных процедур эндонуклеазного расщепления и последующего электрофоретического разделения генерируемых фрагментов.

Ключевые слова: *iNOS*, *Bos taurus*, SNP-маркеры, ПЦР, ПДРФ, генотипирование

Для цитирования: Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х. Способы проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по анализируемым SNP-маркерам гена *iNOS*. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 58–63.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-58-63>

Methods of conducting real-time PCR for genotyping cattle by analyzed SNP markers of the *iNOS* gene

ABSTRACT

Modern development of genetic and selection technologies requires in-depth study of molecular genetic mechanisms determining cattle resistance to leukemia. In this context, the study of the *iNOS* gene polymorphism in *Bos taurus* is of particular scientific and practical importance, since its results can be used to improve breeding programs aimed at increasing both animal productivity and their resistance to chronic infectious diseases. The aim of this study was to develop methods for real-time PCR in the format of hybridization-fluorescence detection of single nucleotide polymorphisms for genotyping cattle by SNP markers *AH13-1* and *AH13-6* of the *iNOS* gene. The design of modified and unmodified oligonucleotides forming for a certain polymorphic marker their own set of 5'-fluorescently labeled allele-specific primers, an anti-primer labeled with a fluorescence quencher from the 3'-end of the oligonucleotide, and a common primer was performed in the OligoAnalyzer 1.2 program. The developed methods tested in this work belong to a variety of anti-primer-mediated quantitative real-time PCR, the hybridization-fluorescence detection format of which ensures correct interpretation of the fluorescence signal growth curve data. Their reliability is supported by PCR-RFLP analysis with selected primers and restriction endonucleases, which are also capable of identifying the genotypes of the sought SNP markers. Moreover, the proposed methods for conducting real-time PCR are more expressive compared to PCR-RFLP analysis, since they do not require time-consuming procedures of endonuclease cleavage and subsequent electrophoretic separation of the generated fragments.

Key words: *iNOS*, *Bos taurus*, SNP markers, PCR, RFLP, genotyping

For citation: Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh. Methods of conducting real-time PCR for genotyping cattle by analyzed SNP markers of the *iNOS* gene. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 58–63 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-58-63>

Введение/Introduction

Индукцибельная синтаза оксида азота (iNOS) — ключевой фермент, катализирующий синтез оксида азота (NO) и его реактивных форм [1, 2]. Эти молекулы играют важную роль: выступают медиаторами врожденного иммунитета, подавляя патогены, и регулируют апоптоз, влияя на патофизиологические процессы [3–5].

Исследования полиморфизма гена *iNOS Bos taurus* приобретают особую значимость в контексте генетической селекции. Установленная ассоциация его аллельных вариантов с устойчивостью к лейкозу [6, 7] и молочной продуктивностью [7, 8] делает этот локус перспективной мишенью для разработки стратегий сохранения здоровья стада и повышения его продуктивности.

Для оценки генетического разнообразия в локусе *iNOS* широко применяется метод полимеразной цепной реакции, совмещенный с анализом полиморфизма длин рестрикционных фрагментов (ПЦР-ПДРФ-анализ), позволяющий идентифицировать полиморфные маркеры через рестрикцию амплифицированных фрагментов ДНК [9–11]. Данный метод использован при разработке способов ПЦР-ПДРФ-генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркерам (Single Nucleotide Polymorphism — однонуклеотидный полиморфизм), локализованным в анализируемом локусе гена [12, 13].

Корректная детекция ряда полиморфных маркеров может быть осуществлена с использованием модифицированной методики dCAPS (Derived Cleaved Amplified Polymorphic Sequences — производные расщепленные амплифицированные полиморфные последовательности), создающей искусственный сайт рестрикции за счет реконструирования праймера [14], а также прямым секвенированием ПЦР-продукта, обеспечивающим точное определение нуклеотидных зам-
[15].

При этом наряду с вышеперечисленными ДНК-технологиями могут быть востребованы и способы проведения ПЦР в реальном времени в формате гибридационно-флуоресцентной детекции однонуклеотидных полиморфизмов благодаря их экспрессности [16].

Интеграция разрабатываемых диагностикомов в систему молекулярно-генетического тестирования племенного поголовья способствует не только выявлению ассоциаций между SNP-маркерами и хозяйственно ценными признаками, но и формированию высокопродуктивных и генетически резистентных к лейкозу популяций крупного рогатого скота, что является ключевым направлением современной селекционной практики.

Цель исследования — разработка способов проведения ПЦР в реальном времени в формате гибридационно-флуоресцентной детекции однонуклеотидных полиморфизмов для генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркерам *AH13-1* и *AH13-6* гена *iNOS*.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследование выполнено в лаборатории лейкологии Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук в 2024 году.

Экстракция нуклеиновых кислот из 100 отобранных проб цельной консервированной крови голштинизированного скота черно-пестрой породы проведена комплектом реагентов для выделения ДНК из клинического материала «ДНК-сорб В» (ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия).

Дизайн олигонуклеотидов для проведения ПЦР в реальном времени в формате гибридационно-флуоресцентной детекции с целью идентификации аллелей и генотипов SNP-маркеров *AH13-1* и *AH13-6* гена *iNOS Bos taurus* выполнен в программе OligoAnalyzer 1.2 (Teemu Kuulasma, Финляндия).

Перечень сконструированных олигонуклеотидов, включающий для определенного SNP-маркера свой набор из 5'-флуоресцентно-меченых аллель-специфических праймеров, антипраймера, меченого гасителем флуоресценции с 3'-конца олигонуклеотида, а также общего праймера, представлен в таблице 1.

Таблица 1. Перечень сконструированных олигонуклеотидов

Table 1. List of constructed oligonucleotides

Наименование и последовательность олигонуклеотидов	SNP-маркер
70C-F: 5'-FAM-CTTGGCTTCTTCAGGGAATC-3' 70T-F: 5'-VIC-CTTGGCTTCTTCAGGGAATC-3' 70S-S: 5'-CCTGAAGAAGCCAAG-BHQ1-3' 82R-R: 5'-ACTAGGCTCACGGAGG-3'	<i>AH13-1</i>
82C-R: 5'-ROX-ACTAGGCTCACGGAGGCAAG-3' 82T-R: 5'-Cy5-ACTAGGCTCACGGAGGCAAG-3' 82S-S: 5'-CTCCGTGAGCCTAGT-BHQ3-3' 70F-F: 5'-GACCTTGGCTTCTTCAGGAGT-3'	<i>AH13-6</i>

Способы проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркерам *AH13-1* и *AH13-6* гена *iNOS* выполнены на амплификаторе Tianlong Gentier 96E (Tianlong, Китай). Готовые реакционные смеси объемом по 20 мкл включали в себя 14,2 мкл стерильной воды, 2 мкл dNTPs (2,5 мМ исходной концентрации каждого трифосфата), 2 мкл стандартного буфера для Taq ДНК полимеразы (10×), 0,2 мкл Taq ДНК полимеразы (5 ед.), 0,2 мкл микса 5'-флуоресцентно-меченых аллель-специфических праймеров (25 мкМ каждого праймера), 0,2 мкл антипраймера (50 мкМ), 0,2 мкл общего праймера (50 мкМ), 1 мкл пробы ДНК 1-го раунда ПЦР.

Режимы термоциклирования и детекции для SNP-маркера *AH13-1*: ×1: 94 °C — 4 мин.; ×20: 94 °C — 10 сек., 60 °C — 10 сек., 72 °C — 10 сек., 50 °C — 10 сек. (FAM — канал детекции № 1 / VIC — канал детекции № 2). Режимы термоциклирования

и детекции для SNP-маркера *AH13-6*: $\times 1$: 94 °C — 4 мин.; $\times 20$: 94 °C — 10 сек., 65 °C — 10 сек., 72 °C — 10 сек., 55 °C — 10 сек. (ROX — канал детекции № 3 / Cy5 — канал детекции № 4).

Постановка 1-го раунда ПЦР с праймерами *iNOS-F* и *iNOS-R* для амплификации локуса гена *iNOS Bos taurus* длиной 258 bp осуществлена набором реагентов Encyclo Plus PCR kit (ЗАО «Евроген», Россия) согласно ранее использованному протоколу [13]. Дополнительно проведенная полугнездовая ПЦР с праймерами *iNOS-F1* и *iNOS-R* для амплификации локуса гена *iNOS Bos taurus* длиной 209 bp выполнена с Taq ДНК полимеразой со стандартным буфером (ООО «СибЭнзайм», Россия).

Процедура эндонуклеазного расщепления наработанных с праймерами *iNOS-F1* и *iNOS-R* ампликонов осуществлена рестриктазами, подобранными для определенного SNP-маркера. В частности, для детекции полиморфных позиций SNP-маркера *AH13-1* 10 мкл амплификата смешивали с равным объемом ПДРФ-смеси, содержащей 2 ед. *Bst*ACI в SE-буфере W (ООО «СибЭнзайм», Россия) или 2 ед. *Bst*ACI и 5 ед. *Hae*III в SE-буфере G (ООО «СибЭнзайм», Россия), инкубируя в термостате при 37 °C в течение 4 часов. Аналогичный объем амплификата и ПДРФ-смеси, а также схожее время инкубирования использовали и при детекции полиморфных позиций *AH13-6* (5 ед. *Hinf*I в SE-буфере O (ООО «СибЭнзайм», Россия)).

Инкубированные ПЦР-ПДРФ-пробы, окрашенные буфером для нанесения образцов ДНК 4X Gel Loading Dye, Blue (ЗАО «Евроген», Россия), вносили в лунки 3%-ного агарозного геля в объеме 20 мкл и подвергали горизонтальному электрофорезу в TAE буфере (рН 8,0) (ЗАО «Евроген», Россия) с последующей визуализацией электрофореграмм в УФ-трансиллюминаторе.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Авторами разработаны способы проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркерам *AH13-1* и *AH13-6* гена *iNOS* в формате гибридно-флуоресцентной детекции, предусматривающие использование для определенного полиморфного маркера своего набора модифицированных и немодифицированных олигонуклеотидов, куда входят 5'-флуоресцентно-меченные аллель-специфические праймеры (70C-F + 70T-F для *AH13-1* и 82C-R + 82T-R для *AH13-6*), общий праймер (82-R для *AH13-1* и 70-F для *AH13-6*), и антипраймер (70-S для *AH13-1* и 82-S для *AH13-6*), меченый гасителем флуоресценции с 3'-конца олигонуклеотида.

Локализация сконструированных олигонуклеотидов во фланкируемой ими области гена *iNOS Bos taurus* отображена на рисунке 1.

Рис. 1. Локализация сконструированных олигонуклеотидов для идентификации аллелей и генотипов SNP-маркеров *AH13-1* и *AH13-6* во фланкируемой области гена *iNOS Bos taurus*

Fig 1. Localization of designed oligonucleotides for identification of alleles and genotypes of SNP markers *AH13-1* and *AH13-6* in the flanking region of the *iNOS* gene *Bos taurus*

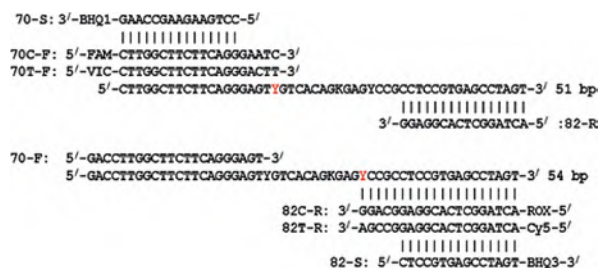
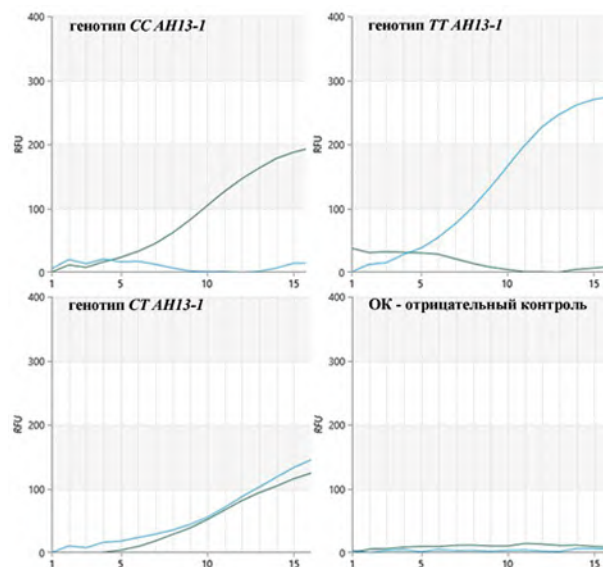


Рис. 2. Результат проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркеру *AH13-1*

Fig. 2. Result of real-time PCR for genotyping cattle using the *AH13-1* SNP marker



ценции, характерные для генотипа CC (канал FAM, зеленая линия), генотипа TT (канал VIC, голубая линия) и генотипа CT (каналы FAM и VIC, зеленая и голубая линии). Ось ординат отражает относительные единицы флуоресценции (RFU). Ось абсцисс отражает циклы амплификации.

Note: kinetic curves of fluorescence signal growth characteristic of the CC genotype (FAM channel, green line), TT genotype (VIC channel, blue line) and CT genotype (FAM and VIC channels, green and blue lines). The ordinate axis reflects relative fluorescence units (RFU). The abscissa axis reflects amplification cycles.

Наглядный пример результата тестирования разработанного способа проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркеру *AH13-1* представлен на рисунке 2.

Другой пример результата тестирования еще одного предложенного способа проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота уже по SNP-маркеру *AH13-6* наглядно продемонстрирован на рисунке 3.

В результате тестирования разработанных способов проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркерам *AH13-1* и *AH13-6* получены

обеспечиваемые предложенными генодиагностическими подходами технические результаты, выраженные в эффективной идентификации искомых генотипов определенных полиморфных маркеров ввиду корректной интерпретации данных кривых роста сигнала флуоресценции (рис. 2, 3).

Предложенные способы, протестированные в настоящей работе, относятся к разновидности антипраймер-опосредованной количественной ПЦР в реальном времени (antiprimer-based quantitative real-time PCR, aQRT-PCR) [16], способной эффективно идентифицировать однонуклеотидный полиморфизм. При этом основное отличие от прототипа кроется в конструктивной особенности 5'-флуоресцентно-меченых аллель-специфических праймеров, полностью состоящих из ген-специфичных последовательностей, 5'-концевые участки которых способны к конкурентной гибридизации с комплементарным антипраймером, меченым гасителем флуоресценции с 3'-конца олигонуклеотида.

Следует отметить, что достоверность полученных результатов подкреплена данными ПЦР-ПДРФ-анализа с подобранными наборами праймеров и рестриктаз, в том числе способных к идентификации генотипов SNP-маркеров *AH13-1* и *AH13-6*.

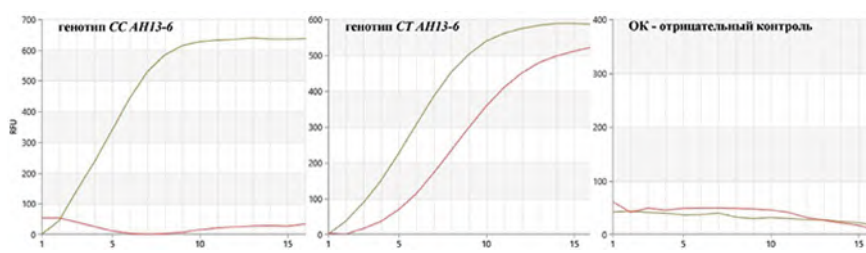
В настоящем исследовании сконструированный dCAPS праймер *iNOS-F1* применен в статусе внутреннего олигонуклеотида в полугнездовой ПЦР вместе с внешним праймером *iNOS-R*, инициирующим амплификацию локуса гена *iNOS Bos taurus* длиной 209 bp.

Локализация использованных праймеров во фланкируемых ими областях локуса гена *iNOS* отображена на рисунке 4.

Помимо этого, на рисунке 4 представлены и полиморфные сайты рестрикции SNP-маркеров

Рис. 3. Результат проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркеру *AH13-6*

Fig. 3. Result of real-time PCR for genotyping cattle using the *AH13-6* SNP marker



Примечание: кинетические кривые роста сигнала флуоресценции, характерные для генотипа *CC* (канал ROX, коричневая линия), генотипа *TT* (канал Cy5, красная линия) и генотипа *CT* (каналы ROX и Cy5, коричневая и красная линии). Ось ординат отражает относительные единицы флуоресценции (RFU). Ось абсцисс отражает циклы амплификации.

Note: kinetic curves of fluorescence signal growth characteristic of the *CC* genotype (ROX channel, brown line), *TT* genotype (Cy5 channel, red line) and *CT* genotype (ROX and Cy5 channels, brown and red lines). The ordinate axis reflects relative fluorescence units (RFU). The abscissa axis reflects amplification cycles.

Рис. 4. Синтетическая нуклеотидная последовательность локуса гена *iNOS Bos taurus* с локализацией использованных праймеров и полиморфных сайтов рестрикции SNP-маркеров *AH13-1* и *AH13-6* со сгенерированными ПЦР-ПДРФ-профилями их возможных генотипов

Fig. 4. Synthetic nucleotide sequence of the *iNOS* gene *Bos taurus* locus with localization of the primers used and polymorphic restriction sites of SNP markers *AH13-1* and *AH13-6* with generated PCR-RFLP profiles of their possible genotypes

```

iNOS-F                               iNOS-F1
AGGCGGGTTT AAGCTCCTAG              C CTGGCTTCT
001 AGGCGGGTTT AAGCTCCTAG AGAGGCCAGA GAGGAAGAAA GTAGAAAGAC CTGGCTTCT

      BsaHI                               HinfI                               HaeIII
TCAGGGCGT                            TCAGGGAGT GTCACAGKGA GYCCGCCTCC GTGAGCCTAG TGCCTCATCA GTGCCATT
061 TCAGGGAGT GTCACAGKGA GYCCGCCTCC GTGAGCCTAG TGCCTCATCA GTGCCATT

121 TCCTTGGTTT CTTTCTGACT TGAAACCATT TRGAGGAGAC AGGGGGGATC TTAAAGAGGT

181 AACTTCAGTC TTCGAGGTTA GGGTCCCCAC TTTGTAGAGG GGATGAGAA R TTGGTTTTCG

      iNOS-R                               ПЦР-продукт с праймерами
AGCTGATGGG TCCAGTGT                 iNOS-F+iNOS-R   iNOS-F1+iNOS-R
241 AGCTGATGGG TCCAGTGT                 258 bp           209 bp

```

SNP-маркер *AH13-1*, полиморфная позиция 70

*Bsa*HI-ПЦР-ПДРФ-профили генотипов (рестрикционное картирование):

Нуклеотид С (генотип *CC*) = 192/17 bp (1-17/18-209 nt)

Нуклеотид Т (генотип *TT*) = 209 bp (1-209 nt)

Нуклеотид Y (генотип *CT*) = 209/192/17 bp

*Bsa*HI-*Hae*III-ПЦР-ПДРФ-профили генотипов (рестрикционное картирование):

Нуклеотид С (генотип *CC*) = 144/48/17 bp (1-17/18-65/66-209 nt)

Нуклеотид Т (генотип *TT*) = 144/65 bp (1-65/66/209 nt)

Нуклеотид Y (генотип *CT*) = 144/65/48/17 bp

SNP-маркер *AH13-6*, полиморфная позиция 82

*Hinf*I-ПЦР-ПДРФ-профили генотипов (рестрикционное картирование):

Нуклеотид С (генотип *CC*) = 209 bp (1-209 nt)

Нуклеотид Т (генотип *TT*) = 179/30 bp (1-30/31-209 nt)

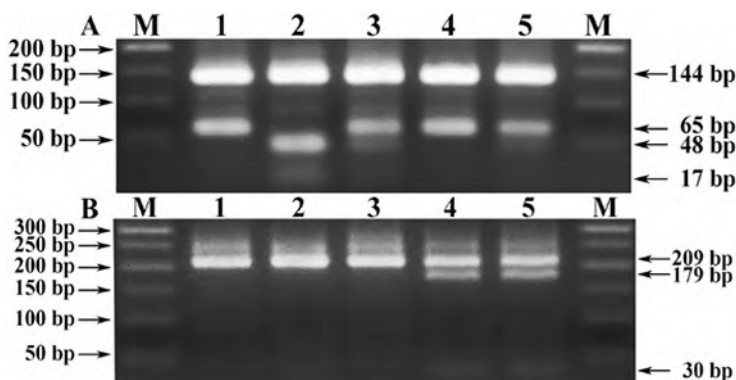
Нуклеотид Y (генотип *CT*) = 209/179/30 bp

AH13-1 и *AH13-6*, а также соответствующие ПЦР-ПДРФ-профили их возможных генотипов, сгенерированные при рестрикционном картировании анализируемой последовательности ДНК, ограниченной уже внутренним (*iNOS-F1*) и внешним (*iNOS-R*) праймерами (рис. 4).

Наглядные примеры полученных электрофореграмм ПЦР-ПДРФ-профилей генотипов SNP-маркеров *AH13-1* и *AH13-6* гена *iNOS Bos taurus*, сгенерированных с отобранными праймерами и рестриктазами, представлены на рисунке 5.

Рис. 5. Электрофореграммы ПЦР-ПДРФ-профилей генотипов SNP-маркеров *AH13-1* и *AH13-6* гена *iNOS Bos Taurus*: М) Маркеры длин ДНК. А — *Bst*ACI-*Hae*III-ПЦР-ПДРФ-профили генотипов SNP-маркера *AH13-1*: 1, 4) генотип *TT* (144/65 bp); 2) генотип *CC* (144/48/17 bp); 3, 5) генотип *CT* (144/65/48/17 bp). В — *Hinf*I-ПЦР-ПДРФ-профили генотипов SNP-маркера *AH13-6*: 1, 2, 3) генотип *CC* (209 bp); 4, 5) генотип *CT* (179/30 bp).

Fig. 5. Electropherograms of PCR-RFLP profiles of genotypes of SNP markers *AH13-1* and *AH13-6* of the *iNOS* gene *Bos taurus*: М) DNA length markers. А — *Bst*ACI-*Hae*III-PCR-RFLP profiles of genotypes of SNP marker *AH13-1*: 1, 4) genotype *TT* (144/65 bp); 2) genotype *CC* (144/48/17 bp); 3, 5) genotype *CT* (144/65/48/17 bp). В — *Hinf*I-PCR-RFLP profiles of genotypes of SNP marker *AH13-6*: 1, 2, 3) genotype *CC* (209 bp); 4, 5) genotype *CT* (179/30 bp)



На них в общей сложности запечатлены ПЦР-ПДРФ-профили трех генотипов SNP-маркеров *AH13-1* (*TT*, *CC*, *CT*), а также двух генотипов *AH13-6* (*CC* и *CT*). Третий генотип *TT* SNP-маркера *AH13-6* в ходе генотестирования в исследуемой выборке крупного рогатого скота не выявлен.

Полученные результаты генотестирования с внутренним (*iNOS-F1*) и внешним (*iNOS-R*) праймерами в постановке полугнездовой ПЦР и отобранными рестриктазами согласуются

с результатами ранее проведенной гнездовой ПЦР с внутренними (*iNOS-F1* и *iNOS-R1*) праймерами и последующего ПДРФ-анализа для идентификации SNP-маркеров гена *iNOS* крупного рогатого скота [17], что свидетельствует об их достоверности.

Выводы/Conclusions

Разработанные способы проведения ПЦР в реальном времени для генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркерам *AH13-1* и *AH13-6* гена *iNOS* являются действенными подходами к идентификации искомым одонуклеотидных полиморфизмов. Гибридизационно-флуоресцентный формат детекции использованной разновидности антипраймер-опосредованной ПЦР в реальном времени обеспечивает корректную интерпретацию данных кривых роста сигнала флуоресценции.

Достоверность полученных результатов подкреплена ПЦР-ПДРФ-анализом с подобранными наборами праймеров и рестриктаз, способных к идентификации генотипов SNP-маркеров *AH13-1* и *AH13-6* гена *iNOS Bos taurus*. Однако, в отличие от ПЦР-ПДРФ-анализа, предложенные способы проведения ПЦР в реальном времени не требуют времязатратных процедур эндонуклеазного расщепления и последующего электрофоретического разделения генерируемых фрагментов.

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 № 22-76-10011.
<https://rscf.ru/project/22-76-10011/>

FUNDING

This research was funded by Russian Science Foundation No. 22-76-10011.
<https://rscf.ru/project/22-76-10011/>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Lemal P., May K., König S., Schroyen M., Gengler N. *Invited review: From heat stress to disease — Immune response and candidate genes involved in cattle thermotolerance. Journal of Dairy Science.* 2023; 106(7): 4471–4488.
<https://doi.org/10.3168/jds.2022-22727>
- Zhang W. *et al.* Nitric oxide synthase and its function in animal reproduction: an update. *Frontiers in Physiology.* 2023; 14: 1288669.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1288669>
- Ohhashi T., Kawai Y., Maejima D., Hayashi M., Watanabe-Asaka T. Physiological Roles of Lymph Flow-Mediated Nitric Oxide in Lymphatic System. *Lymphatic Research and Biology.* 2023; 21(3): 253–261.
- Chakravorty D., Hense M. Inducible nitric oxide synthase and control of intracellular bacterial pathogens. *Microbes and Infection.* 2003; 5(7): 621–627.
[https://doi.org/10.1016/s1286-4579\(03\)00096-0](https://doi.org/10.1016/s1286-4579(03)00096-0)
- Bogdan C., Röllinghoff M., Diefenbach A. Reactive oxygen and reactive nitrogen intermediates in innate and specific immunity. *Current Opinion in Immunology.* 2000; 12(1): 64–76.
[https://doi.org/10.1016/s0952-7915\(99\)00052-7](https://doi.org/10.1016/s0952-7915(99)00052-7)

REFERENCES

- Lemal P., May K., König S., Schroyen M., Gengler N. *Invited review: From heat stress to disease — Immune response and candidate genes involved in cattle thermotolerance. Journal of Dairy Science.* 2023; 106(7): 4471–4488.
<https://doi.org/10.3168/jds.2022-22727>
- Zhang W. *et al.* Nitric oxide synthase and its function in animal reproduction: an update. *Frontiers in Physiology.* 2023; 14: 1288669.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1288669>
- Ohhashi T., Kawai Y., Maejima D., Hayashi M., Watanabe-Asaka T. Physiological Roles of Lymph Flow-Mediated Nitric Oxide in Lymphatic System. *Lymphatic Research and Biology.* 2023; 21(3): 253–261.
- Chakravorty D., Hense M. Inducible nitric oxide synthase and control of intracellular bacterial pathogens. *Microbes and Infection.* 2003; 5(7): 621–627.
[https://doi.org/10.1016/s1286-4579\(03\)00096-0](https://doi.org/10.1016/s1286-4579(03)00096-0)
- Bogdan C., Röllinghoff M., Diefenbach A. Reactive oxygen and reactive nitrogen intermediates in innate and specific immunity. *Current Opinion in Immunology.* 2000; 12(1): 64–76.
[https://doi.org/10.1016/s0952-7915\(99\)00052-7](https://doi.org/10.1016/s0952-7915(99)00052-7)

6. Beishova I.S. *et al.* Genetic polymorphism of prolactin and nitric oxide synthase in Holstein cattle. *Veterinary World*. 2023; 16(1): 161–167.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.161-167>
7. Wang M., Ibeagha-Awemu E.M. Impacts of Epigenetic Processes on the Health and Productivity of Livestock. *Frontiers in Genetics*. 2021; 11: 613636.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2020.613636>
8. Чичинаева С.В. Роль аллельной вариативности генов цитокинов в формировании резистентности крупного рогатого скота к лейкозу. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Новосибирск. 2005; 110.
<https://www.elibrary.ru/nnhnbw>
9. Kocaman B., Toy S., Maraklı S. Application of different molecular markers in biotechnology. *International Journal of Science Letters*. 2020; 2(2): 98–113.
<https://doi.org/10.38058/ijsl.770081>
10. Hashim H.O., Al-Shuhaib M.B.S. Exploring the Potential and Limitations of PCR-RFLP and PCR-SSCP for SNP Detection: A Review. *Journal of Applied Biotechnology Reports*. 2019; 6(4): 137–144.
<https://doi.org/10.29252/JABR.06.04.02>
11. Ota M., Fukushima H., Kulski J.K., Inoko H. Single nucleotide polymorphism detection by polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism. *Nature Protocols*. 2007; 2(11): 2857–2864.
<https://doi.org/10.1038/nprot.2007.407>
12. Kuzhebaeva U.Zh., Donnik I.M., Petropavlovskiy M.V., Kanatbaev S.G., Nurgaliev B.E. Nitric oxide as an indicator for assessing the resistance and susceptibility of cattle to leukemia. *Аграрный вестник Урала*. 2021; (10): 48–54.
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-213-10-48-54>
13. Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х., Шастин П.Н. Тестирование разработанного способа ПЦР-ПДРФ-генотипирования крупного рогатого скота по SNP-маркерам гена *iNOS*. *Аграрная наука*. 2024; (7): 74–78.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-74-78>
14. Hrubá M. dCAPS method: advantages, troubles and solution. *Plant, Soil and Environment*. 2007; 53(9): 417–420.
<https://doi.org/10.17221/2293-PSE>
15. Shendure J. *et al.* DNA sequencing at 40: past, present and future. *Nature*. 2017; 550(7676): 345–353.
<https://doi.org/10.1038/nature24286>
16. Li J., Makrigiorgos G.M. Anti-primer quenching-based real-time PCR for simplex or multiplex DNA quantification and single-nucleotide polymorphism genotyping. *Nature Protocols*. 2007; 2(1): 50–58.
<https://doi.org/10.1038/nprot.2007.11>
17. Вафин Р.Р., Гильманов Х.Х. ДНК-технологии идентификации аллелей и генотипов полиморфных маркеров анализируемого локуса гена *iNOS Bos taurus*. *Аграрная наука*. 2025; (5): 89–94.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-89-94>

ОБ АВТОРАХ

Рамиль Ришадович Вафин

доктор биологических наук, профессор РАН, научный консультант
vafin-ramil@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0914-0053>

Хамид Халимович Гильманов

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
gilmanov.xx@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7053-6925>

Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН, Рязанский пр-т, 24, Москва, 109428, Россия

6. Beishova I.S. *et al.* Genetic polymorphism of prolactin and nitric oxide synthase in Holstein cattle. *Veterinary World*. 2023; 16(1): 161–167.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.161-167>

7. Wang M., Ibeagha-Awemu E.M. Impacts of Epigenetic Processes on the Health and Productivity of Livestock. *Frontiers in Genetics*. 2021; 11: 613636.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2020.613636>

8. Chichina S.V. The role of allelic variability of cytokine genes in the formation of cattle resistance to leukemia. Dissertation for the degree of candidate of biological sciences. Novosibirsk. 2005; 110 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/nnhnbw>

9. Kocaman B., Toy S., Maraklı S. Application of different molecular markers in biotechnology. *International Journal of Science Letters*. 2020; 2(2): 98–113.
<https://doi.org/10.38058/ijsl.770081>

10. Hashim H.O., Al-Shuhaib M.B.S. Exploring the Potential and Limitations of PCR-RFLP and PCR-SSCP for SNP Detection: A Review. *Journal of Applied Biotechnology Reports*. 2019; 6(4): 137–144.
<https://doi.org/10.29252/JABR.06.04.02>

11. Ota M., Fukushima H., Kulski J.K., Inoko H. Single nucleotide polymorphism detection by polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism. *Nature Protocols*. 2007; 2(11): 2857–2864.
<https://doi.org/10.1038/nprot.2007.407>

12. Kuzhebaeva U.Zh., Donnik I.M., Petropavlovskiy M.V., Kanatbaev S.G., Nurgaliev B.E. Nitric oxide as an indicator for assessing the resistance and susceptibility of cattle to leukemia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; (10): 48–54.
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-213-10-48-54>

13. Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh., Shastin P.N. Testing of the developed method for PCR-RFLP genotyping of cattle using SNP markers of the *iNOS* gene. *Agrarian science*. 2024; (7): 74–78 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-74-78>

14. Hrubá M. dCAPS method: advantages, troubles and solution. *Plant, Soil and Environment*. 2007; 53(9): 417–420.
<https://doi.org/10.17221/2293-PSE>

15. Shendure J. *et al.* DNA sequencing at 40: past, present and future. *Nature*. 2017; 550(7676): 345–353.
<https://doi.org/10.1038/nature24286>

16. Li J., Makrigiorgos G.M. Anti-primer quenching-based real-time PCR for simplex or multiplex DNA quantification and single-nucleotide polymorphism genotyping. *Nature Protocols*. 2007; 2(1): 50–58.
<https://doi.org/10.1038/nprot.2007.11>

17. Vafin R.R., Gilmanov Kh.Kh. DNA technologies for identification of alleles and genotypes of polymorphic markers of the analyzed locus of the *Bos taurus iNOS* gene. *Agrarian science*. 2025; (5): 89–94 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-394-05-89-94>

ABOUT THE AUTHORS

Ramil Rishadovich Vafin

Doctor of Biological Sciences, Professor of RAS, Scientific Consultant
vafin-ramil@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0914-0053>

Khamid Khalimovich Gilmanov

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
gilmanov.xx@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7053-6925>

Federal Scientific Centre VIEV,

24 Ryazan Ave., Moscow, 109428, Russia

УДК 633.11:631.82:69631.861

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-64-69

В.А. Лукьянов ✉

Т.А. Дудкина

Курский федеральный аграрный
научный центр, Курск, Россия

✉ lukyanov27@mail.ru

Поступила в редакцию: 22.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Лукьянов В.А., Дудкина Т.А.

Формирование биологического урожая озимой пшеницы при применении разных видов удобрений в Центрально-Чернозёмном регионе

РЕЗЮМЕ

В статье дана оценка влияния разных видов удобрений на запасы продуктивной влаги в почве, формирование биологической урожайности и структуру урожая озимой пшеницы в зернопропашном севообороте. Исследования выполняли в 2024 г. в стационарном научно-производственном опыте (Курская обл.) на черноземе типичном средне-суглинистом.

В севообороте чередовали следующие культуры: озимый рапс — озимая пшеница — кукуруза на зерно — яровой ячмень. Системы удобрений: минеральная («Азофоска 16:16:16» — N70P70K70), органоминеральная (органоминеральное удобрение на основе низинного торфа «Универсал 7-7-8») и органическая (органическое удобрение на основе птичьего помета «Биогран 5-4-4»). Варианты удобрений были эквивалентными по действующему веществу. Установлено, что как органические, так и органоминеральные удобрения способствовали повышению запасов влаги в почве. Внесение удобрений «Биогран 5-4-4» и «Универсал 7-7-8» повышало урожайность пшеницы в 1,9 и 1,8 раза, соответственно, по сравнению с контролем.

При использовании только минеральных удобрений рассматриваемый показатель возрастал в 1,5 раза. При применении органического удобрения отмечено увеличение количества продуктивных стеблей озимой пшеницы и массы 1000 зерен. Количество зерен в колосе наибольшим было в варианте с органоминеральным удобрением. Исследования показали, что применяемые в опыте органическое и органоминеральное удобрения при выращивании озимой пшеницы по урожайности культуры и качеству зерна были предпочтительнее минерального.

Ключевые слова: озимая пшеница, черноземные почвы, минеральные, органоминеральные, органические удобрения, агротехнологии

Для цитирования: Лукьянов В.А., Дудкина Т.А. Формирование биологического урожая озимой пшеницы при применении разных видов удобрений в Центрально-Чернозёмном регионе. *Аграрная наука*. 2025; 397 (08): 64–69.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-64-69>

Formation of biological yield of winter wheat using different types of fertilizers in the Central Chernozem region

ABSTRACT

The article provides an assessment of the influence of different types of fertilizers on the reserves of productive moisture in the soil, the formation of biological yields and the structure of the winter wheat crop in the grain crop rotation. The research was carried out in 2024 in a stationary scientific and production experiment (Kursk region) on typical medium-loamy chernozem. The following crops alternated in the crop rotation: winter rapeseed — winter wheat — corn for grain — spring barley. Fertilizer systems: mineral (“Azofoska 16:16:16” — N70P70K70), organomineral (organic fertilizer based on lowland peat “Universal 7-7-8”) and organic (organic fertilizer based on bird droppings “Biogran 5-4-4”). The fertilizer options were equivalent in terms of active substance. It was found that both organic and organomineral fertilizers contributed to an increase in soil moisture reserves. The application of fertilizers “Biogran 5-4-4” and “Universal 7-7-8” increased wheat yields by 1.9 and 1.8 times, respectively, compared with the control. When using only mineral fertilizers, the indicator in question increased 1.5 times. When using organic fertilizer, an increase in the number of productive winter wheat stalks and a weight of 1,000 grains was noted. The number of grains in the ear was greatest in the variant with organomineral fertilizer. Studies have shown that organic and organomineral fertilizers used in the experiment for growing winter wheat were preferable to mineral fertilizers in terms of crop yield and grain quality.

Key words: winter wheat, chernozem soils, mineral, organomineral, organic fertilizers, agricultural technologies

For citation: Lukyanov V.A., Dudkina T.A. Formation of biological yield of winter wheat using different types of fertilizers in the Central Chernozem region. *Agrarian science*. 2025; 397 (08): 64–69 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-64-69>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-64-69

Vyacheslav A. Lukyanov ✉

Tatyana A. Dudkina

Federal Agricultural Kursk
Research Center, Kursk, Russia

✉ lukyanov27@mail.ru

Received by the editorial office: 22.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Lukyanov V.A., Dudkina T.A.

Введение/Introduction

Озимая пшеница относится к стратегическим и самым востребованным на мировом рынке культурам, потенциальные возможности которой по урожайности превышают 10 т/га. Такие высокие показатели пшеница способна формировать только на фоне совокупности многих факторов, в числе которых важную роль играет достаточная обеспеченность почвы элементами питания. С другой стороны, актуальным вопросом остается получение высоких урожаев именно с применением биологизированных агротехнологий, чтобы снизить нагрузку на окружающую природную среду [1–3].

За последние 5 лет органическое сельское хозяйство приобретает высокую актуальность, поскольку оно может способствовать смягчению последствий изменения климата за счет сокращения выбросов парниковых газов и накопления углерода в почве. С учетом лучшего питания почвы и активизации деятельности микроорганизмов органическое земледелие считается более устойчивым к неблагоприятным климатическим условиям, чем традиционное сельское хозяйство [4–6].

Согласно Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации¹, для управления аграрным производством требуется кардинальное изменение существующей системы: необходимо обеспечить продовольственную безопасность в неразрывной связи с такими важными агроприемами, как восстановление плодородия почв и их рациональное использование, увеличить объемы экспортируемой продукции и темпы развития органического сельского хозяйства. Успешное выполнение таких важных задач требует проведения дополнительных фундаментальных исследований.

В исследованиях И.И. Гуреева *и др.* [7] в условиях длительного стационарного опыта в 1987–2020 гг. отмечается, что в Центрально-Черноземном регионе ведение растениеводства осуществлялось путем использования естественного плодородия черноземов без разработки мер по его стабилизации. Было показано, что наиболее эффективными стали зернотравяные и зернотравянопропашные севообороты с содержанием гумуса 5,50–5,65%, что на 0,15% выше, чем в зернопаропропашном. С учетом обозначенной проблемы важными направлениями (в том числе и для достижения высокой урожайности сельскохозяйственных культур) являются разработка биологизированных севооборотов и применение разных видов органических удобрений [8–10].

Н.П. Бакаева *и др.* сообщают [11], что пора признать необходимость проведения сравнительных исследований для оценки влияния различных видов минеральных и органических удобрений на качество зерна. Авторами установлено, что из всех применяемых удобрений, навоз, в количестве

40 т/га наиболее эффективен, органические удобрения обеспечили наибольшее содержание белка — 14,6% и 14,8 %, соответственно, от сухой и жидкой формы.

В условиях изменения климата подчеркивается важность роли агрофизических свойств почвы, потому как сочетание влаги и тепла формирует основу для развития растений, и так как они нестабильны, то вопрос увеличения запасов влаги в почве требует разработки новых решений по данной проблеме. Более того, если рассматривать погодные условия как фактор, который влияет на развитие сельскохозяйственных культур, то во многих случаях его влияние даже преобладает над фактором системы питания, защитой растений или семенным материалом [12].

В работе В.А. Шевченко *и др.* [13] показано, что использование органических отходов свиноплекаса обеспечивало снижение кислотности почвы, поскольку они имеют щелочную реакцию, что положительно повлияло на динамику кислотности почвенной среды и уровень закрепления органического вещества, за ротацию севооборота происходило снижение pH на 0,38 ед., а от твердой фракции навоза — на 0,42 ед.

Таким образом, с учетом актуальности обозначенных выше проблем цель исследований заключалась в оценке влияния разных видов удобрений на запасы продуктивной влаги в почве, формирование биологической урожайности и структуры урожая озимой пшеницы в зернопропашном севообороте Центрально-Черноземного региона.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в стационарном полевом опыте ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (с. Панино, Курская обл., Россия) в 2023–2024 гг. по влиянию разных видов удобрений на запасы продуктивной влаги, урожайность и структуру урожая озимой пшеницы (табл. 1).

Минеральные удобрения (МУ) $N_{70}P_{70}K_{70}$ (вариант 2), гранулированное органоминеральное удобрение (ОМУ) на основе низинного торфа «Универсал 7-7-8» (вариант 3) и гранулированное

Таблица 1. Схема проведения исследований

Table 1. Research scheme

Варианты опыта	Дозы удобрений
1. Контроль	без удобрений
2. Минеральное удобрение «Азофоска» (ПАО «Акрон»)	$N_{70}P_{70}K_{70}$ кг д. в. / га
3. Гранулированное органоминеральное удобрение «Универсал 7-7-8» на основе низинного торфа (ОАО «Буйский химический завод»)	1 т/га
4. Гранулированное органическое удобрение «Биогран 5-4-4» на основе птичьего помета (ООО «Биогран»)	1,4 т/га

¹ Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года. <https://docs.cntd.ru/document/351735594>

органическое удобрение (ОУ) на основе птичьего помета «Биогран 5-4-4» (вариант 4) вносились разбросным способом под основную обработку почвы. Удобрения, применяемые в опыте, были эквивалентны по действующему веществу (д. в.).

Площадь опытной делянки — 300 м². Принято следующее чередование культур в зернопаровом севообороте: рапс озимый (*Brassica napus* L.) — озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) — кукуруза на зерно (*Zea mays* L.) — ячмень (*Hordeum vulgare* L.).

Почва — чернозем типичный среднесуглинистый с содержанием в слое почвы 0–20 см гумуса (5,23%), щелочногидролизующего азота (15,6 мг/100 г), подвижного фосфора (13,0 мг/100 г), обменного калия (17,7 мг/100 г почвы), рН_{KCl} — 5,6.

Для оценки условий увлажнения применяли гидротермический коэффициент (ГТК) Т.Г. Селянинова². Влажность почвы в слое 0–100 см определяли термостатно-весовым методом по ГОСТ 28268³, запасы продуктивной влаги — расчетным способом⁴.

Определение биологической урожайности озимой пшеницы и структуры урожая проводили в соответствии с «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур»⁵. Для этого по диагонали каждой делянки с применением рамки 50 × 50 см (0,25 кв. м) в 4-кратной повторности в фазу полной спелости были отобраны растения с корневой системой и сформированы снопы.

В ходе снопового анализа определяли общее количество растений, общее количество стеблей, количество продуктивных стеблей, количество зерен в колосе главного стебля и массу 1000 зерен (ГОСТ 10842)⁶.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Statistica 10 (StatSoft Inc., США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В период вегетации озимой пшеницы осенью 2023 года и весной — летом 2024 года был повышен температурный режим, наблюдали некоторый дефицит осадков. Основное развитие растений культуры проходило в весенне-летний период, условия которого можно охарактеризовать как слабо засушливые (ГТК = 1,0).

Гидротермический коэффициент по Т.Г. Селянину в апреле составил 1,41 (условия достаточно влажные), в мае и июне — 1,07 и 0,98 соответственно (условия слабо засушливые), в июле — 0,53 (условия очень засушливые) (рис. 1).

Содержание достаточного количества продуктивной влаги в почве, особенно в начале вегетации растений, способствует получению хорошего урожая сельскохозяйственных культур. Была проведена оценка изменений продуктивной влаги в зависимости от изучаемых факторов — минеральных, органоминеральных и органических удобрений (рис. 2).

В посевах озимой пшеницы запасы влаги в метровом слое почвы варьировали в интервале 151–162 мм, что можно оценить как хорошие. Применение минеральных удобрений в опыте не повлияло на исследуемый показатель, запасы влаги в почве были на уровне неудобренного контроля. Применение органических удобрений как в сочетании с минеральными, так и отдельно положительно влияло на водный режим почвы.

Рис. 1. Гидротермический коэффициент за вегетационный период выращивания озимой пшеницы

Fig. 1. Hydrothermal coefficient for the growing season of winter wheat

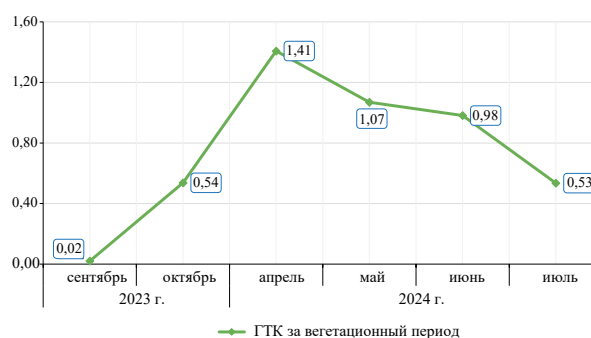
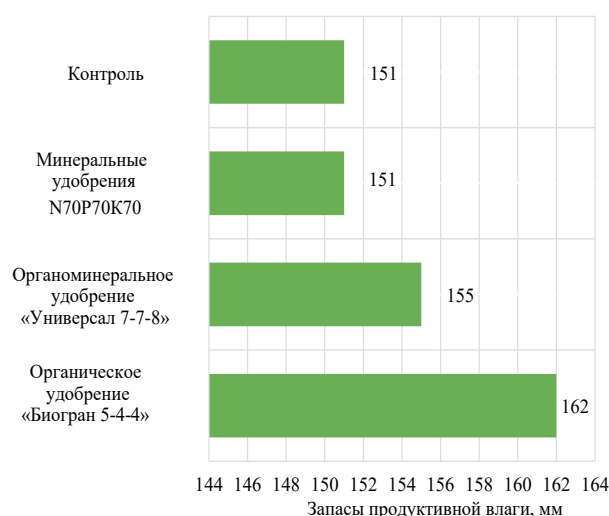


Рис. 2. Запасы весенней продуктивной влаги в слое почвы 0–100 см в зависимости от применяемых удобрений при возделывании озимой пшеницы. 2024 г.

Fig. 2. Reserves of spring productive moisture in the soil layer of 0–100 cm depending on the fertilizers used in winter wheat cultivation. 2024



² Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология. М.: Колос. 2001; 368.

³ ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений.

⁴ Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы. М.: Агропромиздат. 1986; 416.

⁵ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Москва. 1989; 194.

⁶ ГОСТ 10842-89 Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур.

Наибольший эффект был получен при внесении органического удобрения «Биогран 5-4-4», в результате применения которого запасы влаги в исследуемом слое почвы были выше, чем в контроле, на 7,3%. С использованием органоминерального удобрения «Универсал 7-7-8» запасы продуктивной влаги относительно контрольного варианта увеличились на 2,6%. Полученные данные показывают, что как органические, так и органоминеральные удобрения способны удерживать влагу в почве, создавая благоприятные условия для растений.

Главным показателем, позволяющим оценить положительные действия тех или иных агрономических приемов, в частности применения различных видов удобрений, является урожайность выращиваемых культур. На рисунке 3 представлены данные по биологической урожайности озимой пшеницы и элементам структуры урожая по изучаемым вариантам опыта.

Наибольшая биологическая урожайность озимой пшеницы в опыте достигнута при использовании органического удобрения «Биогран 5-4-4», что в 1,9 раза больше, чем в контрольном варианте. Несколько уступал ему вариант с удобрением «Универсал 7-7-8», при использовании которого урожайность озимой пшеницы возрастала в 1,8 раза по сравнению с контролем. Использование только минеральных удобрений позволило повысить рассматриваемый показатель в 1,5 раза.

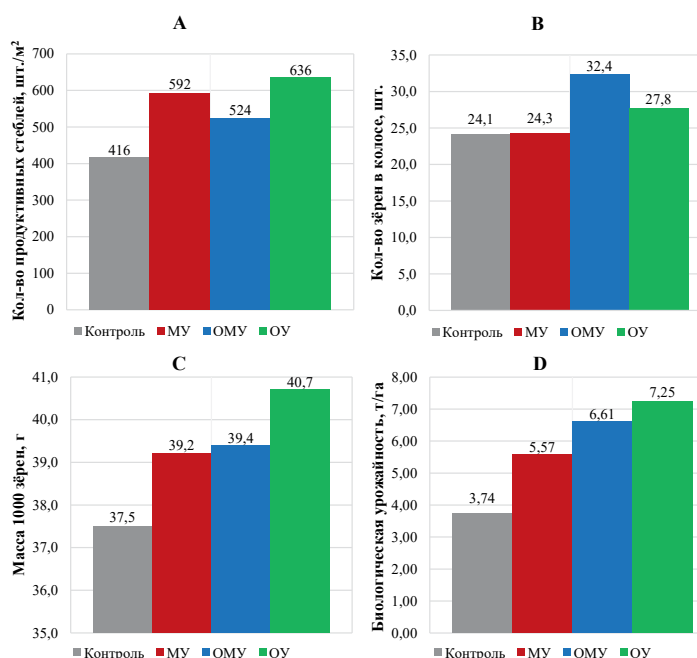
Сходные результаты получены в полевых опытах других исследователей. Так, по данным, полученным в Среднем Поволжье [14], все изучаемые виды органических удобрений обеспечили прибавку урожая озимой пшеницы при внесении: навоза — на 0,35 т/га, жидкого органического удобрения и биогумуса — на одинаковую величину (0,33 т/га), сухого органического удобрения — на 0,31 т/га.

В исследованиях Курского ФАНЦ в длительном полевом опыте (1992–2015 гг.) изучали различные нормы внесения органических удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур: в зависимости от уровня удобренности 6 т/га и 12 т/га + $N_{37}P_{37}K_{37}$ на 1 га севооборота урожайность озимой пшеницы возрастала в 1,2 раза [15].

Исследователи из Курского государственного аграрного университета⁷, изучающие проблему перехода к биологическому земледелию, считают, что система удобрений должна строиться в первую очередь на использовании элементов питания растительного происхождения. Минеральные удобрения тоже могут применяться, но в ограниченных объемах. Основными составляющими системы удобрения в биологическом земледелии

Рис. 3. Элементы структуры урожая с применением разных видов удобрений (А — количество продуктивных стеблей, В — количество зерен в колосе, С — масса 1000 зерен, D — биологическая урожайность)

Fig. 3. Elements of the crop structure using different types of fertilizers (A — the number of productive stems, B — the number of grains per ear, C — the mass of 1000 grains, D — biological yield)



будут отходы сельскохозяйственного и промышленного производства (навоз, помет, фекалии, древесные отходы), побочная, нетоварная продукция сельскохозяйственных культур, сидерация при выращивании промежуточных культур и в парах.

Вариант с применением органического удобрения «Биогран 5-4-4» отличался наибольшим количеством продуктивных стеблей озимой пшеницы — на 220 шт./м² больше, чем в контрольном варианте. Минеральные и органоминеральные удобрения повышали этот показатель, но в меньшей степени — соответственно, на 176 шт./м² и 108 шт./м².

В вариантах с органоминеральными и органическими удобрениями в условиях черноземных почв было отмечено большее количество зерен в колосе. В контрольном варианте и с минеральными удобрениями данный показатель был минимальным — 24,1 шт. и 24,3 шт. соответственно. Их количество увеличивалось до 32,4 шт. с применением удобрения «Универсал 7-7-8», до 27,8 шт. — «Биогран 5-4-4».

Улучшение питательного режима почвы в результате использования разных видов удобрений в опыте положительно сказалось на массе 1000 зерен озимой пшеницы. Этот показатель при внесении органического удобрения «Биогран 5-4-4» возрастал на 8,5%, органоминерального удобрения «Универсал» — на 5,1%, минеральных удобрений — на 4,5%.

⁷ Картамышев Н.И., Чернышева Н.М., Балабанов С.С., Долгополова Н.В. Основы биологического земледелия. Курск: Изд-во Курской ГСХА. 2009; 43.

Выводы/Conclusions

1. Внесение в почву гранулированных органических и органоминеральных удобрений по сравнению с контролем и азотной способствовало повышению запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на 7,3% с удобрением «Биогран 5-4-4», на 2,6% — «Универсал 7-7-8».

2. Использование удобрения «Биогран 5-4-4» в условиях черноземных почв позволило в большей степени оказать влияние на формирование продуктивных стеблей — 636 шт/м². Количество зерен в колосе увеличивалось с применением органического и органоминерального удобрения на 4–8 шт. соответственно. С применением удобрения «Биогран 5-4-4» тенденция улучшения показателей качества сохранялась: масса 1000 зерен составила 40,7 г, с минеральным и органоминеральным удобрениями — практически не различалась.

3. В ходе исследований было показано преимущество выращивания озимой пшеницы с применением гранулированных органических и органоминеральных удобрений по сравнению с минеральными. Лучшим был вариант с внесением органического удобрения «Биогран 5-4-4», на котором достигнута биологическая урожайность озимой пшеницы 7,25 т/га, что в 1,9 раза больше, чем в контроле без удобрений. С органоминеральным и минеральным удобрениями урожайность зерна снижалась, соответственно, до 6,61 т/га и 5,57 т/га.

4. Полученные данные показывают, что органические и органоминеральные виды удобрений при выращивании озимой пшеницы по урожайности культуры и качеству зерна были предпочтительнее, чем минеральные при их эквивалентном внесении по действующему веществу.

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

- Shi C., Liao A., Du C., Li L., Wan X., Liu Y. Optimal Effect of Substituting Organic Fertilizer for Inorganic Nitrogen on Yield and Quality of Winter Wheat under Drip Irrigation. *Agronomy*. 2024; 14(9): 2012. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092012>
- Bikmukhametov Z., Shakirov R., Sabirova R.M. Adaptive technologies for intensification of winter wheat grain production in biologized crop rotation. *BIO Web of Conferences*. 2020; 17: 00067. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700067>
- Тютюнов С.И. Комплексная оценка влияния многолетнего применения удобрений на основные показатели плодородия чернозема типичного. *Плодородие*. 2021; (3): 45–48. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.07>
- Cao H., Liu J., Ma S., Wu X., Fu Y., Gao Y. Selection of Suitable Organic Amendments to Balance Agricultural Economic Benefits and Carbon Sequestration. *Plants*. 2024; 13(17): 2428. <https://doi.org/10.3390/plants13172428>
- Vijaya Bhaskar A.V., Baresel J.P., Weedon O., Finckh M.R. Effects of ten years organic and conventional farming on early seedling traits of evolving winter wheat composite cross populations. *Scientific Reports*. 2019; 9: 9053. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45300-1>
- Hoang T.N. et al. Assessing Grain Yield and Achieving Enhanced Quality in Organic Farming: Efficiency of Winter Wheat Mixtures System. *Agriculture*. 2023; 13(5): 937. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050937>
- Гуреев И.И., Нитченко Л.Б., Лукьянов В.А., Прущик И.А. Урожайность озимой пшеницы и плодородие почвы в условиях Центрально-Чернозёмного региона. *Достижения науки и техники АПК*. 2021; 35(5): 22–27. <https://www.elibrary.ru/Invecx>
- Комелин А.М., Новоселов С.И. Влияние способов внесения жидкого органического удобрения на основе свиного навоза на урожайность и химический состав зерна озимой пшеницы. *Вестник Чувашского государственного аграрного университета*. 2023; (2): 41–45. <https://doi.org/10.48612/vch/bk2g-8apb-axkk>
- Bondar L., Makarenko N. Winter wheat growing in Ukraine: ecological assessment of technologies by the influence on soil fertility. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2020; 115(1): 67–78. <https://doi.org/10.14720/aas.2020.115.1.982>
- Panfilova A., Gamayunova V., Smirnova I. Influence of fertilizing with modern complex organic-mineral fertilizers to grain yield and quality of winter wheat in the southern steppe of Ukraine. *Journal of Agricultural Science*. 2020; 31(2): 196–201. <https://doi.org/10.15159/jas.20.28>
- Бакаева Н.П. Белково-протеазный комплекс зерна в агротехнологии озимой пшеницы при применении минеральных и органических удобрений. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018; (4): 71–76. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-71-76>

REFERENCES

- Shi C., Liao A., Du C., Li L., Wan X., Liu Y. Optimal Effect of Substituting Organic Fertilizer for Inorganic Nitrogen on Yield and Quality of Winter Wheat under Drip Irrigation. *Agronomy*. 2024; 14(9): 2012. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092012>
- Bikmukhametov Z., Shakirov R., Sabirova R.M. Adaptive technologies for intensification of winter wheat grain production in biologized crop rotation. *BIO Web of Conferences*. 2020; 17: 00067. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700067>
- Tutyunov S.I. Comprehensive assessment of the long-term use of fertilizers on the main indicators of the fertility of typical chernozem. *Plodородie*. 2021; (3): 45–48 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.07>
- Cao H., Liu J., Ma S., Wu X., Fu Y., Gao Y. Selection of Suitable Organic Amendments to Balance Agricultural Economic Benefits and Carbon Sequestration. *Plants*. 2024; 13(17): 2428. <https://doi.org/10.3390/plants13172428>
- Vijaya Bhaskar A.V., Baresel J.P., Weedon O., Finckh M.R. Effects of ten years organic and conventional farming on early seedling traits of evolving winter wheat composite cross populations. *Scientific Reports*. 2019; 9: 9053. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45300-1>
- Hoang T.N. et al. Assessing Grain Yield and Achieving Enhanced Quality in Organic Farming: Efficiency of Winter Wheat Mixtures System. *Agriculture*. 2023; 13(5): 937. <https://doi.org/10.3390/agriculture13050937>
- Gureev I.I., Nitchenko L.B., Lukyanov V.A., Prushchik I.A. Winter wheat yield and soil fertility under conditions of the Central Chernozem region. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2021; 35(5): 22–27 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/Invecx>
- Komelin A.M., Novoselov S.I. Influence of methods of applying liquid organic fertilizer based on pig manure on the yield and chemical composition of winter wheat grain. *Vestnik Chuvash SAU*. 2023; (2): 41–45 (in Russian). <https://doi.org/10.48612/vch/bk2g-8apb-axkk>
- Bondar L., Makarenko N. Winter wheat growing in Ukraine: ecological assessment of technologies by the influence on soil fertility. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2020; 115(1): 67–78. <https://doi.org/10.14720/aas.2020.115.1.982>
- Panfilova A., Gamayunova V., Smirnova I. Influence of fertilizing with modern complex organic-mineral fertilizers to grain yield and quality of winter wheat in the southern steppe of Ukraine. *Journal of Agricultural Science*. 2020; 31(2): 196–201. <https://doi.org/10.15159/jas.20.28>
- Bakaeva N.P. Protein-proteasic grain complex in winter wheat agrotechnology in case of application of mineral and organic fertilizers. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018; (4): 71–76 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-71-76>

12. Лукьянов В.А., Прущик И.А. Влияние агротехнологий и способов основной обработки на агрофизические свойства чернозема типичного в Центрально-Чернозёмном регионе России. *Аграрная наука*. 2022; (6): 70–75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-70-75>

13. Шевченко В.А., Соловьев А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Влияние удобрений и способов их заделки на баланс органического вещества почвы при возделывании озимой пшеницы в условиях Верхневолжья. *Плодородие*. 2024; (1): 32–36. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2024.136.08>

14. Бакаева Н.П., Запрометова Л.В. Агротехнология возделывания озимой пшеницы при применении новых органических удобрений на высокую продуктивность и белковость. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022; (2): 30–37. https://doi.org/10.55471/19973225_2022_7_2_30

15. Акименко А.С., Свиридов В.И., Дудкина Т.А., Вавин В.Г. Зерновая продуктивность свекловичных севооборотов в зависимости от степени биологизации в условиях Центрального Черноземья. *Земледелие*. 2022; (3): 12–18. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-3-12-16>

12. Lukyanov V.A., Prushchik I.A. The influence of agrotechnologies and methods of basic tillage on the agrophysical properties of typical chernozem in the Central Chernozem region. *Agrarian science*. 2022; (6): 70–75 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-70-75>

13. Shevchenko V.A., Solovyov A.M., Bondareva G.I., Popova N.P. Influence of fertilizers and methods of their inclusion on the balance soil organic matter during cultivation winter wheat in the conditions of the Upper Volga region. *Plodorodie*. 2024; (1): 32–36 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2024.136.08>

14. Bakaeva N.P., Zaprometova L.V. Agrotechnology of winter wheat cultivation due to new organic fertilizers for high productiveness and protein content. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2022; (2): 30–37 (in Russian). https://doi.org/10.55471/19973225_2022_7_2_30

15. Akimenko A.S., Sviridov V.I., Dudkina T.A., Vavin V.G. Grain productivity of beet crop rotations depending on the degree of biologization in the Central Chernozem region. *Zemledelie*. 2022; (3): 12–18 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-3-12-16>

ОБ АВТОРАХ

Вячеслав Анатольевич Лукьянов

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
lukyanov27@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1764-4083>

Татьяна Алексеевна Дудкина

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
dt5dt@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1116-4548>

Курский федеральный аграрный научный центр,
ул. им. Карла Маркса, 70Б, Курск, 305021, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Vyacheslav Anatolyevich Lukyanov

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
lukyanov27@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1764-4083>

Tatyana Alekseevna Dudkina

Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
dt5dt@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1116-4548>

Federal Agricultural Kursk Research Center,
70B Karl Marks Str., Kursk, 305021, Russia



22-24
октября
2025

● ЖИВОТНОВОДСТВО

● ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

● РАСТЕНИЕВОДСТВО

● КОРМОПРОИЗВОДСТВО

● ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

● ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ. НАПИТКИ.
ОБОРУДОВАНИЕ. HoReCa

● СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА

● ПЕРЕРАБОТКА И ЭКСПОРТ

● ВЕТЕРИНАРНЫЙ КОНГРЕСС

● СЪЕЗД ФЕРМЕРОВ

НАСЫЩЕННАЯ ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА

Место проведения: г. Новокузнецк, ул. Автотранспортная, 51,
ВК «Кузбасская ярмарка», тел: +7 (3843) 32-11-16, 8-951-587-9690
www.kuzbass-fair.ru



О.В. Балун

Е.П. Шкодина ✉

С.Ю. Жукова

В.А. Яковлева

Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ — филиал СПб ФИЦ РАН), дер. Борки, Новгородская обл., Россия

✉ kriempereoal@mail.ru

Поступила в редакцию: 28.03.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Балун О.В., Шкодина Е.П., Жукова С.Ю., Яковлева В.А.

Olga V. Balun

Elena P. Shkodina ✉

Svetlana Yu. Zhukova

Valentina A. Yakovleva

Novgorod Research Institute of Agriculture — Branch of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Borki, Novgorod Region, Russia

✉ kriempereoal@mail.ru

Received by the editorial office: 28.03.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Balun O.V., Shkodina E.P., Zhukova S.Yu., Yakovleva V.A.

Зависимость урожайности зеленой массы и продолжительности межфазных периодов сорговых интродуцентов от условий выращивания

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Для аграрного сектора северо-запада Нечернозёмной зоны грядущие изменения климата в сторону потепления имеют положительные характеристики. Однако необходимо своевременно корректировать ассортимент культурных растений, чтобы обеспечить продовольственную безопасность региона. Для кормопроизводства региона в качестве однолетних кормовых культур актуально введение в севообороты сорговых интродуцентов, обладающих высоким адаптационным потенциалом. Актуально определить основные закономерности влияния метеоусловий региона на рост, развитие и урожайность культур.

Материалы и методы. Исследования проводили в условиях Новгородской области на сорго сахарном Силосное 88 (гибрид 1-го поколения), сорго-суданковом гибриде Навигатор и суданской траве Землячка (линия) в 2016–2023 гг. Фенологические наблюдения и учеты проводили согласно методическим указаниям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами ВНИИ кормов, зависимости определяли с помощью Microsoft Excel методом регрессионного и корреляционного анализов.

Результаты. В процессе работы установлены следующие зависимости на первых этапах развития растений: сильная положительная, обуславливающая увеличение продолжительности межфазных периодов при увеличении суммы активных температур ($r = 0,93–0,99$) и количества осадков ($r = 0,72$); сильная отрицательная зависимость урожайности зеленой массы от количества осадков ($r = 0,71$) и средняя — от суммы активных температур ($r = 0,66$). Корреляционные связи коэффициента увлажнения (ГТК) с длительностью межфазных периодов и урожайностью зеленой массы не выявлены. Установлена тесная взаимосвязь между длительностью периода «всходы — кущение» и урожайностью зеленой массы. Таким образом, установлено, что сорговые культуры наиболее чувствительны к изменениям погодных условий на начальных этапах развития.

Ключевые слова: сумма температур, количество осадков, ГТК, регрессионный анализ, коэффициент корреляции

Для цитирования: Балун О.В., Шкодина Е.П., Жукова С.Ю., Яковлева В.А. Зависимость урожайности зеленой массы и продолжительности межфазных периодов сорговых интродуцентов от условий выращивания. *Аграрная наука*. 2025; 397 (08): 70–77.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-70-77>

The dependence of the yield of the green mass and the duration of the interphase periods of the introduced plants on the growing conditions

ABSTRACT

Relevance. For the agricultural sector in the north-west of the Non-Chernozem zone, the upcoming climate changes towards warming have positive characteristics. However, it is necessary to adjust the range of cultivated plants in a timely manner to ensure the food security of the region. For the fodder production of the region, it is important to introduce introduced species with high adaptive potential into crop rotations as annual fodder crops. It is important to determine the main patterns of the influence of the weather conditions of the region on the growth, development and yield of crops.

Materials and methods. The research was conducted in the Novgorod region on sorghum sugar Silage 88 (1st generation hybrid), sorghum-Sudanese hybrid Navigator and Sudanese grass Zemlyachka (line) in 2016–2023. Phenological observations and records were carried out according to the methodological guidelines for conducting field experiments with fodder crops of the All-Russian Research Institute of Feed, dependencies were determined using Microsoft Excel using regression and correlation analysis.

Results. In the course of the work, the following dependences were established at the first stages of plant development: a strong positive one, causing an increase in the duration of interphase periods with an increase in the sum of active temperatures ($r = 0.93–0.99$) and quantity precipitation ($r = 0.72$); a strong negative dependence of the yield of green mass on quantity precipitation ($r = 0.71$) and an average on the sum of active temperature ($r = 0.66$). Correlations of the hydrothermal coefficient (GTK) with the duration of interphase periods and the yield of green mass have not been revealed. A close relationship has been established between the duration of the “germination — tillering” period and the yield of the green mass. Thus, it has been established that sorghums cultures are most sensitive to changes in weather conditions at the initial stages of development.

Key words: sum of temperatures, quantity precipitation, GTC, regression analysis, correlation coefficient

For citation: Balun O.V., Shkodina E.P., Zhukova S.Yu., Yakovleva V.A. The dependence of the yield of the green mass and the duration of the interphase periods of the introduced plants on the growing conditions. *Agrarian science*. 2025; 397 (08): 70–77 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-70-77>

Введение/Introduction

Вопросы обеспечения населения качественным питанием в достаточном количестве во все времена рассматриваются на государственном уровне как первостепенные. После введения в отношении Российской Федерации санкций была разработана Доктрина Продовольственной безопасности¹, в которой отражены основные направления государственной политики в этой области (далее — Доктрина).

Показателем продовольственной безопасности является продовольственная независимость, определяемая как уровень самообеспечения населения производимой в стране сельхозпродукцией. В Доктрине приводятся индикаторы безопасности (процентное отношение производства к внутреннему потреблению) по 11 основным группам сельхозпродукции. Уровень независимости для мяса составляет не менее 85%, для молока и молочной продукции — не менее 90%.

По данным, приведенным в статье М.А. Положихиной [1], население страны полностью обеспечено сахаром и растительным маслом, уровень обеспеченности овощами и картофелем — 88–95%, мясной продукцией — 97% (соответствует индикаторам продовольственной безопасности). Потребление населением молока и молочной продукции составляет 234 кг/чел в год при рациональной норме 325 кг/чел, производство молочной продукции внутри страны — менее 84% самообеспечения, что ниже установленного показателя (90%).

Положительной динамики в молочном животноводстве не прослеживается, так как поголовье КРС молочного направления продолжает снижаться. На уровне правительства и регионов принимаются меры по исправлению ситуации, приняты ряд законов и постановлений².

Наибольший удельный вес в структуре всех затрат в животноводстве приходится на корма [2–4]. При производстве молока и мяса КРС на корма приходится 50–55% всех затрат, при производстве мяса птицы и яиц — 67–76%. Для снижения затрат необходимо обеспечить отрасль кормами собственного производства с низкой себестоимостью, а устойчивое повышение продуктивного потенциала животных возможно решить за счет формирования конкурентоспособной племенной и кормовой базы [5–8].

Проведенный анализ использования кормов в хозяйствах Новгородской области показал существенное завышение в рационах доли

концентрированных кормов, количество которых должно составлять до 20–30% от общей питательности рациона, а 70–80% — приходится на грубые и сочные корма [8]. Совершенствование рационов кормления и кормового баланса до рекомендуемых норм способствует снижению затрат при производстве мясо-молочной продукции.

К дисбалансу в рационах приводит дефицит зеленых кормов в позднелетний период, обусловленный ограниченным набором кормовых культур, а также климатическими изменениями. В Новгородской области за последние 70 лет среднегодовая температура увеличилась на 3 °С, сумма активных температур вегетационного периода > 10 °С — на 200 °С [7].

Вместе с тем ученые отмечают, что климат становится более контрастным и неустойчивым: если дожди — то ливневые и залповые, если ветры — то шквалистые. Засушливые периоды увеличиваются даже на северо-западе Нечерноземья (которое характеризуется как зона избыточного увлажнения)³. В целом же потепление климата для Нечерноземья явление скорее положительное, так как прогнозируется, что оно приведет к увеличению теплообеспеченности растений и запасов органики в почве⁴.

Производство объемистых и сочных кормов осуществляется с использованием традиционных культур, основу которых составляют многолетние травы, являющиеся самым дешевым источником кормов, под них отводятся около 40% площадей [6, 8, 9]. Для бесперебойного обеспечения кормосырьевого конвейера зеленой массой необходимо включать в ассортимент культуры с различными темпами роста и разных групп скороспелости. В условиях, когда частота возникновения опасных метеорологических явлений увеличивается, традиционные кормовые культуры зачастую неспособны адаптироваться под них (отава многолетних трав не отрастает для скашивания). Поэтому назрела необходимость в поиске альтернативных культур, адаптированных к засухе и нетребовательных к почвенному плодородию [10, 11].

Сорговые (сорго сахарное, суданская трава, сорго-суданковые гибриды) — культуры, которые дают высокие урожаи зеленой массы в засушливых условиях с высокой питательностью полученных из них кормов. В Северо-Кавказском и Нижневолжском регионах, в зоне интенсивного возделывания этих культур на различные цели (пищевые, кормовые, технические), их относят к страховым: они жаро- и засухоустойчивы, при

¹ Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20.

² Федеральный закон от 3 августа 1995 года № 123-ФЗ «О племенном животноводстве» (с изменениями и дополнениями), Закон Новгородской области от 27.10.2017 № 170-ОЗ О молочном животноводстве (принят Постановлением Новгородской областной Думы от 25.10.2017 № 328-ОД).

³ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. Москва. 2021; 104. https://psv4.userapi.com/s/v1/d/75slxHCouGuA_qWfN_MFm2AvpdHCorekaHqGhUpq0BcamlCMXiz5Tq9jgTIDjYx1fVsWz00fi0G_6ff-u-9UkccsJrTgqq9yzmXqlsDhwysUHIQ/doklad_klimat2020_-_Kopia.pdf (дата обращения: 04.03.2025).

⁴ Под редакцией Митина С.Г., Иванова А.Л. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0. М.: Издательство МБА. 2021; 400. DOI: 10.52479/9785604569429

выгорании кормовых трав во время раннелетней засухи они способны закрыть потребности в зеленой массе⁵ [12]. В регионах возделывания урожайность сорго сахарного на силос выше, чем у кукурузы, на 18–25%, а суданская трава по урожайности и питательности занимает первое место среди других злаковых трав [13].

Для традиционной зоны выращивания сорговых культур закономерности их роста, развития, способы и цели выращивания хорошо известны и научно обоснованы. Известно, что сорговые являются типичными растениями короткого дня, при длинном световом дне происходит замедление развития и, соответственно, увеличение продолжительности вегетационного периода [13].

Выявлены зависимости урожайности и качественных показателей от метеорологических условий. Так, исследованиями АНЦ «Донской» установлено, что увеличение осадков в период от всходов до первого укоса на 1 мм дает прибавку урожайности зеленой массы суданской травы 0,14 т/га с коэффициентом корреляции $0,89 \pm 0,22$, а увеличение суммы активных температур на 10 °C имеет отрицательную корреляционную связь и уменьшает урожайность на 0,06 т/га [14]. Впоследствии корреляционные зависимости подтверждены работами на суданской траве Алиса с $r = 0,78$ для суммы осадков и $r = -0,57$ для суммы температур [15].

В степной зоне наличие осадков в июне положительно коррелировало с урожайностью смеси однолетних трав ($r = 0,98$), а увеличение температур в это же время вызывало отрицательную связь с $r = -0,87$ [16]. В работах [17–19] изучены корреляционные связи биохимических показателей зерна проса посевного и сорго с метеорологическими показателями вегетационных периодов.

Агроэкологические испытания сорговых культур в условиях северо-западной зоны показали их высокую адаптивность и перспективность для укрепления кормовой базы Нечерноземья при выращивании на корм [10]. Однако свойства, закономерности и особенности роста и развития культур в условиях зоны, зависимость этих параметров от метеоусловий региона не изучены.

Цель исследования — установить зависимость урожайности зеленой массы и продолжительности межфазных периодов сорговых интродуцентов от метеоусловий вегетационных периодов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили на опытном поле Новгородского научно-исследовательского института сельского хозяйства — филиала Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра Российской академии наук в 2016–2023 гг.

Почвы участка дерново-подзолистые, легкосуглинистые среднекультуренные, содержание гумуса — 2,81–3,57%, подвижного калия (K_2O) — 101–229 мг/кг почвы, фосфора (P_2O_5) — 120–737 мг/кг, pH 5,1–6,6. Характеристика почв приводится по данным агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий Станцией агрохимической службы «Новгородская» (ФГБУ «САС «Новгородская», Россия) в 2020 г.

Эксперимент проводили на трех сорговых культурах: суданской траве (линия Землячка), сорго-суданковом гибриде Навигатор, сорго сахарном Силосное 88 (гибрид 1-го поколения) по Методике ВИК⁶.

Для определения влияния метеорологических факторов на продолжительность фаз развития и урожайность культур использовали методы регрессионного и корреляционного анализа по Б.А. Доспехову⁷ и программы Microsoft Excel (США).

Погодные условия за восемь лет опытных работ отличались большим разнообразием: вегетационные периоды четырех лет были избыточно влажными (ГТК > 1,6), трех лет — сухими (ГТК < 1,2), один вегетационный период характеризовался как достаточно влажный (ГТК = 1,37) (табл. 1). Расчет ГТК производился по методу Селянинова⁸.

Среднегодовая температура в регионе за восемь лет наблюдений была выше средней многолетней

Таблица 1. Метеорологические условия периода наблюдений (на основании данных по метеостанции Великий Новгород)⁹

Table 1. Meteorological conditions of the observation period (based on data from the Veliky Novgorod weather station)

Год	Метеопараметр				
	Среднегодовая температура, °C	Годовая сумма осадков, мм	Сумма температур более 10 °C	Сумма осадков за период с t > 10 °C	ГТК
2016	6,4	416	2408	416	1,73
2017	5,8	885	1813	481	2,65
2018	6,1	543	2001	274	1,37
2019	6,8	821	2232	392	1,76
2020	7,7	587	2305	253	1,10
2021	5,8	817	2092	404	1,93
2022	6,2	525	2379	232	0,98
2023	5,7	701	2428	241	0,99
Среднее	6,3	662	2207	336	1,56
Норма	5,7	605	2356	308	1,31

⁵ Капустин С.И., Володин А.Б. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур в засушливых условиях юга России. Учебно-методическое пособие. Ставрополь. 2022; 103.

⁶ Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИК. 1987; 197.

⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

⁸ Журина Л.Л., Лосев А.П. Агрометеорология: учебник. СПб.: Квадро. 2012; 368.

⁹ http://rp5.ru/Архив_погоды_в_Великом_Новгороде

на 0,6 °C (увеличение на 10,5%), а сумма осадков увеличилась по сравнению с нормой на 57 мм (9,4%). Сумма активных температур (выше 10 °C) в среднем за эти годы была ниже нормы на 149 °C, или на 6,3%, а количество осадков за этот же период превысило норму на 28 мм (9,1%). Распределение осадков и температуры в течение вегетационных периодов было очень неравномерным. Периоды высоких среднесуточных температур чередовались с волнами холодных воздушных течений, сезоны с дефицитом осадков наблюдались в различные временные периоды как с недостаточным, так и с избыточным увлажнением. За время наблюдений 2017 год был экстремальным по количеству выпавших за вегетационный период осадков с самой низкой суммой активных температур.

Таким образом, при общей тенденции к изменению климата суммы активных температур за период вегетации не увеличились, а даже уменьшились, что объясняется сокращением самого периода вегетации из-за поздневесенних и раннеосенних заморозков.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Сорговые культуры являются теплолюбивыми, необходимая сумма активных температур от посева до созревания в зоне традиционного возделывания — от 2000–2500 °C¹⁰ до 2500–3500 °C [20]. Как всходы, так и взрослые растения погибают при заморозках -1–3 °C. При выращивании на зеленый корм достаточно суммы температур 1400–1800 °C¹¹ [13]. По данным многочисленных источников, семена сорговых культур начинают прорастать при +8–10 °C, а оптимальными температурами в период роста и развития является диапазон +25–30 °C. Оптимальной для посева считается температура почвы +12–14 °C, поскольку посев в недостаточно прогретую почву приводит к изреживанию и задержке всходов. Всходы, пока идет формирование корневой системы, не переносят заморозков, чувствительны как к низким,

так и к высоким температурам — и те и другие оказывают на них угнетающее воздействие.

В годы исследований в условиях Новгородской области жизненный цикл растений оставался, как правило, незавершенным (табл. 2).

На момент наступления заморозков (05.09 — 21.10) все сорговые культуры в основном цвели, и только суданская трава Землячка в 2016–2017 гг. начала формировать семена, а в 2020 г. при благоприятных погодных условиях успела их сформировать.

Посев культур проводили при наступлении благоприятных погодных условий — с 15 по 30 мая. Нечерноземная зона относится к зоне рискованного земледелия, поэтому посев в оптимально прогретую почву не страхует от различного воздействия на них в последующем метеофакторов вегетационного периода. Так, период от посева до появления всходов в исследуемый промежуток времени составил в среднем 23–24 дня, в 2020 г. и 2021 г. всходы появились через две недели, в 2018-м — через 44 дня. Самый длительный период до всходов в 2018 г. был обусловлен чередованием низких положительных температур первой половины июня с высокими температурами второй половины месяца при отсутствии осадков.

В 2020 и 2021 годах условия для появления всходов были оптимальными. Понятно, что на длительность межфазных периодов сорговых культур значительное влияние оказывают метеорологические условия вегетационного периода. Поскольку сорговые культуры не являются типичными для зоны растениями, а проходят интродукцию в регион, возникает необходимость выяснить закономерности влияния в условиях региона метеорологических параметров (количества осадков, суммы активных температур > 10 °C, ГТК) на длительность межфазных периодов и урожайность зеленой массы сорговых культур. Для этого накопленные данные за вегетационные периоды подвергли математическому анализу.

Таблица 2. Даты наступления фаз развития сорговых культур и урожайность зеленой массы за 2016–2023 гг.

Table 2. Dates of the onset of sorghum crop development phases, green mass yield 2016–2023

Год	Фаза развития							Дата заморозка	Средняя урожайность сорговых культур, т/га
	посев	всходы	кущение	выход в трубку	выметывание	цветение	созревание		
2016	30.05	07–15.06	01–28.07	11.07 — 09.08	24.08	20.09	–	12.10	73
2017	22.05	07.06 — 05.07	04–18.07	24–28.07	04–21.09	21.09	–	21.10	21
2018	22.05	05.07	10–18.07	18–24.07	17.08 — 07.09	28.08 — 07.09	–	25.09	79
2019	15.05	06.06	24.06	05.07	19.08 — 11.09	11.09	–	18.09	55
2020	25.05	08.06	28–30.06	27.07 — 11.08	11–30.08	15.09	22.09 (с. тр. Землячка)	21.10	74
2021	25.05	9.06	30.06 — 07.07	15.07	12.08	26.08 — 07.09	–	17.09	67
2022	18.05	06.06	5.07	25.07	19–23.08	29.08	–	05.09	22
2023	23.05	13–27.06	24.07	08.08 — 11.09	21.08 — 26.09	28.08 — 09.10	–	10.10	24

Примечание: * растянутость наступления фаз развития растений связана с их биологическими особенностями.

¹⁰ Медведев П.Ф., Сметаникова А.И. Кормовые растения европейской части СССР. Справочник. Л.: Колос. 1981; 336.

¹¹ Капустин С.И., Володин А.Б. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур в засушливых условиях юга России. Учебно-методическое пособие. Ставрополь. 2022; 103.

Вычисление коэффициента корреляции и регрессионных уравнений показало, что на длину межфазных периодов большее влияние оказывает сумма активных температур. Наиболее тесная зависимость (с коэффициентом корреляции более 0,95) наблюдается в начале вегетации в межфазные периоды «посев — всходы», «всходы — кущение» и «кущение — выход в трубку», а также в период «посев — выход в трубку» и «всходы — выход в трубку» (табл. 3).

Тесная связь длины межфазных периодов с осадками с коэффициентом корреляции более 0,72–0,77 была отмечена только для двух межфазных периодов — «всходы — кущение» и «выход в трубку — кущение». Данные зависимости положительные и показывают, что с увеличением количества осадков межфазный период удлиняется. Тесной зависимости со степенью увлажненности (ГТК) отмечено не было (табл. 3).

Природно-климатические условия Новгородской области из-за недостатка тепла не позволяют получать семена сорговых культур, поэтому исследованиями предусмотрено выращивание сорговых культур в аспекте использования их в качестве кормовых культур для получения зеленой массы, идущей как непосредственно на корм скоту, так и на сено, сенаж, силос. Учет урожая проводили в фазу выметывания, которая наступала (в зависимости от года и культуры) с середины августа до конца сентября.

Каждый отдельно взятый метеопараметр в течение вегетационных периодов имеет различную степень влияния на урожайность сорговых культур. Корреляционный анализ зависимости урожайности от суммы осадков выявил наиболее сильное влияние наличия или отсутствия осадков на урожайность в межфазный период «всходы — кущение» с коэффициентом корреляции $r = 0,71$ (табл. 4).

Сумма осадков в данный межфазный период изменялась в широких пределах — от 25 до 116 мм. Уравнение зависимости урожайности сорговых культур от суммы осадков показало, что снижение количества осадков в данный период на 10 мм приводит к увеличению урожайности сорговых культур на 0,5 т/га.

В этот же период («всходы — кущение») была получена наиболее тесная отрицательная зависимость и с суммой температур (с коэффициентом корреляции

Таблица 3. Зависимость длительности межфазных периодов сорговых культур (у, сут.) от метеоусловий (х)

Table 3. Dependence of the duration of interphase periods of sorghums cultures (y, days) from weather conditions (x)

Межфазный период	сумма осадков, мм	Метеопараметр	
		сумма температур, °C	ГТК
Посев — всходы	$y = 0,23x + 13,81$ $R^2 = 0,16$	$y = 0,06x + 2,95$ $R^2 = 0,91$	$y = -5,57x + 29,71$ $R^2 = 0,15$
Всходы — кущение	$y = 0,15x + 15,00$ $R^2 = 0,52$	$y = 0,06x - 1,97$ $R^2 = 0,86$	$y = 2,95x + 19,80$ $R^2 = 0,04$
Кущение — выход в трубку	$y = 0,12x + 10,80$ $R^2 = 0,24$	$y = 0,06x + 0,26$ $R^2 = 0,96$	$y = -0,57x + 18,39$ $R^2 = 0,01$
Выход в трубку — выметывание	$y = 0,21x + 12,25$ $R^2 = 0,60$	$y = 0,04x + 8,77$ $R^2 = 0,35$	$y = 5,30x + 21,81$ $R^2 = 0,19$
Выметывание — цветение	$y = 0,05x + 16,63$ $R^2 = 0,13$	$y = 0,05x + 4,56$ $R^2 = 0,50$	$y = 0,64x + 18,20$ $R^2 = 0,02$
Посев — кущение	$y = 0,07x + 39,21$ $R^2 = 0,10$	$y = 0,07x - 3,32$ $R^2 = 0,77$	$y = -1,95x + 48,67$ $R^2 = 0,01$
Посев — выход в трубку	$y = 0,06x + 53,72$ $R^2 = 0,09$	$y = 0,06x + 2,46$ $R^2 = 0,85$	$y = -2,93x + 67,75$ $R^2 = 0,02$
Посев — выметывание	$y = 0,04x + 86,38$ $R^2 = 0,03$	$y = 0,04x + 27,12$ $R^2 = 0,22$	$y = -0,32x + 96,06$ $R^2 = 0,0001$
Посев — цветение	$y = 0,004x + 109,2$ $R^2 = 0,01$	$y = 0,03x + 58,15$ $R^2 = 0,16$	$y = -0,74x + 111,27$ $R^2 = 0,001$
Всходы — выход в трубку	$y = 0,14x + 25,38$ $R^2 = 0,35$	$y = 0,05x + 0,32$ $R^2 = 0,93$	$y = 2,08x + 38,41$ $R^2 = 0,01$
Всходы — выметывание	$y = 0,09x + 56,12$ $R^2 = 0,13$	$y = 0,04x + 46,21$ $R^2 = 0,19$	$y = -0,20x + 73,49$ $R^2 = 0,0002$
Всходы — цветение	$y = 0,05x + 76,26$ $R^2 = 0,09$	$y = 0,04x + 27,11$ $R^2 = 0,35$	$y = 3,10x + 82,58$ $R^2 = 0,02$

$r = 0,66$), которая изменялась в годы исследований от 223 °C до 645 °C. Полученное уравнение регрессии показало, что с увеличением суммы температур на 100 °C урожайность зеленой массы сорговых культур уменьшается на 12 т/га. С незначительно меньшей теснотой связи ($r = 0,65$) получена зависимость урожайности зеленой массы сорговых культур от суммы температур за период «всходы — выметывание». Уравнение зависимости показало, что при увеличении суммы температур на 100 °C урожайность зеленой массы уменьшается на 9 т/га. Сумма температур за

Таблица 4. Зависимость урожайности сорговых культур (т/га) от метеопараметров и длительности фазы развития

Table 4. Dependence of sorghums cultures crop yields (t/ha) on meteorological parameters and duration of the development phase

Фаза	Метеопараметр			Длина фазы, сут.
	сумма осадков, мм	сумма температур, °C	ГТК	
Посев — всходы	$y = 0,51x + 38,05$ $R^2 = 0,03$	$y = 0,06x + 35,36$ $R^2 = 0,12$	$y = -3,80x + 56,00$ $R^2 = 0,01$	$y = 0,38x + 43,75$ $R^2 = 0,02$
Всходы — кущение	$y = -0,55x + 79,61$ $R^2 = 0,51$	$y = -0,12x + 103,13$ $R^2 = 0,44$	$y = -19,94x + 74,46$ $R^2 = 0,18$	$y = -2,43x + 108,89$ $R^2 = 0,72$
Кущение — выход в трубку	$y = -0,43x + 70,91$ $R^2 = 0,17$	$y = -0,05x + 67,64$ $R^2 = 0,10$	$y = 1,87x + 48,77$ $R^2 = 0,01$	$y = -0,84x + 66,12$ $R^2 = 0,08$
Выход в трубку — выметывание	$y = -0,04x + 54,3344$ $R^2 = 0,01$	$y = 0,02x + 40,05$ $R^2 = 0,02$	$y = -7,41x + 59,67$ $R^2 = 0,01$	$y = -0,48x + 66,91$ $R^2 = 0,04$
Посев — кущение	$y = -0,29x + 79,35$ $R^2 = 0,20$	$y = -0,06x + 96,21$ $R^2 = 0,11$	$y = -10,07x + 65,44$ $R^2 = 0,06$	$y = -1,28x + 110,16$ $R^2 = 0,30$
Посев — выход в трубку	$y = -0,17x + 78,10$ $R^2 = 0,25$	$y = 0,0001x + 51,75$ $R^2 = 0,01$	$y = -6,83x + 61,10$ $R^2 = 0,06$	$y = -0,97x + 112,45$ $R^2 = 0,33$
Посев — выметывание	$y = -0,08x + 71,34$ $R^2 = 0,10$	$y = -0,05x + 129,5$ $R^2 = 0,12$	$y = -7,46x + 63,45$ $R^2 = 0,04$	$y = -0,92x + 138,84$ $R^2 = 0,45$
Всходы — выход в трубку	$y = -0,19x + 74,83$ $R^2 = 0,28$	$y = -0,05x + 87,66$ $R^2 = 0,28$	$y = -1,80x + 55,27$ $R^2 = 0,01$	$y = -1,08x + 95,74$ $R^2 = 0,44$
Всходы — выметывание	$y = -0,09x + 70,53$ $R^2 = 0,12$	$y = -0,09x + 171,3$ $R^2 = 0,42$	$y = -4,30x + 59,18$ $R^2 = 0,02$	$y = -1,05x + 128,54$ $R^2 = 0,58$

данный межфазный период в Новгородской области изменялась от 980 до 1470 °С и в среднем за 8-летний период наблюдений составила 1280 °С.

Степень увлажнения (ГТК) в периоды роста сорговых культур не оказала существенного влияния на уровень урожайности, кроме межфазного периода «всходы — кущение» со средней теснотой связи $r = 0,42$.

Более сильное влияние (по сравнению с метеорологическими параметрами) на урожайность зеленой массы сорговых культур оказала продолжительность межфазных периодов. Наиболее тесная связь была отмечена в фазу «всходы — кущение» ($r = 0,85$). Длительность данной фазы в среднем составляет 23 дня с диапазоном изменения 10–36 суток. Урожайность зеленой массы сорговых культур увеличивается на 2,3 т/га при уменьшении длительности данного межфазного периода на сутки. Тесная связь обнаружена между урожайностью и длительностью периода «всходы — выметывание» ($r = 0,76$), которая указывает на увеличение урожайности зеленой массы на 10 т/га при сокращении данного периода на 10 суток при среднем его значении 70 суток.

Выводы/Conclusions

Исследованиями, проведенными на сорго сарнах, суданской траве и сорго-суданковом

гибриде в 2016–2023 гг., установлена степень влияния метеопараметров на урожайность и продолжительность межфазных периодов. Установлена сильная зависимость длительности первых этапов развития культур от наличия осадков и суммы активных температур, слабая — длительности периодов от всходов до выметывания и цветения. Установлено, что уровень урожайности больше зависит от длительности межфазных периодов, чем от метеоусловий вегетационного периода.

Длительность межфазных периодов имеет тесную корреляционную связь с суммой температур в межфазные периоды от всходов до выхода в трубку с коэффициентом корреляции $r = 0,93-0,99$ и с суммой осадков в межфазные периоды «всходы — кущение» ($r = 0,72$) и «выход в трубку — выметывание» ($r = 0,77$).

Уровень урожайности зеленой массы сорговых культур находится в тесной отрицательной зависимости от суммы осадков и суммы температур в межфазный период «всходы — кущение» с коэффициентом корреляции $r = 0,66-0,71$ и не зависит от условий увлажнения (ГТК).

На урожайность зеленой массы сорговых культур большое влияние оказала длительность межфазных периодов «всходы — кущение» ($r = 0,85$) и «всходы — выметывание» ($r = 0,76$).

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 при поддержке Министерства науки и образования в рамках государственного задания (тема FFZF-2025-0009, рег. № НИОКР 1022041500149-1).

FUNDING

The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Education within the framework of a state assignment (topic FFZF-2025-009, registration number research and development work 1022041500149-1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Положихина М.А. Продовольственная безопасность России в условиях изменения климата. *Экономические и социальные проблемы России*. 2021; (1): 45–65. <https://doi.org/10.31249/espr/2021.01.03>
2. Михайлова Л.Р., Лаврентьев А.Ю., Шерне В.С. Рожьсодержащие комбикорма в рационе бычков на доращивании. *Аграрная наука*. 2022; 360(6): 37–42. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-37-42>
3. Крупин Е.О., Шакиров Ш.К. Изменения отдельных диагностических маркеров углеводного, липидного и минерального обмена веществ у дойных коров, обусловленные кормлением. *Аграрная наука*. 2023; 367(2): 30–34. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-30-34>
4. Крупин Е.О., Шакиров Ш.К., Хашимов Р.И. Изменение качественных показателей молока коров в зависимости от скармливания кормовой добавки в различных дозах. *Аграрная наука*. 2024; 385(8): 61–66. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-61-66>
5. Буяров В.С., Комоликова И.В., Буяров А.В. Развитие животноводства и птицеводства России в условиях импортозамещения. Орел: Изд-во Орловского ГАУ. 2024: 204. ISBN 978-5-93382-384-1 <https://www.elibrary.ru/hkdkbg>
6. Бевз С.Я., Тошкина Е.А. Структура посевных площадей в системе ресурсосберегающего сырьевого конвейера. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2022; (4): 122–130. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-4-122-130>

REFERENCES

1. Polozhikhina M.A. Food security in Russia in the context of climate change. *Economic and social problems of Russia*. 2021; (1): 45–65 (in Russian). <https://doi.org/10.31249/espr/2021.01.03>
2. Mikhailova L.R., Lavrentiev A.Yu., Sherne V.S. Rye containing compound feeds in the diet of bulls on rearing. *Agrarian science*. 2022; 360(6): 37–42 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-37-42>
3. Krupin E.O., Shakirov Sh.K. Changes in individual diagnostic markers of carbohydrate, lipid and mineral metabolism in dairy cows due to feeding. *Agrarian science*. 2023; 367(2): 30–34 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-367-2-30-34>
4. Krupin E.O., Shakirov Sh.K., Khashimov R.I. Changes in the quality indicators of cow's milk depending on feeding the feed additive in different doses. *Agrarian science*. 2024; 385(8): 61–66 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-61-66>
5. Buyarov V.S., Komolikova I.V., Buyarov A.V. Development of animal husbandry and poultry farming in Russia in the context of import substitution. *Orel: Orel State Agrarian University*. 2024: 204 (in Russian). ISBN 978-5-93382-384-1 <https://www.elibrary.ru/hkdkbg>
6. Bevs S.Ya., Toshkina E.A. Structure of sowing area in the system of resource-saving raw material conveyor. *Izvestiya Saint-Petersburg state agrarian university*. 2022; (4): 122–130 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2022-4-122-130>

7. Балун О.В., Яковлева В.А. Влияние способа осушения на водно-воздушный режим мелиорируемых почв. *Современные тенденции в научном и кадровом обеспечении АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Великий Новгород: Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого. 2020; 272–277. <https://www.elibrary.ru/bjvbut>
8. Пак Л.Н., Иванов Д.А., Рублюк М.В. Многолетние травы семейства бобовых (*Fabaceae* L.) как основная база развития кормопроизводства Нечерноземья (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024; 25(5): 754–769. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.754-769>
9. Косолапов В.М., Чернявских В.И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В.П. Вильямса» в их решении. *Достижения науки и техники АПК*. 2022; 36(4): 5–14. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_5
10. Shkodina E.P., Balun O.V., Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. Ecological variety trial of annual forage crops in the Novgorod region. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2022; 12(2): 337–344. <https://doi.org/10.31407/ijees12.204>
11. Зенькова Н.Н., Шлома Т.М., Ковалёва И.В. Продуктивность и кормовая ценность сорговых культур в Витебской области. *Наше сельское хозяйство*. 2022; (6): 40–45. <https://www.elibrary.ru/gjsckx>
12. Кибальник О.П., Семин Д.С. Биоэнергетическая оценка исходного материала сахарного сорго при использовании на силос. *Кормопроизводство: вчера, сегодня, завтра. Сборник Всероссийской научно-практической конференции*. Новосибирск: Золотой колос. 2022; 5–8. <https://www.elibrary.ru/zyquqs>
13. Капустин А.С., Капустин С.И., Кухарук М.Ю. Ботанические и биологические особенности суданской травы в засушливых условиях Северного Кавказа. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*. 2023; (5): 117–126. <https://www.elibrary.ru/wuzusg>
14. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В., Шишова Е.А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2016; (3): 39–40. <https://www.elibrary.ru/wzbnsp>
15. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В., Романюкин А.Е., Ермолина Г.М. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022; 23(3): 334–342. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>
16. Теличко О.Н., Клочкова Н.Л. Реакция травосмеси однолетних трав на метеорологические условия возделывания в степной зоне Приморского края. *Проблемы внедрения результатов инновационных исследований и пути их решения. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции*. Стерлитамак: Агентство международных исследований. 2023; 303–305. <https://www.elibrary.ru/awhhcw>
17. Бычкова В.В., Кибальник О.П., Сазонова И.А., Каменева О.Б. Влияние метеорологических условий года на биохимический состав зерна сорго. *Аграрная наука*. 2023; (12): 102–107. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107>
18. Антимонova О.Н., Сыркина Л.Ф. Формирование урожайности сортов проса посевного в зависимости от гидротермических условий. *Вестник КрасГАУ*. 2020; (10): 74–82. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-74-82>
19. Антимонova О.Н., Антимонов А.К. Влияние гидротермических условий на содержание белка и незаменимых аминокислот в пшене проса посевного в лесостепи Самарской области. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2024; 54(10): 48–57. <https://www.elibrary.ru/aapspm>
20. Кибальник О.П., Ефремова И.Г., Бочкарева Ю.В., Прахов А.В., Семин Д.С. Продуктивность сорговых культур в зависимости от агротехнических приемов возделывания в регионах Российской Федерации (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021; 22(2): 155–166. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166>
7. Balun O.V., Yakovleva V.A. Influence of the drainage method on the water-air regime of reclaimed soils. *Current trends in scientific and personnel support of the agroindustrial complex. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Veliky Novgorod: Yaroslav-the-Wise Novgorod State University. 2020; 272–277 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bjvbut>
8. Pak L.N., Ivanov D.A., Rublyuk M.V. Perennial grasses of the legume family (*Fabaceae* L.) as the main basis for the development of fodder production in the Non-Black Earth Region (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(5): 754–769 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.754-769>
9. Kosolapov V.M., Chernyavskikh V.I. Fodder production: state, problems and role of the Federal Williams Research Centre of Fodder Production and Agroecology in their solving. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2022; 36(4): 5–14 (in Russian). https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_4_5
10. Shkodina E.P., Balun O.V., Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. Ecological variety trial of annual forage crops in the Novgorod region. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2022; 12(2): 337–344. <https://doi.org/10.31407/ijees12.204>
11. Zenkova N.N., Shloma T.M., Kovaleva I.V. Productivity and forage value of sorghums cultures in the Vitebsk region. *Nashe sel'skoye khozyaystvo*. 2022; (6): 40–45 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/gjsckx>
12. Kibalnik O.P., Semin D.S. Bioenergetic assessment of the source material of sugar sorghum when used for silage. *Feed production: yesterday, today, tomorrow. Collection of the All-Russian scientific and practical conference*. Novosibirsk: Zolotoy kolos. 2022; 5–8 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/zyquqs>
13. Kapustin A.S., Kapustin S.I., Kukharuk M.Yu. Botanical and biological peculiarities of Sudan grass in dried conditions of the North Caucasus. *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2023; (5): 117–126 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wuzusg>
14. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Shishova E.A. Influence of meteorological conditions on cropping power and quality of green mass in Sudan-grass. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2016; (3): 39–40 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wzbnsp>
15. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Romanyukin A.E., Ermolina G.A. Sudan grass productivity depending on meteorological conditions. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23(3): 334–342 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>
16. Telichko O.N., Klochkova N.L. Response of seed mixes of annual grasses on the weather conditions in the steppe zone of Primorsky Krai. *Problems of implementing the results of innovative research and ways to solve them. Collection of articles based on the results of the International scientific and practical conference*. Sterlitamak: Agency of international research. 2023; 303–305 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/awhhcw>
17. Bychkova V.V., Kibalnik O.P., Sazonova I.A., Kameneva O.B. Influence of meteorological conditions of the year on the biochemical composition of sorghum grain. *Agrarian science*. 2023; (12): 102–107 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107>
18. Antimonova O.N., Syrkina L.F. The formation of crop yield of millet varieties depending on hydrothermal conditions. *Bulletin of KrasGAU*. 2020; (10): 74–82 (in Russian). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-74-82>
19. Antimonova O.N., Antimov A.K. Influence of hydrothermal conditions on the content of protein and essential amino acids in common millet in the forest-steppe of the Samara region. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2024; 54(10): 48–57 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/aapspm>
20. Kibalnik O.P., Efremova I.G., Bochkareva Yu.V., Prakhov A.V., Semin D.S. Productivity of sorghum crops depending on agrotechnical methods of cultivation in the regions of the Russian Federation (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(2): 155–166 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Васильевна Балун

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
bov0001@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>

Елена Петровна Шкодина

старший научный сотрудник
kriempereoal@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>

Светлана Юрьевна Жукова

старший научный сотрудник
zhukova.s@spcras.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8034-2489>

Валентина Александровна Яковлева

старший научный сотрудник
yakovleva.v@spcras.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0349-8185>

Новгородский научно-исследовательский институт
сельского хозяйства — филиал Федерального
государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-
Петербургский федеральный исследовательский центр
Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ —
филиал СПб ФИЦ РАН),
ул. Парковая, 2., дер. Борки, Новгородский р-н,
Новгородская обл., 173516, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Olga Vasilyevna Balun

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
bov0001@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>

Elena Petrovna Shkodina

Senior Researcher
kriempereoal@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>

Svetlana Yurievna Zhukova

Senior Researcher
zhukova.s@spcras.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8034-2489>

Valentina Alexandrovna Yakovleva

Senior Researcher
yakovleva.v@spcras.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0349-8185>

Novgorod Research Institute of Agriculture —
Branch of the Federal State Budgetary Institution
of Science "St. Petersburg Federal Research Center
of the Russian Academy of Sciences",

2 Parkovaya Str., Borki village, Novgorod district, Novgorod
region, 173516, 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



С.В. Щербёнок^{1, 2}

¹ Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал ФГБУН «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», Пермь, Россия

² Пермский государственный аграрно-технологический университет им. академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия

✉ sshcherbenok@bk.ru

Поступила в редакцию: 29.04.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Щербёнок С.В.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-78-83

Sofya V. Shcherbyonok^{1, 2}

¹ Perm Agricultural Research Institute — division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

² Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russia

✉ sshcherbenok@bk.ru

Received by the editorial office: 29.04.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Shcherbyonok S.V.

Влияние соотношения красного и дальнего красного света на морфометрические показатели картофеля *in vitro*

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Влияние соотношения красного света (660 нм) к дальнему красному свету (730 нм) (КС/ДКС) на рост и развитие растений является важным аспектом биофотоники и растениеводства защищенного грунта.

Методы. Эксперимент проводили в фитотроне, состоящем из двух секторов: первый — с базовым освещением (контроль), второй — с добавочными светодиодами 730 нм. Соотношение КС/ДКС в контрольном секторе составило 9,9, в экспериментальном — 0,5. Был установлен фотопериод — 16 часов, обеспечивающийся таймером Systec. Объектами исследования выбраны растения картофеля сортов Гранд и Джулия *in vitro*, размноженные методом черенкования на агаризованной среде Мурасиге — Скуга. Длительность эксперимента — 28 дней. После извлечения из пробирок меристемные растения были сканированы. Площадь листьев, длину растений и количество междоузлий определяли с помощью программы ImageJ по оцифрованным изображениям растений, массу надземной части — на весах.

Результаты. Результаты показали, что пониженное соотношение КС/ДКС = 0,5 оказывает значимое влияние на морфометрические показатели растений картофеля: длину стебля, площадь листьев, массу надземной части растений. У обоих сортов зафиксировано увеличение длины надземной части растений, однако достоверные различия не выявлены. Увеличение площади листьев под действием добавочного ДКС отмечено у растений обоих сортов: на 54,9% — для сорта Гранд, на 32% — для сорта Джулия. Содержание сухого вещества в листьях растений обоих сортов при пониженном соотношении КС/ДКС оказалось ниже, что может быть связано с перераспределением ресурсов на интенсивный рост и формирование биомассы.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., меристемные растения, дальний красный свет, спектр освещения, сухое вещество

Для цитирования: Щербёнок С.В. Влияние соотношения красного и дальнего красного света на морфометрические показатели картофеля *in vitro*. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 78–83.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-78-83>

The influence of the ratio of red and far-red light on the morphometric parameters of potato *in vitro*

ABSTRACT

Relevance. The influence of red light (660 nm) to far-red light (730 nm) ratio (R/FR) on the growth and development of plants is an important aspect of photobiology and crop raising in green houses protected cultivation.

Methods. The experiment was carried out in a phytotron consisting of two sectors: the first with basic lighting (control), the second with additional 730 nm LEDs. The ratio of CS/DCS in the control sector was 9.9, in the experimental sector — 0.5. A photoperiod of 16 hours was set, provided by a Systec timer. The objects of the study were selected potato plants of the Grand and Julia varieties *in vitro*, propagated by cuttings on Murashige — Skuga agarized medium. The duration of the experiment is 28 days. After extraction from the tubes, the meristemic plants were scanned. The leaf area, plant length, and number of internodes were determined using the ImageJ program from digitized images of plants, and the mass of the aboveground part was measured on scales.

Results. The results showed that a reduced ratio of CS/DCS = 0.5 has a significant effect on the morphometric parameters of potato plants: stem length, leaf area, and the mass of the aboveground part of the plants. In both varieties, an increase in the length of the aboveground part of the plants was recorded, but no significant differences were found. An increase in leaf area under the action of additional DCS was noted in plants of both varieties: by 54.9% for the Grand variety, by 32% for the Julia variety. The dry matter content in the leaves of plants of both varieties turned out to be lower with a reduced ratio of CS/DCS, which may be due to the redistribution of resources for intensive growth and formation of biomass.

Key words: *Solanum tuberosum* L., meristematic plants, far-red light, light spectrum, dry matter

For citation: Shcherbyonok S.V. The influence of the ratio of red and far-red light on the morphometric indicators of potato *in vitro*. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 78–83 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-78-83>

Введение/Introduction

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) представляет собой ключевую сельскохозяйственную культуру, обладающую высокой пищевой ценностью, экономической рентабельностью и универсальностью применения [1, 2]. Микроклональное размножение является одним из наиболее эффективных методов получения высококачественного оздоровленного посадочного материала [3]. Этот метод позволяет быстро размножать растения, сохраняя их генетическую однородность и устойчивость к болезням [4].

Рост и развитие меристемных растений, а также дальнейший процесс клубнеобразования представляют собой сложные физиологические процессы, которые регулируются множеством факторов, включая условия окружающей среды, регуляторы роста растений, генетическую структуру, уровень доступных питательных веществ, температурный режим, источник экспланта, сорт картофеля, а также фотопериод и спектр освещения [5].

Свет, включая фотопериод, интенсивность и спектральный состав, играет ключевую роль в окружающей среде, влияя на фотосинтез, развитие и рост растений. В последние десятилетия в условиях защищенного грунта активно внедряются различные системы искусственного освещения, что способствует повышению устойчивости аграрного производства к климатическим изменениям. Таким образом, оптимизация условий освещения становится важным элементом современных сельскохозяйственных технологий.

Красный свет (КС) 600–700 нм является основным источником энергии для фотосинтетических процессов и существенно влияет на рост растений. Дальний красный свет (ДКС) 700–800 нм регулирует прорастание семян, морфогенез, цветение и синтез вторичных метаболитов через фитохромы [6].

В солнечном спектре освещения соотношение КС/ДКС изменяется в течение суток и в среднем составляет 1,3. В промышленных светильниках, предназначенных для использования в условиях защищенного грунта, светодиоды с длиной волны 700–800 нм не применяются, поскольку дальний красный свет традиционно не входит в фотосинтетически активную радиацию (ФАР). В результате в таких светильниках соотношение КС к ДКС достигает 6 и более.

ДКС представляет собой важный элемент фотосинтетического спектра, способствующий регуляции различных физиологических процессов в растениях. В последние годы растет интерес к изучению влияния ДКС на меристемный картофель. Исследования показывают, что ДКС влияет на морфологические характеристики растений, такие как длина стеблей, количество листьев и развитие корневой системы [7–12]. Изучение влияния ДКС на растения важно не только с точки зрения физиологии, но и с точки зрения агрономии

и биотехнологий. В условиях *in vitro*, где растения развиваются в контролируемых условиях, использование различных спектров света может значительно повысить качество и эффективность микроклонального размножения картофеля [13].

У растений отсутствуют фоторецепторы, которые могли бы регистрировать исключительно ДКС, эту функцию выполняют фитохромы, которые являются фоторецепторами для КС [14, 15]. Таким образом, при проектировании искусственного освещения для растений важно учитывать не только количественное содержание ДКС, но и соотношение красного света к дальнему красному свету (КС/ДКС). Это соотношение оказывает значительное влияние на физиологические процессы, такие как фотосинтез, морфогенез, и адаптацию растений к окружающей среде, что в конечном итоге может сказаться на их росте и продуктивности [16–18].

Различные соотношения КС/ДКС оказывают влияние на содержание сухого вещества в растениях. При низком соотношении КС/ДКС растения могут проявлять более выраженные эффекты «вытягивания», что может привести к увеличению длины стеблей и площади листьев, но одновременно это может ограничивать накопление сухого вещества [19]. Правильное регулирование этого соотношения в условиях искусственного освещения может способствовать оптимизации роста растений и повышению их устойчивости к стрессовым факторам [20].

Цель данного экспериментального исследования — изучить влияние пониженного соотношения КС/ДКС = 0,5 в спектре освещения на рост и развитие растений, на содержание сухого вещества растений картофеля сортов Гранд и Джулия *in vitro*.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Научные исследования проводили в Пермском НИИСХ — филиале ПФИЦ УрО РАН в 2025 году. Ранее сотрудниками лаборатории агробиофотоники был сконструирован экспериментальный фитотрон для изучения влияния разного соотношения КС/ДКС на растения [21].

В качестве основного источника света использованы светодиодные светильники ECOLED-BIO-37-RF-D120-F-Trade IP65 (4000K), (ECOLED, Россия). Для введения дополнительной спектральной компоненты к базовому освещению применены светодиодные линейки с диодами, излучающими свет с длиной волны 730 нм.

Секторы фитотрона отличаются по соотношению КС/ДКС. В первом секторе применяется только базовое освещение (контроль) без дополнительных светодиодов с длиной волны 730 нм, соотношение КС/ДКС составляет 9,9. Во втором секторе соотношение КС/ДКС равно 0,5. Фотопериод 16 часов обеспечивался механическим таймером Systec TG-14A (Systec GmbH & Co. KG, Германия).

В качестве объектов исследования были выбраны два сорта картофеля столового назначения — среднеспелый сорт Гранд¹, выведенный специалистами ФИЦ картофеля им. Лорха (Московская обл., Россия), и раннеспелый сорт Джулия², оригинатором которого является ООО «Молянов АгроГрупп» (Самарская обл., Россия).

Микроклональное размножение осуществляли путем черенкования на агаризованной питательной среде Мурасиге — Скуга [22].

Рис. 1. Меристемные растения картофеля сорта Джулия на 28-е сутки культивирования: а) контроль, КС/ДКС = 9,9; б) эксперимент, КС/ДКС = 0,5. Фото автора

Fig. 1. Meristem plants of the Julia variety on the 28th day of cultivation: a) control, R/FR = 9.9; b) experiment, R/FR = 0.5. Photo by the author



Рис. 2. Морфометрические показатели растений картофеля на 28-е сутки культивирования: а) длина надземной части, см; б) площадь листьев, см²
Примечание: * значимые различия между вариантами опыта

Fig. 2. Morphometric parameters of potato plants on the 28th day of cultivation: a) length of the aboveground part, cm; b) leaf area, cm²

Note: * significant differences between variants of the experiment.

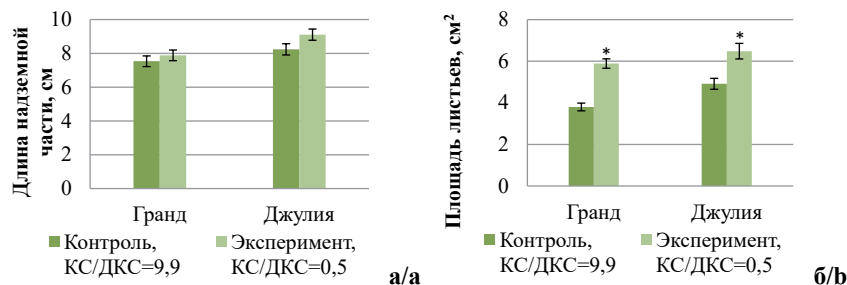


Таблица 1. Эффективность пониженного соотношения КС/ДКС на морфометрические показатели и сухое вещество

Table 1. Efficiency of reduced R/FR ratio on morphometric parameters and dry matter

Сорт картофеля	Вариант	Длина растений, см	Количество междоузлий, шт.	Площадь листьев, см ²	Надземная масса, г	Сухое вещество, %
Гранд	Контроль, КС/ДКС = 9,9	7,532	5,24	3,800	0,135	12,903
	Эксперимент, КС/ДКС = 0,5	7,881	5,64	5,888*	0,175*	11,176
Джулия	Контроль, КС/ДКС = 9,9	8,236	5,08	4,913	0,182	15,052
	Эксперимент, КС/ДКС = 0,5	9,106	5,48	6,483*	0,201	13,817
НСР ₀₅		1,30	0,85	0,72	0,03	0,74

Примечание: * значимые различия между вариантами (* significant differences between variants of the experiment).

¹ Год внесения в реестр — 2016-й. Регион возделывания — 2. Северо-Западный регион — 3. Центральный регион (Россия).

Оригинаторы ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха», ООО «Агроцентр «Коренево», ООО «Молянов АГРО Групп», ИП Глава КФХ Стебаков В.И.

<https://potato.professorhome.ru/variety/grand> Код в реестре РФ 8654295

² Год внесения в реестр — 2023-й. Регион возделывания — 7. Средневожский регион (Россия). Оригинатор ООО «Агросар».

<https://potato.professorhome.ru/variety/dzhuliya> Код в реестре РФ 7954406

³ ГОСТ 33977-2016 Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ.

⁴ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

Период культивирования микроклонов картофеля в пробирках длился 28 дней (рис. 1). В каждом варианте опыта использовали 30 растений каждого из двух сортов (всего 120 растений).

После извлечения из пробирки меристемные растения были сфотографированы.

Площадь поверхности листовой пластинки, длину растений и количество междоузлий определяли с помощью оцифрованных изображений в компьютерной программе ImageJ (National Institutes of Health, США), массу надземной части — на аналитических весах «Госметр ВЛ-64», («Госметр», Россия) с пределом точности 0,01 г, сухое вещество — по ГОСТ 33977³.

Для статистической обработки полученных данных использовали метод дисперсионного анализа с определением наименьшей существенной разницы⁴.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты измерений длины растений, площади листьев, количество междоузлий и массы надземной части растений картофеля представлены на рисунке 2 и в таблице 1.

На сегодняшний день основное внимание в изучении влияния соотношения КС/ДКС сосредоточено на морфологических признаках [23–26]. По длине надземной части растений (рис. 1а) отмечена тенденция увеличения длины в экспериментальном варианте у обоих сортов, однако достоверно значимых различий не обнаружено. По площади листьев (рис. 1б) у обоих сортов в экспериментальном секторе отмечено достоверное повышение этих показателей по сравнению с контролем. У растений сорта Гранд происходит повышение этого показателя на 54,9%, у растений сорта Джулия — на 32% (НСР₀₅ = 0,72).

Изменение соотношения КС/ДКС в спектре освещения приводило к достоверному увеличению надземной массы растений картофеля сорта Гранд. Согласно данным (табл. 1), надземная масса

растений сорта Гранд увеличивалась на 29,4%, а сорта Джулия — на 10% при уровне значимости $HC_{P05} = 0,03$. Количество междоузлий (табл. 1) увеличивалось при использовании экспериментального освещения, но статистически значимые различия не выявлены.

Результаты согласуются с данными ряда исследований, которые показывают, что изменение спектрального состава освещения, особенно увеличение доли красного света, способствует улучшению фотосинтетической активности и росту растений [16–18, 20]. В частности, исследования Yang et al. [16] демонстрируют, что пониженное соотношение КС/ДКС значительно увеличивает общую биомассу растений. В исследованиях А.А. Смирнова [27] было выявлено, что добавление ДСК в спектр освещения значительно увеличивает количество междоузлий растений огурца (на 15%) и площадь листьев (на 30%).

Известно, что изменение соотношения КС/ДКС может существенно влиять на морфогенез и рост растений, а также на фотосинтетические процессы, действуя через фитохромную систему [28]. Фоторецепторы играют ключевую роль в контроле многих морфометрических характеристик растений.

Результаты данного исследования согласуются с опубликованными исследованиями Askari et al. [31], в которых выявлено увеличение длины стебля и площади листьев у растений картофеля при освещении с пониженным соотношением КС/ДКС, что подтверждает перспективность применения этого варианта освещения для картофеля на стадии *in vitro*. Несмотря на то что при соотношении КС/ДКС = 0,5 растения картофеля показывали наибольшие показатели по длине, площади листьев и надземной массе, по содержанию сухого вещества они имели пониженные показатели (табл. 1).

Такое явление может объясняться тем, что соотношение КС/ДКС = 0,5 способствует интенсивному росту и развитию растений, что в свою очередь приводит к увеличению длины, площади листьев и надземной биомассы. Однако в условиях активного роста растения могут накапливать меньше сухого вещества, поскольку большая часть ресурсов расходуется на увеличение биомассы и формирование новых органов, а не на синтез и накопление запасных веществ. В условиях *in vitro* данное снижение можно рассматривать как незначительное, так как главной задачей микроклонального

размножения является получение большего количества черенков для дальнейшего культивирования.

Существующие литературные данные указывают на разнообразное влияние облучения ДК и соотношения КС/ДКС на ростовые процессы, активность фотосинтетического аппарата и метаболизм [5, 29–32]. Дальнейшие исследования могут выявить механизмы, через которые световые условия влияют на физиологические процессы и адаптацию растений к окружающей среде, что имеет важное значение для сельского хозяйства и агрономии.

Выводы/Conclusions

В данном исследовании рассмотрено влияние пониженного соотношения КС/ДКС в спектре освещения на длину растений, площадь листьев, надземную массу, количество междоузлий, а также на массовую долю сухого вещества. В результате исследований установлено, что растения, выращенные при пониженном соотношении КС/ДКС = 0,5, имеют значимо отличающиеся количественные показатели по сравнению с растениями, которые культивировались в условиях контрольного освещения.

Отмечена тенденция увеличения длины надземной части и количества междоузлий растений картофеля обоих сортов, но достоверных различий не выявлено. В условиях пониженного соотношения у сорта Гранд выявлено значительное увеличение как площади листьев, так и массы надземной части, тогда как у сорта Джулия — только площади листьев.

Содержание сухого вещества в листьях при пониженном КС/ДКС меньше на 13% у сорта Гранд и на 8% у сорта Джулия, но совокупные результаты, включая показатели длины стебля, площадь листьев и надземную массу, позволяют сделать вывод, что исследуемое КС/ДКС является положительным фактором при дальнейшем черенковании.

В реакции на условия освещения присутствует аспект сортоспецифичности: ранний сорт картофеля Джулия и среднеспелый сорт Гранд продемонстрировали отличающиеся реакции на спектральный состав.

Изучение влияния дальнего красного света на меристемный картофель представляет собой актуальное и значимое направление исследований, перспективное для повышения продуктивности и данной культуры.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания, № регистрации НИОКР 122031100058-3.

FUNDING

The work was carried out as part of a state assignment, registration number of the research and development project 122031100058-3.

БЛАГОДАРНОСТИ

За предоставленные для исследования меристемные растения картофеля автор благодарит ООО «Молянов АГРО Групп».

За предоставленные для исследования светильники автор благодарит ООО «ГК «Световые и электрические технологии»».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Askari N., Ghahramani R., Reisi A., Sadat-Hosseini M., Parsa Motlagh B. The Role of Thermal Stress on *In Vitro* Potato Microtuber Induction. *Journal of Vegetables Sciences*. 2023; 6(12–2): 73–84 (на араб. яз.). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.562669.1236>
2. Gong H.-L., Dusengemungu L., Igriraneza C., Rukundo P. Molecular regulation of potato tuber dormancy and sprouting: a mini-review. *Plant Biotechnology Reports*. 2021; 15(4): 417–434. <https://doi.org/10.1007/s11816-021-00689-y>
3. Смирнова Ю.Д., Подольян Е.А. Приемы повышения эффективности микроклонального размножения картофеля (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024; 25(3): 319–329. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.319-329>
4. Salem J., Hassanein A.M. *In vitro* propagation, microtuberization, and molecular characterization of three potato cultivars. *Biologia plantarum*. 2017; 61(3): 427–437. <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0715-x>
5. Reisi A., Askari N., Sadat-Hosseini M., Parsa Motlagh B., Ghahramani R. Far-red spectrum leads to enhanced *in vitro* microtuberization in potato (*Solanum tuberosum* cv. Sante). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2024; 156(2): 45. <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02673-6>
6. Chen C.-L., Yang J.-P., Huang W.-D., Chen C.-C. The Effect of Far-Red Light and Nutrient Level on the Growth and Secondary Metabolites of the *In Vitro* Culture of *Prunella vulgaris*. *Agronomy*. 2023; 13(9): 2250. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092250>
7. Smith H. Light Quality, Photoperception, and Plant Strategy. *Annual Review of Plant Physiology*. 1982; 33: 481–518. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.002405>
8. Park Y., Runkle E.S. Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation. *Environmental and Experimental Botany*. 2017; 136: 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.12.013>
9. Rahman M.H. *et al.* Effect of Light Quality on Seed Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubarization When Aeroponically Grown in a Controlled Greenhouse. *Plants*. 2024; 13(5): 737. <https://doi.org/10.3390/plants13050737>
10. Войцеховская О.В. Фитохромы и другие (фото)рецепторы информации у растений. *Физиология растений*. 2019; 66(3): 163–177. <https://doi.org/10.1134/S0015330319030151>
11. Hitz T., Hartung J., Graeff-Hoenninger S., Munz S. Morphological response of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars to light intensity and red to far-red ratio. *Agronomy*. 2019; 9(8): 428. doi.org/10.3390/agronomy9080428
12. Лях П.А., Колошина К.А., Попова К.И., Лях А.А. Влияние спектрального состава светодиодного излучения на рост и развитие растений. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2022; (1): 108–120. <https://elibrary.ru/hdxznw>
13. Rehman M. *et al.* Red light optimized physiological traits and enhanced the growth of ramie (*Boehmeria nivea* L.). *Photosynthetica*. 2020; 58(4): 922–931. <https://doi.org/10.32615/ps.2020.040>
14. Хотамов М.М., Ахмеджанов И.Г. Регуляторная роль фитохрома в устойчивости дыни к фузариозному вилту. *Modern Biology and Genetics*. 2024; (1): 52–70.
15. Tripathi S., Hoang Q.T.N., Han Y.-J., Kim J.-I. Regulation of Photomorphogenic Development by Plant Phytochromes. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019; 20(24): 6165. <https://doi.org/10.3390/ijms20246165>
16. Yang F. *et al.* Low red/far-red ratio as a signal promotes carbon assimilation of soybean seedlings by increasing the photosynthetic capacity. *BMC Plant Biology*. 2020; 20: 148. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02352-0>
17. Rahman M.M., Vasiliev M., Alameh K. LED Illumination Spectrum Manipulation for Increasing the Yield of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plants*. 2021; 10(2): 344. <https://doi.org/10.3390/plants10020344>
18. Zhen S., Bugbee B. Far-red photons have equivalent efficiency to traditional photosynthetic photons: implications for re-defining photosynthetically active radiation. *Plant, Cell & Environment*. 2020; 43(5): 1259–1272. <https://doi.org/10.1111/pce.13730>

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks LLC “Molyanov AGRO Group” for providing the meristematic potato plants for the study.

The author also expresses gratitude to LLC «Group of Companies “Lighting and Electrical Technologies”» for providing the lamps used in the research.

REFERENCES

1. Askari N., Ghahramani R., Reisi A., Sadat-Hosseini M., Parsa Motlagh B. The Role of Thermal Stress on *In Vitro* Potato Microtuber Induction. *Journal of Vegetables Sciences*. 2023; 6(12–2): 73–84 (in Arabian). <https://doi.org/10.22034/iuvs.2022.562669.1236>
2. Gong H.-L., Dusengemungu L., Igriraneza C., Rukundo P. Molecular regulation of potato tuber dormancy and sprouting: a mini-review. *Plant Biotechnology Reports*. 2021; 15(4): 417–434. <https://doi.org/10.1007/s11816-021-00689-y>
3. Smirnova Yu.D., Podolyan E.A. Techniques for increasing the efficiency of microclonal propagation of potatoes (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024; 25(3): 319–329 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.319-329>
4. Salem J., Hassanein A.M. *In vitro* propagation, microtuberization, and molecular characterization of three potato cultivars. *Biologia plantarum*. 2017; 61(3): 427–437. <https://doi.org/10.1007/s10535-017-0715-x>
5. Reisi A., Askari N., Sadat-Hosseini M., Parsa Motlagh B., Ghahramani R. Far-red spectrum leads to enhanced *in vitro* microtuberization in potato (*Solanum tuberosum* cv. Sante). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2024; 156(2): 45. <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02673-6>
6. Chen C.-L., Yang J.-P., Huang W.-D., Chen C.-C. The Effect of Far-Red Light and Nutrient Level on the Growth and Secondary Metabolites of the *In Vitro* Culture of *Prunella vulgaris*. *Agronomy*. 2023; 13(9): 2250. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092250>
7. Smith H. Light Quality, Photoperception, and Plant Strategy. *Annual Review of Plant Physiology*. 1982; 33: 481–518. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.002405>
8. Park Y., Runkle E.S. Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation. *Environmental and Experimental Botany*. 2017; 136: 41–49. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.12.013>
9. Rahman M.H. *et al.* Effect of Light Quality on Seed Potato (*Solanum tuberosum* L.) Tubarization When Aeroponically Grown in a Controlled Greenhouse. *Plants*. 2024; 13(5): 737. <https://doi.org/10.3390/plants13050737>
10. Wojciechowska O.V. Phytochromes and Other (Photo)Receptors of Information in Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2019; 66(3): 351–364. <https://doi.org/10.1134/S1021443719030154>
11. Hitz T., Hartung J., Graeff-Hoenninger S., Munz S. Morphological response of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars to light intensity and red to far-red ratio. *Agronomy*. 2019; 9(8): 428. doi.org/10.3390/agronomy9080428
12. Lyakh P.A., Koloshina K.A., Popova K.I., Lyakh A.A. Influence of the spectral composition of led radiation on plants growth and development. *Innovations and Food Safety*. 2022; (1): 108–120 (in Russian). <https://elibrary.ru/hdxznw>
13. Rehman M. *et al.* Red light optimized physiological traits and enhanced the growth of ramie (*Boehmeria nivea* L.). *Photosynthetica*. 2020; 58(4): 922–931. <https://doi.org/10.32615/ps.2020.040>
14. Khotamov M.M., Akhmedzhanov I.G. Regulatory role of phytochrome in melon resistance to fusarium wilt. *Modern Biology and Genetics*. 2024; (1): 52–70 (in Russian)
15. Tripathi S., Hoang Q.T.N., Han Y.-J., Kim J.-I. Regulation of Photomorphogenic Development by Plant Phytochromes. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019; 20(24): 6165. <https://doi.org/10.3390/ijms20246165>
16. Yang F. *et al.* Low red/far-red ratio as a signal promotes carbon assimilation of soybean seedlings by increasing the photosynthetic capacity. *BMC Plant Biology*. 2020; 20: 148. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02352-0>
17. Rahman M.M., Vasiliev M., Alameh K. LED Illumination Spectrum Manipulation for Increasing the Yield of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plants*. 2021; 10(2): 344. <https://doi.org/10.3390/plants10020344>
18. Zhen S., Bugbee B. Far-red photons have equivalent efficiency to traditional photosynthetic photons: implications for re-defining photosynthetically active radiation. *Plant, Cell & Environment*. 2020; 43(5): 1259–1272. <https://doi.org/10.1111/pce.13730>

19. Miyashita Y., Kitaya Y., Kozai T., Kimura T. Effects of red and far-red light on the growth and morphology of potato plantlets *in vitro*: using light emitting diode as a light source for micropropagation. *Acta Horticulturae*. 1995; 393: 189–194. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.393.22>
20. Smith H. Phytochromes and light signal perception by plants — an emerging synthesis. *Nature*. 2000; 407(6804): 585–591. <https://doi.org/10.1038/35036500>
21. Лисина Т.Н., Шолгин Е.С., Бурдышева О.В., Ременникова М.В. Разработка грубокса для изучения влияния дальнего красного света на растения. *Фотон-экспресс*. 2023; (6): 27–28. <https://elibrary.ru/dricvl>
22. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962; 15(3): 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
23. Мартиросян Л.Ю., Кособрюхов А.А., Мартиросян В.В., Мартиросян Ю.Ц. О влиянии различных источников света на фотосинтетические параметры продукционного процесса у *Cucumis sativus* L. (гибрид Тристан F₁) в условиях аэропного фитотрона. *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(5): 934–947. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.5.934rus>
24. Верник П.А. и др. Влияние увеличения доли дальней красной области в полнспектральном светодиодном облучении на рост и развитие растений сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *saccharifera* Alef.) в закрытых агробиотехносистемах. *Овощи России*. 2023; (6): 129–135. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-129-135>
25. Xu Y., Wang C., Zhang R., Ma C., Dong S., Gong Z. The relationship between internode elongation of soybean stems and spectral distribution of light in the canopy under different plant densities. *Plant Production Science*. 2020; 24(3): 326–338. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1847666>
26. Wang J.L. et al. Far-red light perception by the shoot influences root growth and development in cereal-legume crop mixtures. *Plant and Soil*. 2025; 509(1–2): 969–986. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06903-4>
27. Смирнов А.А. Влияние дальнего красного излучения на рост и продуктивность растения огурец. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020; 67(2): 32–36. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-2-32-36>
28. Morgan P.W., Finlayson S.A., Childs K.L., Mullet J.E., Rooney W.L. Opportunities to Improve Adaptability and Yield in Grasses. *Crop Science*. 2002; 42(6): 1791–1799. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1791>
29. Askari N., Ghahremani R., Raisi A., Sadat-Hosseini M., Parsa Motlagh B., Visser R.G.F. Far-Red Radiation Enhances *In Vitro* Potato Plantlet Growth by Stimulating Dry Weight Accumulation. *Potato Research*. 2025; 68(2): 1849–1868. <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09809-x>
30. Plantenga F.D.M. et al. Regulating flower and tuber formation in potato with light spectrum and day length. *Acta Horticulturae*. 2016; 1134: 267–276. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.36>
31. Stockem J.E., de Vries M.E., Struik P.C. Shedding light on a hot topic: Tuberisation in potato. *Annals of Applied Biology*. 2023; 183(2): 170–180. <https://doi.org/10.1111/aab.12844>
32. Лисина Т.Н., Четина О.А., Парфенкова В.А., Бурдышева О.В., Шолгин Е.С. Влияние соотношения красного и дальнего красного света на рост, содержание пигментов и интенсивность фотосинтеза у кресс-салата. *Физиология растений*. 2024; 71(3): 292–298. <https://doi.org/10.31857/S0015330324030047>
19. Miyashita Y., Kitaya Y., Kozai T., Kimura T. Effects of red and far-red light on the growth and morphology of potato plantlets *in vitro*: using light emitting diode as a light source for micropropagation. *Acta Horticulturae*. 1995; 393: 189–194. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.393.22>
20. Smith H. Phytochromes and light signal perception by plants — an emerging synthesis. *Nature*. 2000; 407(6804): 585–591. <https://doi.org/10.1038/35036500>
21. Lisina T.N., Sholgin E.S., Burdysheva O.V., Remennikova M.V. Development of a grow box for studying the influence of far-red light on plants. *Foton-ekspress*. 2023; (6): 27–28 (in Russian). <https://elibrary.ru/dricvl>
22. Murashige T., Skoog F. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962; 15(3): 473–497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
23. Martirosyan L.Yu., Kosobryukhov A.A., Martirosyan V.V., Martirosyan Yu.Ts. The influence of different light sources on photosynthetic performance and productivity of *Cucumis sativus* L. hybrid Tristan F₁ in aeroponic phytotron facilities. *Agricultural Biology*. 2021; 56(5): 934–947. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.5.934eng>
24. Vernik P.A. et al. The effect of increasing the proportion of the far red region in full-spectrum LED irradiation on the growth and development of sugar beet plants (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *saccharifera* Alef.) in closed agrobiotechnological systems. *Vegetable crops of Russia*. 2023; (6): 129–135 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-129-135>
25. Xu Y., Wang C., Zhang R., Ma C., Dong S., Gong Z. The relationship between internode elongation of soybean stems and spectral distribution of light in the canopy under different plant densities. *Plant Production Science*. 2020; 24(3): 326–338. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1847666>
26. Wang J.L. et al. Far-red light perception by the shoot influences root growth and development in cereal-legume crop mixtures. *Plant and Soil*. 2025; 509(1–2): 969–986. <https://doi.org/10.1007/s11104-024-06903-4>
27. Smirnov A.A. Effect of far-red radiation on the growth and productivity of the cucumber plant. *Electrical technology and equipment in the agro-industrial complex*. 2020; 67(2): 32–36 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-2-32-36>
28. Morgan P.W., Finlayson S.A., Childs K.L., Mullet J.E., Rooney W.L. Opportunities to Improve Adaptability and Yield in Grasses. *Crop Science*. 2002; 42(6): 1791–1799. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1791>
29. Askari N., Ghahremani R., Raisi A., Sadat-Hosseini M., Parsa Motlagh B., Visser R.G.F. Far-Red Radiation Enhances *In Vitro* Potato Plantlet Growth by Stimulating Dry Weight Accumulation. *Potato Research*. 2025; 68(2): 1849–1868. <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09809-x>
30. Plantenga F.D.M. et al. Regulating flower and tuber formation in potato with light spectrum and day length. *Acta Horticulturae*. 2016; 1134: 267–276. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1134.36>
31. Stockem J.E., de Vries M.E., Struik P.C. Shedding light on a hot topic: Tuberisation in potato. *Annals of Applied Biology*. 2023; 183(2): 170–180. <https://doi.org/10.1111/aab.12844>
32. Lisina T.N., Chetina O.A., Parfenkova V.A., Burdysheva O.V., Sholgin E.S. The Ratio of Red to Far-Red Light Affects Growth, Pigment Content, and Photosynthetic Rates in Cress Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2024; 71(1): 27. <https://doi.org/10.1134/S1021443724604324>

ОБ АВТОРАХ

София Вячеславовна Щербёнок^{1, 2}
 младший научный сотрудник¹;
 аспирант²
 sshcherbenok@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9610-6207>

¹ Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — филиал Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук,
 ул. Культуры, 12, с. Лобаново, Пермский край, 641532, Россия

² Пермский государственный аграрно-технологический университет им. академика Д.Н. Прянишникова,
 ул. Петропавловская, 23, Пермь, 614990, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Sofiya Vyacheslavovna Shcherbyonok^{1, 2}
 Junior Research Assistant¹;
 Graduate Student²
 sshcherbenok@bk.ru
<https://orcid.org/0009-0002-9610-6207>

¹ Perm Agricultural Research Institute — Division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences,

12 Culture Str., Lobanovo, Perm district, Perm region, 614532, Russia

² Perm State Agro-Technological University named after academician D.N. Prianishnikov,
 23 Petropavlovskaya Str., Perm, 614990, Russia

А.А. Кармач¹ ✉С.С. Костенко²

¹АО «Агродоктор»,
с. п. Криводановский сельсовет,
Новосибирский р-н,
Новосибирская обл., Россия

²ООО ПО «Сиббиофарм», Бердск,
Новосибирская обл., Россия

✉ fitolab@agrodoktor.ru

Поступила в редакцию: 07.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Кармач А.А., Костенко С.С.

Исследование процессов деструкции растительных остатков льна в контролируемых лабораторных условиях

РЕЗЮМЕ

Изучена эффективность ферментативных препаратов на основе целлюлазной, ксиланазной, альфа-амилазной и пектиназной активностей для ускорения разложения трудноразлагаемых растительных остатков льна при их заделке в почву или распределении по поверхности. Исследование проводили в 2023 году в испытательной лаборатории фитодиагностики и агрохимии АО «Агродоктор». Деструкцию пожнивно-корневых остатков оценивали весовым методом, а фракционный состав неразложившихся остатков определяли просеиванием через сито разных диаметров. Выявлена зависимость интенсивности разложения от локализации растительных остатков в почве или на ее поверхности. При заделке в почву наилучшие результаты были достигнуты при использовании целлюлазы (+15,2% к контролю), альфа-амилазы (до +16,7%) и пектиназы (до +27,7%). Однако при распределении растительных остатков по поверхности наибольшую интенсивность деструкции наблюдали при применении ксиланазы (+13,2%). В ходе исследования выявлены различия и в фракционном составе пожнивно-корневых остатков льна после периода деструкции. При распределении растительных остатков по поверхности почвы наибольший уровень минерализации был зафиксирован для вариантов с применением пектиназы и ксиланазы, процент растительных остатков, не прошедших сквозь сито 6 мм, — 33,6 и 39,4 соответственно, тогда как показатели для целлюлазы и амилазы находились на уровне контрольных значений — 45,3%. В случае заделки растительных остатков в почву отмечено, что целлюлаза, ксиланаза и альфа-амилаза показывают схожие результаты: процент крупной фракции варьирует в пределах 8,7–9,5, пектиназа демонстрирует значительно меньший показатель — 4,4, что свидетельствует о более глубокой трансформации органического вещества.

Ключевые слова: ферменты, целлюлаза, ксиланаза, альфа-амилаза, пектиназа, деструкция остатков льна

Для цитирования: Кармач А.А., Костенко С.С. Исследование процессов деструкции растительных остатков льна в контролируемых лабораторных условиях. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 84–90.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-84-90>

Investigation of flax plant residue degradation processes under controlled laboratory conditions

ABSTRACT

The effectiveness of enzymatic preparations based on cellulase, xylanase, alpha-amylase and pectinase activities for accelerating the decomposition of difficult-to-decompose flax plant residues during their incorporation into the soil or distribution on the surface was studied. The study was conducted in 2023 in the testing laboratory of phytodiagnosics and agrochemistry of AO "Agrodoktor". The destruction of crop and root residues was assessed by the weight method, and the fractional composition of the undecomposed residues was determined by sieving through a sieve of different diameters. The dependence of decomposition intensity on the localization of crop residues in the soil or on its surface was revealed. When embedded in the soil, the best results were achieved using cellulase (+15.2% of the control), alpha-amylase (up to +16.7%) and pectinase (up to +27.7%). However, when distributing plant residues over the surface, the highest degradation rate was observed with the use of xylanase (+13.2%). The study revealed differences in the fractional composition of the crop and root residues of flax after the period of destruction. When distributing plant residues over the soil surface, the highest level of mineralization was recorded for variants using pectinase and xylanase, the percentage of plant residues that did not pass through a 6 mm sieve was 33.6 and 39.4, respectively, while the indicators for cellulase and amylase were at the control level of 45.3%. In the case of embedding plant residues in the soil, it was noted that cellulase, xylanase and alpha-amylase show similar results: the percentage of the large fraction varies from 8.7–9.5, pectinase shows a significantly lower indicator — 4.4, which indicates a deeper transformation of organic matter.

Key words: enzymes, cellulase, xylanase, alpha-amylase, pectinase, destruction of flax plant residues

For citation: Karmach A.A., Kostenko S.S. Investigation of flax plant residue degradation processes under controlled laboratory conditions. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 84–90 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-84-90>

Anna A. Karmach¹ ✉Sergey S. Kostenko²

¹JSC "Agrodoktor", Krivodanovsky
village settlement, Novosibirsk District,
Novosibirsk region, Russia

²LLC PA "Sibbiopharm", Berdsk,
Novosibirsk region, Russia

✉ fitolab@agrodoktor.ru

Received by the editorial office: 07.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Karmach A.A., Kostenko S.S.

Введение/Introduction

Рост урожайности сельскохозяйственных культур сопровождается увеличением количества пожнивных остатков, поскольку с ростом производительности повышается и общая биомасса растений. В России это явление весьма заметно, ежегодно производятся около 120 млн т послеуборочных растительных остатков, значительная часть которых приходится на солому зерновых и зернобобовых культур [1].

Тенденция увеличения площадей под лен масличный заслуживает внимания. По расчетам ООО «АБ-Центр», за 5 лет площади под льном выросли на 89,2% (на 664,7 тыс. га), за 10 лет — в 2,9 раза (на 931,8 тыс. га). Под посевами льна в 2023 г. были заняты 1,41 млн га, в 2024-м — 1,66 млн га¹.

Лен является важной технической культурой, его активно используют в пищевой промышленности и производстве масел [2–5]. Рост площадей под этой культурой указывает на повышенный интерес к ней со стороны аграриев и потребителей, а также на улучшение технологий выращивания и обработки льна. Однако стоит отметить, что увеличение объемов производства послеуборочных растительных остатков создает определенные вызовы для сельского хозяйства. Один из них — необходимость эффективного управления этими остатками, так как большинство имеют низкую скорость разложения, обусловленную особенностями биохимического состава [6, 7]. Большинство растений имеют один и тот же набор основных органических соединений, но отличаются по соотношению белков, липидов, крахмала, целлюлозы, гемицеллюлозы, полифенолов [8, 9].

Для сравнения: у зерновых культур усредненное содержание в соломе гемицеллюлозы на уровне 23,6%, целлюлозы — 38,8%, лигнина — 15,3%, белка — 3,0% [10]. У льна содержание гемицеллюлозы 15,0%, целлюлозы — 59,2–79,0%, лигнина — 26,3%, белка — 3,0% [11–13].

Чем выше в растительных остатках содержание веществ (целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, танинов, воска), образующих мембраны и клеточные стенки растения, тем меньше они подвержены микробной деструкции. Если полное разложение растительных остатков зерновых культур наступает в среднем через 3–4 года после их внесения в почву [14], то есть культуры, утилизация растительных остатков которых затруднена. Так, солому льна очень сложно измельчить, она медленно разлагается и мешает проведению последующих агротехнических мероприятий.

Одним из способов ускорения разложения и повышения коэффициента гумификации послеуборочных остатков зерновых культур может являться инокуляция их эффективными микроорга-

низмами [15–17]. Однако проблема деструкции побочной продукции грубостебельчатых культур, таких как лен, хлопок, рис, носит глобальный характер, готовых решений по которой на сегодняшний день нет.

Одним из возможных путей решения обозначенной проблемы может быть применение ферментов, способных разрушать клеточные стенки растений.

Впервые в России было предложено провести исследования ферментативных препаратов производства ООО ПО «Сиббиофарм» в качестве деструкторов пожнивно-корневых остатков, тем самым расширив спектр их функциональных свойств.

Цель данных исследований — лабораторная оценка целесообразности применения ферментативных препаратов на основе целлюлазной, ксиланазной, альфа-амилазной и пектиназной активностей в качестве деструкторов трудноразлагаемых растительных остатков льна после их заделки в почву и распределения по ее поверхности.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в лабораторном инкубационном опыте в испытательной лаборатории фитодиагностики и агрохимии АО «Агродоктор» в 2023 году.

Почва в исследовании — серая лесная. Обеспеченность подвижным фосфором 185 мг/кг почвы по ГОСТ 26204², обменным калием — 80 мг/кг по ГОСТ 26204², N-NO₃ — 63,5 мг/кг по ГОСТ 26951³, рН_{KCl} — 5,7 по ГОСТ 26483⁴. В испытания были включены ферментные препараты производства ООО ПО «Сиббиофарм».

Обработка согласно рекомендациям производителя. Препараты проходят процедуру патентования.

Схема опыта включала следующие варианты:

1. Контроль — без обработки.
2. Ферментный препарат грибного происхождения (целлюлаза), порошок — 20 г/т.
3. Ферментный препарат грибного происхождения (ксиланаза), порошок — 10 г/т.
4. Ферментный препарат бактериального происхождения (альфа-амилаза), порошок — 40 г/т.
5. Ферментный препарат бактериального происхождения (пектиналиаза, экзоксиланаза и ферменты пектинолитического комплекса), порошок — 40 г/т.

Препараты разводили в дистиллированной воде таким образом, чтобы получить концентрацию рабочего раствора для обработки 1 га, эквивалентной объему жидкости 100 л, с учетом количества соломы на единицу площади, исходя из

¹ Экспертно-аналитический центр агробизнеса «АБ-Центр» [электронный ресурс]. Сборы масличного льна в России в 2024 году выросли на 16,8% (дата обращения: 12.03.2025). www.ab-centre.ru

² ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО.

³ ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом.

⁴ ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО.

рекомендаций завода-изготовителя, основанных на результатах предыдущих полевых испытаний.

Предварительно измельченные до фракции 5–7 см соломенные и пожнивно-корневые остатки льна подвергали обработке соответствующими рабочими растворами препаратов посредством ручного опрыскивания согласно предусмотренному методическому протоколу эксперимента. Растительные остатки выдерживали перед закладкой в почву для выравнивания влажности до исходного значения.

Лабораторный эксперимент проводили в специально оборудованном помещении (приборная комната испытательной лаборатории фитодиагностики и агрохимии АО «Агродоктор»). Растительные остатки равномерно распределяли по поверхности почвы, находящейся в стеклянных емкостях вместимостью 800 г воздушно-сухой почвы, либо заделывали на глубину 10 см. Солома и пожнивно-корневые остатки были внесены в количестве 0,17 г на каждые 100 г почвы, что эквивалентно внесению 17,1 ц/га соломы при среднем урожае льна от 10 до 12 ц/га. После подготовки сосуда с почвой и растительными остатками выдерживали в специальном устройстве — климатостате КС-200 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия) (дата поверки 05.05.2023), поддерживающем стабильные условия температуры (24–26 °С) и влажности почвы.

Оценку деструкции соломы и пожнивно-корневых остатков льна проводили на 86-е и 140-е сутки. Убыль массы растительных остатков рассчитывали как потерю массы (в %) от первоначальной, взвешивая растительные остатки при влажности 17–18% на аналитических весах Adventurer Pro RV 214 с погрешностью не более 0,001 г (OHAUS Corporation, США) (дата поверки 23.02.2023). Фракционный состав неразложившихся растительных остатков определяли путем просеивания через лабораторные сита разного диаметра (6 мм, 4 мм, 1 мм) по ГОСТ Р 51568⁵.

Определение степени воздействия площади соприкосновения почвы и пожнивных остатков на темпы минерализации выполнено путем сопоставления показателей разложения материалов, находящихся на поверхности почвы и введенных вглубь почвы.

Основополагающим критерием оценки послужили два показателя:

1. Величина убывания соломы и пожнивно-корневых остатков, отражающая различие в уровнях потерь сухой массы между поверхностным распределением и глубокими методами заделки.

2. Изменение фракционного состава пожнивных остатков, проявляющееся в увеличении веса более мелких частиц.

Повторность опыта трехкратная.

Математическую обработку результатов исследований осуществляли методом однофакторного

дисперсионного анализа с вычислением НСР с использованием пакета программ прикладной статистики Snedecor⁶.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Установлено, что между скоростью минерализации растительных остатков льна и поверхностью их соприкосновения с почвой существует связь (рис. 1, 2). Это обусловлено лучшим контактом органических остатков с почвенными микроорганизмами, осуществляющих деструкцию на разных этапах.

Известно, что превращение растительных остатков в почве разного химического состава — многоступенчатый биологический процесс, при котором происходят разложение и синтез новых органических соединений [9, 17, 18]. Наиболее быстро минерализуются более доступные органические соединения: простые сахара, пентозаны, белки.

Пентозаны (ксилан) — один из компонентов гетерополисахаридов, таких как гемицеллюлоза, которая наряду с лигнином и пектинами входит в состав межклеточного вещества растительных тканей и в значительном количестве содержится в соломе льна (12–15%) [11, 13].

В проведенных лабораторных исследованиях на первую дату учета прослеживается достоверное увеличение скорости деструкции соломы льна как при заделке ее в почву, так и при распределении ее по поверхности при применении препарата № 2 (рис. 1, 2). Данный препарат состоит из ксиланазы, вызывающей деградацию ксилана.

Из результатов анализа следует, что на первых этапах деструкции активно разлагается гемицеллюлоза, при внесении препарата № 2 (ксиланазы) убыль массы растительных остатков льна составляет 32,1–35,0% от исходного веса, что на 13,2–10,2% выше, чем в контрольных образцах.

Позднее в процесс включаются микроорганизмы, обладающие пектинолитической активностью. Пектины — межклеточные вещества растительных тканей. Так, целлюлозные волокна льна склеены с окружающими их тканями — пектинами, содержание этих полисахаридов в соломе находится на уровне 3–7%. Однако содержание пектиновых веществ в лубяной части стебля льна выше, чем в древесной (по разным литературным данным, $\approx$ в 4 раза), поэтому применение препарата № 4, содержащего комплекс пектинолитических ферментов, математически обоснованно способствовало активному разложению соломы льна на начальных стадиях процесса, приводя к уменьшению ее массы до 30,6–30,7%.

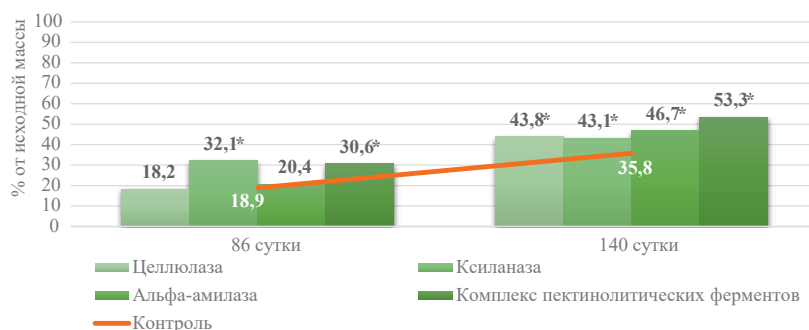
Вслед за разложением пектиновых веществ начинается интенсивное разложение клетчатки. Разложение целлюлозы могут осуществлять микроорганизмы, обладающие высокой

⁵ ГОСТ Р 51568-99 Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия.

⁶ Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХН. 2004; 162.

Рис. 1. Убыль массы соломы и пожнивно-корневых остатков льна, распределенных на поверхности почвы, при использовании ферментов, % от исходной массы

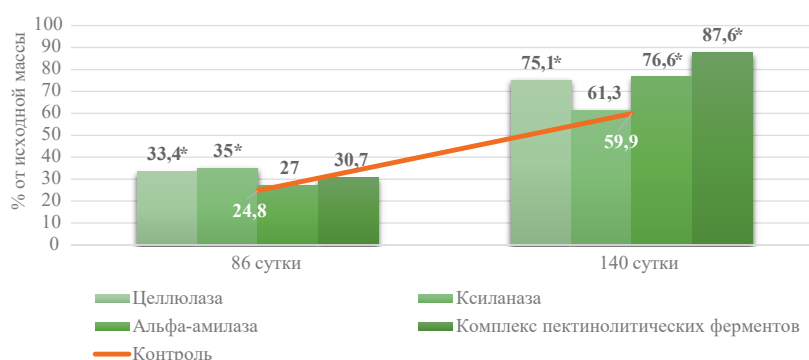
Fig. 1. Decrease in the mass of straw and crop-root residues of flax distributed on the soil surface when using enzymes, % of the initial mass



Примечание: НСР_{0,5} на 86-е сутки — 5,47; НСР_{0,5} на 140-е сутки — 1,93.

Рис. 2. Убыль массы соломы и пожнивно-корневых остатков льна, заделанных в почву, при использовании ферментов, % от исходной массы

Fig. 2. Decrease in the mass of straw and crop-root remnants of flax embedded in the soil using enzymes, % of the initial mass



Примечание: НСР_{0,5} на 86-е сутки — 6,16; НСР_{0,5} на 140-е сутки — 4,54.

специфичностью к этому веществу. Обработка пожнивно-корневых остатков препаратом № 1, содержащим целлюлазу, ускорила процесс разложения — при распределении их по поверхности почвы доказанный эффект был замечен лишь к 140-м суткам, увеличив скорость разложения на 8% по сравнению с контролем. Однако при заделке растительных остатков непосредственно в почву разница в уменьшении массы растительных остатков стала ощутимой уже через 86 суток, достигая уровня уменьшения, который наблюдался на 140-е сутки при поверхностном распределении (рис. 1, 2).

В соломе льна содержание целлюлозы, по литературным данным, варьирует в пределах 51,95–59,28% [11, 13], поэтому расщепление этого компонента значительно влияет на скорость деструкции.

Поскольку содержание крахмалистых соединений в соломе льна относительно низкое (менее 1%), активность альфа-амилазы, содержащейся в препарате № 3, будет ограничена именно этим фактором. Тем не менее даже небольшое увеличение активности деструкции соломы льна на 86-е сутки (в пределах 1,5–2,2%) может свидетельствовать о том, что фермент способен частично гидролизовать имеющиеся крахмалистые соединения,

способствуя разложению соломы и пожнивно-корневых остатков.

Спустя 140 суток (4,5 мес.) инкубации соломы и пожнивно-корневых остатков льна, заделанных в почву, зафиксирован активный процесс биохимической минерализации, убыль массы растительных остатков в контроле составила 59,9% от исходной навески. Показано, что максимальные значения убыли соломы и пожнивно-корневых остатков за весь период исследования были получены при применении препарата № 4 на основе комплекса пектинолитических ферментов при заделке растительной массы в почву — 87,6% (+27,7% к контролю), при распределении на поверхности почвы — 53,3% (+17,5% к контролю).

Как было отмечено ранее, содержание пектиновых веществ лубяной части стебля, которые вовлекаются в процесс деструкции на первых этапах инкубации, относительно высокое (3,0–7,3%). В древесной части стебля льна, доступной для трансформации микроорганизмами и ферментами на более позднем этапе разложения, содержание пектиновых веществ незначительное (0,91–2,99%), однако обработка соломы льна препаратом № 4 способствовала активизации процесса расщепления связей между целлюлозой, гемицеллюлозой и пектином и, как следствие, более глубокой деструкции органического вещества за счет повышения доступности питательных веществ для микроорганизмов, осуществляющих дальнейшую деструкцию.

При распределении растительных остатков льна по поверхности почвы на 140-е сутки различия в убыли массы между вариантами с применением препаратов № 1 (целлюлазы), № 2 (ксиланазы) и № 3 (альфа-амилазы) оказались незначительными. Показатель убыли массы варьируется в узком диапазоне — от 43,1 до 46,7%, что говорит о схожей степени разложения растительных остатков независимо от используемого препарата.

При заделке соломы и пожнивно-корневых остатков льна в почву на глубину 10 см зафиксировано разложение соломы на уровне 75,1–76,6% при применении целлюлозосодержащих (препарат № 1) и амилолитических (препарат № 3) ферментов, что выше контрольного варианта на 15,2–16,7%.

Установлены достоверные отличия в фракционном составе оставшегося растительного материала после деструкции во времени (табл. 1, 2).

Если ранжировать варианты по количеству органической массы, не прошедшей сквозь сито 6 мм, в опыте при распределении на поверхности почвы, то вариантом с максимальной минерализацией и на 86-е, и на 140-е сутки, как было обозначено выше, является вариант № 4 на основе комплекса пектинолитических ферментов — процент крупной фракции варьирует в пределах 47,4–33,6% (масса исходной навески — 1,37 г).

Как видно из таблицы 2, при заделке растительных остатков в почву содержание крупной фракции соломы и пожнивно-корневых остатков льна значительно ниже, чем при распределении на поверхности. Так, при заделке соломы в почву в контрольном варианте масса фракции > 6 мм на 86-е сутки находится на уровне варианта обработки соломы комплексом пектинолитических ферментов — 44,5%.

При применении ферментных препаратов на основе ксиланазы и альфа-амилазы на 86-е сутки процент крупной фракции растительных остатков минимальный из всех изученных вариантов — 31,4%, к 140-м суткам этот показатель равен 9,5%.

В варианте с ксиланазой масса фракции > 6 мм варьирует в пределах 50,4–39,4% при использовании ферментов с целлюлазой и альфа-амилазой, масса крупной фракции пожнивно-корневых остатков к 140-м суткам находится на уровне контрольных значений. На 86-е сутки после начала эксперимента масса крупной фракции в варианте с целлюлазой и ферментами пектинолитического комплекса составляет 37,9–39,4% соответственно. На 140-е сутки инкубации применение препарата № 4 (комплекс пектинолитических ферментов) привело практически к полной деструкции крупных солоmistых остатков — на их долю приходится 4,4% (в контроле — 16,8%). Изменение соломы до более мелких структурных единиц свидетельствует о полной и глубокой трансформации органического вещества уже на данном этапе эксперимента.

Анализируя результаты таблиц 1, 2 и сравнивая динамику деструкции соломы льна в разных моделях ее локализации на поле, подчеркнем, что «запахивание» соломы ускоряет процесс деструкции трудноразлагаемых растительных остатков. Данный факт, вероятно, связан с тесным контактом растительных остатков с почвой, которые непосредственно колонизируются микроорганизмами, принимающими участие в разложении поступившей органической массы, а также увеличением численности микробиоты,

Таблица 1. Фракционный состав соломы и пожнивно-корневых остатков льна, распределенных по поверхности почвы, после деструкции

Table 1. Fractional composition of straw and crop-root residues of flax, distributed over the soil surface, after destruction

Вариант	Фракция, г					
	86-е сутки			140-е сутки		
	> 6 мм	4 мм	1 мм	> 6 мм	4 мм	1 мм
Контроль	0,90	0,15	0,06	0,62	0,24	0,02
Препарат № 1 (целлюлаза)	0,85	0,24	0,03	0,59	0,14	0,04
Препарат № 2 (ксиланаза)	0,69	0,18	0,06	0,54	0,22	0,02
Препарат № 3 (альфа-амилаза)	0,72	0,36	0,01	0,63	0,09	0,01
Препарат № 4 (комплекс пектинолитических ферментов)	0,65	0,27	0,03	0,46	0,14	0,04
НСР _{0,5}	0,065	0,058	0,014	0,074	0,058	0,01

Таблица 2. Фракционный состав соломы и пожнивно-корневых остатков льна, заделанных в почву, после деструкции

Table 2. Fractional composition of straw and crop-root residues of flax embedded in the soil after destruction

Вариант	Фракция, г					
	86-е сутки			140-е сутки		
	> 6 мм	4 мм	1 мм	> 6 мм	4 мм	1 мм
Контроль	0,61	0,30	0,12	0,23	0,28	0,04
Препарат № 1 (целлюлаза)	0,52	0,21	0,18	0,12	0,21	0,01
Препарат № 2 (ксиланаза)	0,43	0,32	0,14	0,13	0,29	0,11
Препарат № 3 (альфа-амилаза)	0,43	0,41	0,16	0,13	0,16	0,03
Препарат № 4 (комплекс пектинолитических ферментов)	0,54	0,28	0,13	0,06	0,05	0,06
НСР _{0,5}	0,038	0,055	0,032	0,028	0,046	0,025

локализуемой в смежном слое почвы, в котором аккумулируются азот и углерод, выделяющийся при разложении растительных остатков.

Данные таблицы 3 показывают, что в модельном опыте фактор локализации соломы и пожнивно-корневых остатков льна на (в) почве значим во времени. Так, на 86-е сутки разница в убыли массы между растительными остатками льна, распределенными на поверхности почвы и заделанными в почву, незначительна при применении препарата № 4 на основе комплекса пектинолитических ферментов (0,1%), при этом к 140-м суткам разница в деструкции расширяется до максимальных значений — 34,3%.

Подобная тенденция зависимости убыли массы соломы и пожнивно-корневых остатков льна от места ее распределения прослеживается во всех вариантах: целлюлаза (31,3%), альфа-амилаза (29,9%), ксиланаза (18,2%).

Таблица 3. Разница в изменении массы между пожнивно-корневыми остатками льна при распределении их по поверхности почвы и при заделке в почву, %

Table 3. The difference in weight change between the crop-root remnants of flax when they are distributed over the soil surface and when embedded in the soil, %

Вариант	86-е сутки	140-е сутки
Контроль	5,9	24,1
Препарат № 1 (целлюлаза)	15,2	31,3
Препарат № 2 (ксиланаза)	2,9	18,2
Препарат № 3 (альфа-амилаза)	6,6	29,9
Препарат № 4 (комплекс пектинолитических ферментов)	0,1	34,3

Этот факт необходимо учитывать в полевых условиях, так как растительные остатки, не заделанные в почву, быстрее пересыхают и подвергаются ультрафиолетовому излучению, пагубно воздействующему на большинство микроорганизмов — конечных потребителей мертвой органики. Разница в убыли массы трудноразлагаемых остатков льна может быть еще существеннее.

Выводы/Conclusions

В ходе проведенных модельных испытаний была отмечена значительная эффективность при использовании ксиланазы в дозировке 10 г/т растительной массы на ранних стадиях деструкции соломы и пожнивно-корневых остатков. Это позволяет сократить время, необходимое для полного разложения послеуборочных остатков, что особенно важно в условиях ограниченного

времени между сельскохозяйственными сезонами.

Продемонстрирована высокая эффективность ферментного комплекса, обладающего пектинлиазной, экзоксилазной и пектинолитической активностями, при норме внесения 40 г/т, показана его ключевая роль в процессах деструкции трудноразлагаемых растительных остатков.

Однако стоит отметить, что исследования проводили при значениях влажности, температуры и pH почвы, соответствующих оптимальным условиям активности ферментов. В реальных условиях почв Сибири результаты могут отличаться от лабораторных данных. Поэтому исходная информация, полученная в ходе эксперимента, может служить отправной точкой для дальнейших обсуждений и проверок в конкретных почвенно-климатических условиях.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.
Вклад в работу: Кармач А.А. — 70%, Костенко С.С. — 30%.
Написание рукописи и ответственность за плагиат: Кармач А.А. — 70%, Костенко С.С. — 30%.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for the work and the data presented.
Contribution to the work: Karmach A.A. — 70%, Kostenko S.S. — 30%.
Manuscript writing and responsibility for plagiarism: Karmach A.A. — 70%, Kostenko S.S. — 30%.
The authors declared no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Русакова И.В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах. *Juvenis scientia*. 2018; (9): 4–9. <https://doi.org/10.32415/jsientia.2018.09.01>
2. Косых Л.А. Лен масличный — культура пищевого использования (обзор). *Аграрная наука*. 2021; (10): 56–59. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-56-59>
3. Тимохин А.Ю., Бойко В.С., Михайлов В.В. Отзывчивость льна масличного на различный уровень минерального питания в лесостепи Западной Сибири. *Аграрная наука*. 2024; 1(8): 168–172. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-168-172>
4. Понажев В.П., Козьякова Н.Н. Методы ускоренного создания обновленных семян льна высокого качества в первичном семеноводстве. *Аграрная наука*. 2024; 1(9): 114–118. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-114-118>
5. Kögel-Knabner I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002; 34(2): 139–162. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00158-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00158-4)
6. Дедов А.А., Дедов А.В., Несмеянова М.А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном и продуктивность культур севооборота. *Агрохимия*. 2016; (6): 3–8. <https://elibrary.ru/whgkft>
7. Сергеенко Л.А., Логвинова А.С., Болтовский В.С. Подготовка соломы зерновых культур к биотехнологической переработке. *Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология*. 2020; (1): 173–182. <https://elibrary.ru/diuxvm>
8. Ворошилова Е.Е., Гисматулина Ю.А., Золотухин В.Н. Химический состав соломы льна-межеумка и влияние способа получения на свойства образцов целлюлозы из нее. *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности. Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием*. Бийск: Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. 2015; 261–264. <https://elibrary.ru/uypqsb>
9. Khan S.H., Rahman M.Z., Haque M.R., Hoque M.E. Characterization and Comparative Evaluation of Structural, Chemical, Thermal, Mechanical, and Morphological Properties of Plant Fibers. Khiari R., Jawaid M., Belgacem M.N. (eds.). *Annual Plant: Sources of Fibres, Nanocellulose and Cellulosic Derivatives. Processing, Properties and Applications*. Singapore: Springer. 2023; 1–45. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2473-8_1
10. Корчагина А.А., Гладышева Е.К., Будаева В.В., Скиба Е.А. Химический состав волокна и костры лубяных культур и продуктов их щелочной делигнификации. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2023; 13(4): 621–630. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-4-621-630>

REFERENCES

1. Rusakova I.V. Biopreparations for decomposition of plant residues in agroecosystems. *Juvenis scientia*. 2018; (9): 4–9 (in Russian). <https://doi.org/10.32415/jsientia.2018.09.01>
2. Kosykh L.A. Oilseed flax — a culture of food use (review). *Agrarian science*. 2021; (10): 56–59 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-56-59>
3. Timokhin A.Yu., Boyko V.S., Mikhailov V.V. Response of oilseed flax to different level of mineral nutrition in the forest-steppe of Western Siberia. *Agrarian science*. 2024; 1(8): 168–172 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-168-172>
4. Ponazhev V.P., Kozzyakova N.N. Methods for the accelerated creation of updated high-quality flax seeds in primary seed production. *Agrarian science*. 2024; 1(9): 114–118 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-386-9-114-118>
5. Kögel-Knabner I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002; 34(2): 139–162. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00158-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00158-4)
6. Dedov A.A., Dedov A.V., Nesmeyanova M.A. The dynamics of decomposition of vegetable residues in typical chernozem and the productivity of crop rotation. *Agricultural Chemistry*. 2016; (6): 3–8 (in Russian). <https://elibrary.ru/whgkft>
7. Sergeenko L.A., Logvinova A.S., Boltovsky V.S. Grain crops straw preparing for biotechnological processing. *Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*. 2020; (1): 173–182 (in Russian). <https://elibrary.ru/diuxvm>
8. Voroshilova E.E., Gismatulina Yu.A., Zolotukhin V.N. Chemical composition of flax-mezhumka and the influence of the method of obtaining on the properties of pulp samples from it. *Technologies and equipment of chemical, biotechnological and food industries. Proceedings of the VIII All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists with international participation*. Biysk: Biysk Institute of Technology (branch) of Polzunov Altai State Technical University. 2015; 261–264 (in Russian). <https://elibrary.ru/uypqsb>
9. Khan S.H., Rahman M.Z., Haque M.R., Hoque M.E. Characterization and Comparative Evaluation of Structural, Chemical, Thermal, Mechanical, and Morphological Properties of Plant Fibers. Khiari R., Jawaid M., Belgacem M.N. (eds.). *Annual Plant: Sources of Fibres, Nanocellulose and Cellulosic Derivatives. Processing, Properties and Applications*. Singapore: Springer. 2023; 1–45. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2473-8_1
10. Korchagina A.A., Gladysheva E.K., Budaeva V.V., Skiba E.A. Chemical composition of fiber and shive in bast-fiber crops and the products of their alkaline delignification. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2023; 13(4): 621–630 (in Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-4-621-63>

11. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА. 2005; 301.
ISBN: 5-9238-0040-3
<https://elibrary.ru/pzlllyx>

12. Русакова И.В. Эффективность биопрепарата «Органит Стерн» как деструктора соломы. *Владимирский земледелец*. 2022; (4): 38–43.
<https://doi.org/10.24412/2225-2584-2022-4-38-43>

13. Бондаренко Н.А., Антонова О.И. Приемы повышения разложения соломы и обеспеченности питательными веществами. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2021; (5): 11–16.
<https://elibrary.ru/dzxbwrw>

14. Чуйан Н.А., Брескина Г.М. Влияние биопрепаратов на показатели биологической активности чернозема типичного слабоэродированного. *Аграрный вестник Урала*. 2022; (5): 21–32.
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-220-05-21-32>

15. Богатырева Е.В. Влияние биопрепаратов на темпы разложения соломы и остатков озимой пшеницы и продуктивность чернозема обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения. *Земледелие*. 2015; (8): 34–36.
<https://elibrary.ru/uybudv>

ОБ АВТОРАХ

Анна Анатольевна Кармач¹
кандидат биологических наук, микробиолог
fitolab@agrodoctor.ru
<https://orcid.org/0009-0008-1688-1961>

Сергей Сергеевич Костенко²
руководитель испытательной лаборатории
агрохимии и фитопатологии
kss@sibbio.ru

¹ АО «Агродоктор»,
Территория 2-я промышленная зона, здание 12,
с. п. Криводановский сельсовет, мкр-н Новосибирский,
Новосибирская обл., 630512, Россия

² ООО ПО «Сиббиофарм»
ул. Химзаводская, 11/1, Бердск, Новосибирская обл.,
633004, Россия

11. Zavalin A.A. Bio-preparations, fertilizers and harvest. Moscow: All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry. 2005; 301 (in Russian).
ISBN: 5-9238-0040-3
<https://elibrary.ru/pzlllyx>

12. Rusakova I.V. Efficiency of the bio-based product “Organit Stern” as a straw destructor. *Vladimir agricolist*. 2022; (4): 38–43 (in Russian).
<https://doi.org/10.24412/2225-2584-2022-4-38-43>

13. Bondarenko N.A., Antonova O.I. The techniques to increase straw decomposition and nutrient supply. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2021; (5): 11–16 (in Russian).
<https://elibrary.ru/dzxbwrw>

14. Chuyan N.A., Breskina G.M. The effect of biological preparations on the indicators of biological activity of typical slightly eroded chernozem. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; (5): 21–32 (in Russian).
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-220-05-21-32>

15. Bogatyreva E.V. Influence of biological preparations on the rates of decomposition of straw residues of winter wheat and fertility of typical chernozem in the zone of unstable moistening. *Zemledelie*. 2015; (8): 34–36 (in Russian).
<https://elibrary.ru/uybudv>

ABOUT THE AUTHORS

Anna Anatolyevna Karmach¹
Candidate of Biological Sciences, Microbiologist
fitolab@agrodoctor.ru
<https://orcid.org/0009-0008-1688-1961>

Sergey Sergeevich Kostenko²
Head of the Experimental Laboratory
of Agrochemistry and Phytopathology
kss@sibbio.ru

¹JSC “Agrodoctor”,
12 territory 2nd Industrial zone, Krivodanovsky village
settlement, Novosibirsk District, Novosibirsk region, 630512,
Russia

² LLC PA Sibbiopharm
11/1 Khimzavodskaya Str., Berdsk, Novosibirsk region,
633004, 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 633.11:631.8

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-91-97

Н.А. Рябцева

Донской государственный аграрный университет, пос. Персиановский, Ростовская обл., Россия

✉ rjbtseva@mail.ru

Поступила в редакцию: 26.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Рябцева Н.А.

Влияние регулятора роста «Костандо, КЭ» на продуктивность озимой пшеницы

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Возможность управлять агроценозом озимой пшеницы в течение вегетации, особенно биологическими препаратами, является актуальным звеном в современном растениеводстве. С точки зрения экологии и стабильности валовых сборов озимой пшеницы в условиях изменяющегося климата это особенно востребовано сельхозпроизводителями.

Методы. Опыты были проведены в 2021/24 сельскохозяйственных годах в условиях приазовской зоны Ростовской области. Объекты исследования — озимая пшеница сортов Станичная и Лидия и регулятор роста «Костандо, КЭ» (тринексапак-этил) по вегетации культуры.

Результаты. Установлено положительное влияние биопрепарата «Костандо, КЭ» на выживаемость растений пшеницы к уборке (+8–9%), продуктивную и общую кустистость (+13–22%), длину колоса (+1,1–1,2 см), урожайность (+24–25%) и устойчивость к полеганию (4 и 5 баллов), а также на уменьшение длины междоузлий и утолщение стебля (+0,1–0,5 мм). Дробное применение по вегетации «Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га) по совокупному действию в агроценозе показало наилучшие результаты. Наибольшая урожайность получена при дробном использовании регулятора роста «Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га) 5,09 т/га у сортов Станичная и Лидия соответственно.

Ключевые слова: озимая пшеница, регулятор роста растений, зерно, урожайность, выживаемость

Для цитирования: Рябцева Н.А. Влияние регулятора роста «Костандо, КЭ» на продуктивность озимой пшеницы. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 91–97.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-91-97>

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-91-97

Natalia A. Ryabtseva

Don State Agrarian University, Persianovsky settlement, Rostov region, Russia

✉ rjbtseva@mail.ru

Received by the editorial office: 26.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Ryabtseva N.A.

The effect of the “Costando, KE” growth regulator on the productivity of winter wheat

ABSTRACT

Relevance. The ability to manage the agroecosystems of winter wheat during the growing season, especially with biological preparations, is an important link in modern crop production. From the point of view of ecology and the stability of gross winter wheat harvests in a changing climate, this is especially in demand by agricultural producers.

Methods. The experiments were conducted in 2021/24 agricultural years in the conditions of the Azov zone of the Rostov region. The objects of research are winter wheat of the Stanichnaya and Lydia varieties, and the growth regulator “Costando, KE” (Trinexapac-ethyl) for the vegetation of the crop.

Results. The positive effect of the “Costando, KE” biopreparation on the survival of wheat plants for harvesting (+8–9%), productive and general bushiness (+13–22%), ear length (+1.1–1.2 cm), yield (+24–25%) and resistance to lodging (4 and 5 marks), as well as reducing the length of the internodes and thickening the stem (+0.1–0.5 mm). Fractional application of “Costando, KE” (0.2 + 0.2 l/ha) in vegetation showed the best results in terms of cumulative effect in the agroecosystem. The highest yield was obtained with the fractional use of the “Costando, KE” growth regulator (0.2 + 0.2 l/ha) 5.09 t/ha for Stanichnaya and Lydia varieties, respectively.

Key words: winter wheat, plant growth regulator, grain, yield, survival

For citation: Ryabtseva N.A. The effect of the “Costando, KE” growth regulator on the productivity of winter wheat. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 91–97 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-91-97>

Введение/Introduction

Одна из причин недобора урожая зерновых культур — полегание посевов, которое приводит к ухудшению налива зерна и усложняет уборку [1].

Известно, что биопрепараты обладают способностью морфорегуляции культур. Так, многолетние исследования И.Г. Бруй (2023 г.) показали влияние на рост растений озимой пшеницы, устойчивость к полеганию, формирование элементов продуктивности и урожайность препаратов на основе тринексапак-этила («Моддус, КЭ», «Костандо, КЭ», «Перфект, КЭ», «Кальма, КЭ») и прогексадиона кальция с мепикват-хлоридом («Мессидор, КС»).

Обработка в фазе BBCH¹ 31-32 (фаза 1-го и 2-го узла) увеличивала устойчивость к полеганию до 7,6–9,0 баллов и сохраняла в среднем 13,1–14,9% зерна. Двукратное (дробное) применение регуляторов роста при достаточной влагообеспеченности в фазы BBCH 31-32 и BBCH 39-49 (формирование флагового листа и колоса) повышало устойчивость к полеганию культуры до 8,5–9,0 баллов и сохраняло в среднем 5,5–14,0% зерна [2].

Исследования в условиях Нечерноземной зоны на дерново-подзолистой почве по оценке эффективности применения различных форм ретардантов в посевах пшеницы показали, что комбинированный препарат на основе хлормекватхлорида с тринексапак-этилом независимо от обеспеченности растений пшеницы влагой эффективнее снижал высоту растений пшеницы по сравнению с однокомпонентными препаратами на основе тринексапак-этила «Моддус, КЭ» (ООО «Агро Эксперт Групп», РФ) и на основе хлормекватхлорида «Центрино, ВК» (ООО «Сингента», Швейцария), а также положительно влиял на формирование урожая [3].

Е.В. Стрелкова (2022 г.) опытным путем доказала влияние регуляторов роста на основе прогексадиона кальция с мепикват-хлоридом («Мессидор, КС») и на основе тринексапак-этила «Костандо, КЭ» (АО «Щёлково Агрохим», РФ) на показатели листовой диагностики и хозяйственную эффективность озимой пшеницы [4].

Результаты исследований С.В. Лисицына и Л.Г. Шашкарова (2023 г.) показали, что использование ретардантов и ингибиторов на основе хлормекватхлорида «Регги, ВРК» (АО Фирма «Август», РФ) — 1,0 л/га, на основе тринексапак-этила «Костандо, КЭ» (АО «Щёлково Агрохим», РФ) — 0,4 л/га, на основе этефона «ХЭФК, ВР» (АО «Щёлково Агрохим», РФ) — 0,5 л/га, на основе хлормекватхлорида «Антивылегал, ВР» (ООО «АДАМА РУС», Нидерланды) — 1,5 л/га позволяет привести сроки созревания растения в соответствие с расписанием и повысить урожайность при соблюдении технологических норм возделывания культур [5].

Е.И. Литвищенко и Е.М. Фалынсков (2023 г.) изучали влияние регулятора роста растений ретардантного типа на основе этефона «ХЭФК, ВР» (АО «Щёлково Агрохим», РФ) на устойчивость к полеганию и урожайность озимой пшеницы сорта Миссия в приазовской зоне Ростовской области. Ученые сделали вывод, что применение данного препарата предупреждает полегание посевов озимой пшеницы, а наибольшая прибавка урожайности получена при обработке посевов в конце фазы выхода в трубку нормой 1,0 л/га и 0,5 л/га и составила 0,86 т/га и 0,40 т/га [6]. А в условиях северо-восточной части Дивеевского района на серой лесной среднесуглинистой почве при обработке посевов росторегулятором на основе этефона «ХЭФК, ВР» (АО «Щёлково Агрохим», РФ) в дозах 0,5 л/га и 1,0 л/га сформировалась наивысшая урожайность зерна озимой пшеницы — 4,07 т/га и 4,12 т/га, что превысило контроль на 0,29 т/га и 0,34 т/га [7].

В последние годы возрастает интерес к нетрадиционным методам земледелия и растениеводства с использованием биологических способов защиты и питания растений, позволяя существенно снизить применение ядохимикатов и уменьшить нормы удобрения [8, 9]. Установлено, что часто причинами получения семян низких урожайных и посевных качеств пшеницы озимой являются полегание посевов и развитие вредоносных болезней.

Предотвратить данные негативные явления можно за счет применения баковой смеси регулятора роста «Вымпел 2, КЭ» (АО «ФМРУС» (0,5 л/га), РФ) с микроудобрением «Оракул колофермин меди» (ГК «Долина», РФ) (1,0 л/га) в фазу «выход в трубку — колошение» [10].

Установлено, что регуляторы роста на основе этефона «ХЭФК, ВР» (АО «Щёлково Агрохим», РФ) и на основе хлормекватхлорида «Стабилан, ВР» («НУФАРМ ГмбХ & Ко КГ», Австрия) положительно влияют при обработке семенного материала и посевов озимой пшеницы на ростовые процессы растений на начальных этапах онтогенеза, на урожайные и качественные показатели зерна (прибавка урожайности к контролю 1,36 т/га) [11].

О.В. Саратовская (2024 г.) рекомендует для предотвращения полегания посевов озимой пшеницы в Ростовской области по предшественнику чистый пар использовать регулятор роста растений на основе этефона «ХЭФК, ВР» (АО «Щёлково Агрохим», РФ) дозой 0,75–1,00 л/га [12].

С.Б. Говоркова и С.И. Воронов (2014 г.) в условиях Центрального района Нечерноземной зоны Российской Федерации на дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах рекомендуют использовать регулятор роста с ретардантными

¹ BBCH — сокращение от названий организаций, которые принимали участие в разработке: В — Biologische Bundesanstalt for Land- und Forstwirtschaft (Биологическое федеральное учреждение сельского и лесного хозяйства), В — Bundessortenamt (Федеральное сортовое управление), СН — Chemische Industrie (химическая промышленность в составе Объединения аграрной промышленности).

свойствами на основе хлормекватхлорида «Регги, ВРК» (АО Фирма «Август», РФ) в дозе 1,5 л/га в фазу «кущение — начало выхода в трубку» с расходом рабочего раствора 300 л/га [13].

В звене севооборота «черный пар — озимая пшеница» в условиях дерново-подзолистых почв западной части Московской области с нормами высева (5,0, 5,5 и 6,0 млн. всхожих семян / га) установлено, что наибольший фотосинтетический потенциал накапливался в варианте с нормой высева 550 шт/м² и применением регулятора роста «Мессидор» 1727 тыс. м² сут/га.

Наибольшая сухая масса накапливалась в вариантах без регуляторов роста, затем с регулятором роста на основе хлормекватхлорида «ЦеЦеЦе 750» («БАСФ СЕ», Германия), далее в вариантах с регулятором роста на основе хлормекватхлорида «Регги, ВРК» (АО Фирма «Август», РФ).

Наибольшая биологическая урожайность озимой пшеницы формировалась в варианте с нормой высева 550 шт/м² и применением регулятора роста на основе прогексадион кальция с мепикват-хлоридом «Мессидор, КС» («БАСФ СЕ», Германия) 8,58 т/га. Наиболее высокими показателями качества зерна отмечены в варианте озимой пшеницы сорта Немчиновская 17 с обработкой регулятором роста на основе хлормекватхлорида «Регги, ВРК» (АО Фирма «Август», РФ) 1,5 л/га, содержание белка составило 16,4%, а клейковины — 37,6% [14].

Установлено положительное действие регулятора роста ретардантного типа на основе пибрасинолида, ортодифенолы с метионином (0,40 л/га) в посевах озимой пшеницы в Липецкой и Воронежской областях. Применение препарата замедляло рост растений, стимулировало развитие колоса озимой пшеницы (+1,3 см), повышало общую кустистость озимой пшеницы (на 45,0–46,4%), продуктивность (на 38,8–40,1%), увеличивало длину колоса (на 0,5–0,6 см), количество колосков в колосе (на 0,4–0,6 шт.) и количество зерен в колосе (на 1,8–2,3 шт.), повысило урожайность озимой пшеницы на 27,4–28,0 ц/га [15].

Таким образом, анализ данных, полученных учеными, показал, что дальнейшие изыскания в этом направлении актуальны, их углубленное изучение необходимо и своевременно.

Цель исследования — изучить влияние регулятора роста ретардантного типа на основе

тринексапак-этила «Костандо, КЭ» (АО «Щёлково Агрохим», РФ) на продуктивность озимой пшеницы.

Это предусматривает следующие задачи: изучение всхожести и выживаемости растений пшеницы, длины междоузлий, толщины стебля, общей и продуктивной кустистости, количества зерен в колосе и его длины, массы 1000 зерен, полегаяемости, урожайности зерна.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Полевые опыты проводили на черноземных почвах (чернозем обыкновенный карбонатный сверхмощный тяжелосуглинистый) в условиях КФХ «ИП Рябцев Е.Н.» приазовской зоны Ростовской области Российской Федерации в 2021/24 сельскохозяйственных годах.

В пахотном слое 0–30 см содержится гумуса 4,8%, плотность — 0,96–1,1 г/см³, общая скважность составляет 56–60%, что обуславливает хорошую водопроницаемость почвы и капиллярное поднятие влаги из нижележащих горизонтов в засуху.

По содержанию усвояемого азота и подвижного фосфора почвы относятся к низкообеспеченным, а обменного калия — к достаточным². По совокупности признаков и свойств почвы благоприятны для возделывания сельскохозяйственных культур.

Объекты исследования — озимая пшеница сортов Станичная³ и Лидия⁴ (патентообладатель и оригинатор ФГБНУ «АНЦ «Донской»», г. Зерноград) и регулятор роста ретардантного типа «Костандо, КЭ»⁵ (тринексапак-этил) (АО «Щёлково Агрохим», Россия).

Делянки (25 м²) размещены последовательно в 3-кратной повторности. Посев рядовым способом ручной сеялкой «Пахарь» (ООО «Пахарь», РФ) при достижении физической спелости почвы в рекомендованные для зоны сроки с нормой высева 4 млн шт/га всхожих семян на глубину 4–6 см, предшественник — чистый пар. Технология выращивания, рекомендованная Н.Н. Вошедским, И.Н. Ильинской, О.А. Целуйко и др. (2022 г.) и разработанная АНЦ «Донской»⁶.

В системе удобрений и защите растений использовали: под культивацию (август) «Аммофос» (130 кг/га); «Сульфат аммония» (200 кг/га, дважды: декабрь — январь, март — апрель); «Карбамид»

² Агафонов Е.В., Полуэктов Е.В. Почвы и удобрения Ростовской области. Ростов-на-Дону. 1995; 284.

³ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений».

Режим доступа: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/stanichnaya-pshenitsa-miyagkaya-ozimaya/?ysclid=mb3adrfffl320320043>

⁴ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений».

Режим доступа: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/lidiya-pshenitsa-miyagkaya-ozimaya/?ysclid=mb3a79vthy495532552>

⁵ «Костандо, КЭ» (регуляторы роста растений, пестициды) — АгроXXI.

Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/goshandbook/prep/kostando-ke-2.html?ysclid=mb3agb701w723195070py> роста растений, пестициды) — АгроXXI

⁶ Эколого-адаптивная технология возделывания новых сортов озимой пшеницы для различных типов агроландшафтов Ростовской области: рекомендации / Вошедский Н.Н., Ильинская И.Н., Целуйко О.А. и др. ФГБНУ ФРАНЦ. пос. Рассвет: Азов Принт. 2022; 68.

Таблица 1. Схема опыта
Table 1. Scheme of experience

Фактор А — сорт озимой пшеницы	Фактор В — условие применения биопрепарата	Способ, время обработки, особенности применения
Станичная	Контроль (без применения биопрепарата)	—
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	Опрыскивание растений в фазе кущения — начала выхода в трубку весной. Расход рабочей жидкости 200 л/га.
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	Опрыскивание растений в фазе кущения — начала выхода в трубку весной. Расход рабочей жидкости 200 л/га.
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	Опрыскивание растений: первое — в фазе начала кущения (осенью), второе — в период выхода в трубку. Расход рабочей жидкости 200 л/га.
Лидия	Контроль (без применения биопрепарата)	—
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	Опрыскивание растений в фазе кущения — начала выхода в трубку весной. Расход рабочей жидкости 200 л/га.
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	Опрыскивание растений в фазе кущения — начала выхода в трубку весной. Расход рабочей жидкости 200 л/га.
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	Опрыскивание растений: первое — в фазе начала кущения (осенью), второе — в период выхода в трубку. Расход рабочей жидкости 200 л/га.

(18 кг/га, март — апрель); «Статус Макс, ВДГ» (0,04 кг/га); «Альтерр, КЭ» (0,10 кг/га); «Новус-Ф, КС» (0,60 л/га, март — апрель); «Фильтерр, КЭ» (0,50 л/га); «Альтерр, КЭ» (0,10 л/га, май; «Органза, КС» (0,15 л/га, июнь).

В исследованиях использовали такую методику, как закладка опыта, наблюдения за ростом и развитием (всхожестью, выживаемостью, длиной междоузлий, толщиной стебля, кустистостью, количеством зерен в колосе, урожайностью, полегаемостью по пятибалльной шкале⁷, массой 1000 зерен⁸). Статистическую обработку данных (выживаемость растений к уборке — процент растений от количества высеванных семян; длину междоузлий — расстояние между междоузлиями (нумерация от поверхности почвы) и дисперсионный анализ коэффициента кущения — количество стеблей с колосом на одном растении, количество зерен в колосе (среднее количество зерен в колосе у растений с 1 м²) и масса 1000 зерен урожайность (HCP₀₅) проводили с использованием Microsoft Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В годы опытов климатические условия были различными и отличались от среднемноголетних показателей⁹. Установлено, что во время эксперимента сумма средних температур воздуха и количество осадков были выше среднемноголетних показателей — на 10 °С и 96,7 мм соответственно.

Рис. 1. Средняя температура воздуха, °С
Fig. 1. Average air temperature, °C

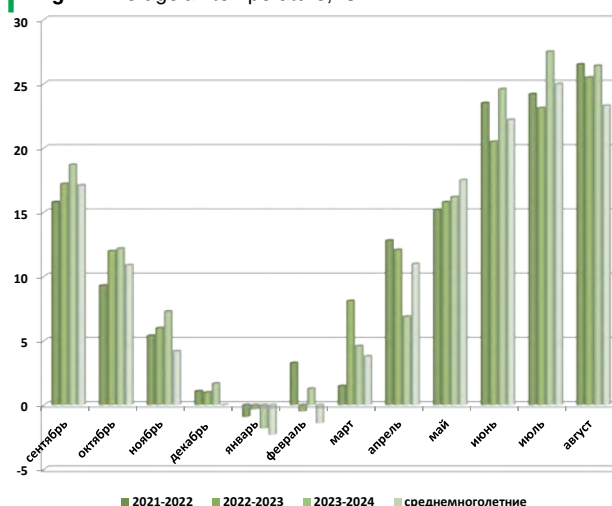
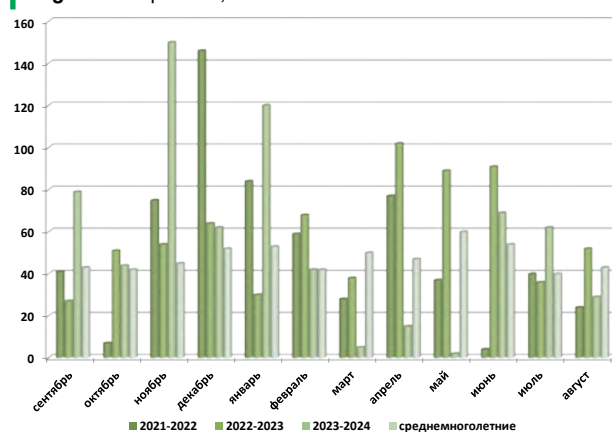


Рис. 2. Количество осадков, мм
Fig. 2. Precipitation, mm



Неблагоприятные условия весеннего периода 2024 года (заморозки) привели к снижению выживаемости растений (рис. 1, 2).

В среднем за три года полевая всхожесть семян составила 85%. В дальнейшем на рост и развитие растений влияли в том числе сортовые особенности пшеницы и применение биопрепарата «Костандо, КЭ» (табл. 2).

Таблица 2. Выживаемость растений озимой пшеницы (2022–2024 гг.), %

Table 2. Survival rate of winter wheat plants (2022–2024), %

Фактор А — сорт озимой пшеницы	Фактор В — условие применения биопрепарата	Выживаемость растений к уборке, %
Станичная	Контроль (без применения биопрепарата)	70
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	73
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	75
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	79
Лидия	Контроль (без применения биопрепарата)	70
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	74
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	75
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	78
HCP ₀₅		2

⁷ Федин М.А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва. 1983; 3.

⁸ ГОСТ 10842-89 Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян.

⁹ Местоположение метеостанции «Аэропорт Платов» (Ростовская обл., Россия): широта 47.49, долгота 39.92, высота над уровнем моря 84 м.

Анализ данных показал, что наибольшая выживаемость растений была на варианте с дробным внесением препарата «Костандо, КЭ» — 78–79%, что больше контроля на 8–9%. Достоверно доказано (на 95%-ном уровне достоверности), что применение биопрепарата «Костандо, КЭ» увеличивает выживаемость растений к уборке.

Стебель озимой пшеницы разделен узлами на участки (междоузлия), длина которых возрастает вверх по стеблю и влияет на устойчивость к полеганию (табл. 3). На варианте без использования биопрепарата сумма 1 и 2 междоузлий была 9,1–9,2 мм. Использование однократно препарата «Костандо, КЭ» замедлило рост междоузлий и сумма 1-го и 2-го составила 8,7–8,9 мм. Дробное внесение биопрепарата сократило длину до 7,9–8,0 мм.

Применение «Костандо, КЭ» замедлило рост 3–6 междоузлий, сумма составила 66,3–67,8 мм. В то же время толщина стебля увеличилась на 0,1–0,5 мм. Это повысило устойчивость к полеганию растений. На контроле полегание составило 3 балла — среднее, которое характеризуется наклоном стеблей к поверхности почвы примерно под углом 45° (оценка 3 по 5-балльной шкале). Слабое полегание пшеницы (4 балла), когда стебли лишь слегка наклонены, наблюдало на вариантах при однократном внесении препарата «Костандо, КЭ» (0,2 л/га и 0,4 л/га). Отсутствие полегания пшеницы было при дробном внесении биопрепарата «Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га).

В годы проведения эксперимента продуктивная кустистость была в пределах 1,6–1,8. Использование

биопрепарата «Костандо, КЭ» повлияло на ее увеличение (табл. 4).

В годы опытов наибольшее количество стеблей, в том числе продуктивных, было на варианте с использованием препарата «Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га), что больше контроля на 13% у сорта Станичная и на 22% у сорта Лидия.

Под влиянием биопрепарата длина колоса увеличилась в среднем на 1,2 см у сорта Станичная и на 1,1 см у сорта Лидия (табл. 5).

Количество зерен в колосе варьировало от 26,0 до 26,2 шт., масса 1000 зерен — 40,5–41,5 г.

В ходе исследований средняя урожайность на контроле достигла показателя 4,06 т/га у сорта Лидия и 4,10 т/га у сорта Станичная, демонстрируя

Таблица 4. Показатели побегообразования и кустистости озимой пшеницы в период уборки урожая (2022–2024 гг.)

Table 4. Indicators of shoot formation and bushiness of winter wheat during the harvest period (2022–2024)

Фактор А — сорт озимой пшеницы	Фактор В — условие применения биопрепарата	Количество побегов (растений) озимой пшеницы, шт/м ²	Количество продуктивных побегов озимой пшеницы, шт/м ²	Коэффициент продуктивной кустистости
Станичная	Контроль (без применения биопрепарата)	238,0	380,8	1,6
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	248,2	421,9	1,7
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	255,0	433,5	1,7
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	268,6	483,5	1,8
Лидия	Контроль (без применения биопрепарата)	241,4	386,2	1,6
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	251,6	427,7	1,7
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	255,0	433,5	1,7
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	262,2	472,0	1,8
НСР ₀₅		9,3	12,6	0,04

Таблица 3. Длина междоузлий и толщина стебля озимой пшеницы, мм

Table 3. The length of the internodes and the thickness of the stem of winter wheat, mm

Фактор А — сорт озимой пшеницы	Фактор В — условие применения биопрепарата	Длина междоузлия, мм						Сумма 1–2 междоузлий	Сумма 3–6 междоузлий	Толщина стебля	Коэффициент полегания
		1	2	3	4	5	6				
Станичная	Контроль (без применения биопрепарата)	1,7	7,5	10,1	13,0	17,9	27,6	9,2	68,6	2,5	3
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	1,6	7,2	9,9	12,8	17,7	27,5	8,8	67,9	2,6	4
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	1,6	7,3	9,7	12,6	17,5	27,4	8,9	67,2	2,8	4
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	1,5	6,5	9,5	12,4	17,3	27,1	8,0	66,3	3,0	5
Лидия	Контроль (без применения биопрепарата)	1,8	7,3	10,2	13,0	17,7	27,9	9,1	68,8	2,7	3
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	1,6	7,2	10,0	12,7	17,5	27,6	8,8	67,8	2,8	4
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	1,7	7,0	9,6	12,6	17,4	27,5	8,7	67,1	2,8	4
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	1,5	6,4	9,5	12,5	17,1	27,3	7,9	66,4	3,0	5
НСР ₀₅								0,1	0,2	0,03	

Таблица 5. Длина колоса, количество зерен в колосе и масса 1000 зерен озимой пшеницы

Table 5. The length of the ear, the number of grains in the ear and the weight of 1000 grains of winter wheat

Фактор А — сорт озимой пшеницы	Фактор В — условие применения биопрепарата	Длина колоса, см	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
Станичная	Контроль (без применения биопрепарата)	9,3	26,1	41,3
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	10,1	26,2	41,4
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	10,4	26,2	41,5
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	11	26	40,5
Лидия	Контроль (без применения биопрепарата)	9,5	26	41
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	9,9	26,1	41,1
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	10,6	26,1	41,3
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	11,2	26	41
НСР ₀₅		0,3	0,05	0,03

стабильность в условиях приазовской зоны Ростовской области. На всех вариантах с использованием биопрепарата «Костандо, КЭ» отмечена статистически значимое ($p < 0,05$) увеличение урожайности зерна озимой пшеницы. Наибольшая урожайность получена при дробном использовании биопрепарата «Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га) 5,09 т/га, что составило 24% и 25%, соответственно, у сортов Станичная и Лидия (табл. 6).

Увеличение урожайности зерна пшеницы по сравнению с контролем с однократным применением «Костандо, КЭ» (0,2 л/га) составило 11,5% и 13% у сортов Станичная и Лидия, а в дозе 0,4 л/га — 15%.

Таблица 6. Урожайность озимой пшеницы (2022–2024 гг.), т/га

Table 6. Winter wheat yield (2022–2024), t/ha

Фактор А — сорт озимой пшеницы	Фактор В — условие применения биопрепарата	Урожайность, т/га	Увеличение урожайности к контролю, т/га
Станичная	Контроль (без применения биопрепарата)	4,10	
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	4,58	0,48
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	4,71	0,61
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	5,09	0,99
Лидия	Контроль (без применения биопрепарата)	4,06	
	«Костандо, КЭ» (0,2 л/га)	4,59	0,43
	«Костандо, КЭ» (0,4 л/га)	4,67	0,51
	«Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га)	5,09	0,93
НСР A ₀₅		0,21	
НСР B ₀₅		0,33	
НСР AB ₀₅		0,19	

Выводы/Conclusions

Установлено положительное влияние регулятора роста «Костандо, КЭ» на выживаемость растений пшеницы к уборке (+8–9%), продуктивную и общую кустистость (+13–22%), длину колоса (+1,1–1,2 см), урожайность (+24–25%) и устойчивость к полеганию (4 и 5 баллов), а также на уменьшение длины междоузлий и утолщение стебля (+0,1–0,5 мм).

Дробное применение по вегетации биопрепарата на основе тринексапак-этила «Костандо, КЭ» (0,2 + 0,2 л/га) по совокупному действию в агроценозе показало наилучшие результаты.

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

- Фетухин И.В. (ред.). Использование средств биологизации в повышении продуктивности и экологической устойчивости агроландшафтов. Монография. Персиановский: Донской ГАУ. 2024; 219. ISBN 978-5-98252-459-1 <https://elibrary.ru/xjifza>
- Бруй И.Г. Регуляция роста и повышение устойчивости к полеганию озимой пшеницы. *Защита и карантин растений*. 2023; (8): 16–19. <https://elibrary.ru/dvgvgqm>
- Можарова И.П., Мухина М.Т., Волкова М.А., Вознесенская Т.Ю. Эффективность ретардантов на основе хлормекватхлорида и тринексапак-этила в посевах яровой пшеницы. *Плодородие*. 2023; (5): 98–103. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.134.25>
- Стрелкова Е.В. Влияние регуляторов роста на показатели листовой диагностики и хозяйственную эффективность озимой пшеницы в условиях УП «Агрокомбинат «Ждановичи» Минской области. *Сельское хозяйство: проблемы и перспективы. Сборник научных трудов*. Гродно: Гродненский государственный аграрный университет. 2022; 59: 112–119. <https://elibrary.ru/furpww>
- Лисицын С.В., Шашкаров Л.Г. Продуктивность озимой пшеницы Московская 56 в зависимости от применения ретардантов на разных фонах минерального питания. *Вестник Чувашского государственного аграрного университета*. 2023; (4): 31–34. <https://elibrary.ru/jctacu>

REFERENCES

- Fetyukhin I.V. (ed.). The use of biologization tools in increasing productivity and environmental sustainability of agricultural landscapes. Monograph. Persianovsky: Don State Agrarian University. 2024; 219 (in Russian). ISBN 978-5-98252-459-1 <https://elibrary.ru/xjifza>
- Brui I.G. Growth regulation and an increase in lodging resistance for winter wheat. *Plant protection and quarantine*. 2023; (8): 16–19 (in Russian). <https://elibrary.ru/dvgvgqm>
- Mozharova I.P., Mukhina M.T., Volkova M.A., Voznesenskaya T.Yu. The effectiveness of retardants based on chlormequat chloride and trinexapac-ethyl in spring wheat crops. *Plodородие*. 2023; (5): 98–103 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2023.134.25>
- Strelkova E.V. Influence of growth regulators on indicators of leaf diagnosis and economic efficiency of winter wheat under the conditions of UE «Agrocombinat «Zhdanovich» of the Minsk region. *Agriculture: problems and prospects. Collection of scientific papers*. Grodno: Grodno State Agrarian University. 2022; 59: 112–119 (in Russian). <https://elibrary.ru/furpww>
- Lisitsyn S.V., Shashkarov L.G. Productivity of winter wheat Moskovskaya 56 depending on the use of retardants on different backgrounds of mineral nutrition. *Vestnik Chuvash SAU*. 2023; (4): 31–34 (in Russian). <https://elibrary.ru/jctacu>

6. Литвищенко Е.И., Фалынский Е.М. Влияние регулятора роста «ХЭФК» на продуктивность озимой пшеницы в условиях приазовской зоны Ростовской области. *Развитие аграрной науки и практики: состояние, проблемы, перспективы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. Персиановский: Донской государственный аграрный университет. 2023; 46–50. <https://elibrary.ru/nyxwfn>
7. Шалыгина А.А., Тедеева А.А. Влияние регуляторов роста на структуру урожая озимой пшеницы. *Аграрная наука*. 2021; (4): 64–67. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-348-4-64-67>
8. Kibkalo I. Effectiveness of and Perspectives for the Sedimentation Analysis Method in Grain Quality Evaluation in Various Cereal Crops for Breeding Purposes. *Plants*. 2022; 11(13): 1640. <https://doi.org/10.3390/plants11131640>
9. Ашаева О.В., Балуев Ю.С. Влияние обработки посевов озимой пшеницы регулятором роста «ХЭФК» на урожайность зерна. *Научный журнал КубГАУ*. 2020; 159: 165–174. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-159-011>
10. Волощук А.П., Волощук И.С., Глива В.В., Случак О.М., Герешко Г.С., Запесоцкая М.С. Биологические факторы влияния на производство семян пшеницы озимой в условиях западной лесостепи Украины. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2020; (1): 7–15. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-54-1-7-15>
11. Тедеева А.А., Тедеева В.В. Агротехнические приемы повышения продуктивности перспективных сортов озимой пшеницы. *Научная жизнь*. 2020; 15(6): 777–784. <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2020-15-6-777-784>
12. Саратовская О.В. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от применения регулятора роста растений «ХЭФК» в условиях приазовской зоны Ростовской области. *Актуальные вопросы развития научных исследований в АПК: теоретический и практический взгляд. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 184-летию ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»*. Персиановский: Донской государственный аграрный университет. 2024; 2: 36–40. <https://elibrary.ru/tpbzjd>
13. Говоркова С.Б., Воронов С.И. Рост и развитие озимой пшеницы при использовании регуляторов роста с ретардантными свойствами в условиях Нечерноземной зоны. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2024; (3): 59–73. <https://doi.org/10.33920/sel-05-2403-05>
14. Воронов С.И., Плескачев Ю.Н., Говоркова С.Б., Савинов Е.В. Влияние регуляторов роста с ретардантными свойствами и норм высевки на рост и развитие озимой пшеницы Немчиновская 17. *Аграрная Россия*. 2021; (7): 7–13. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2021-7-7-13>
15. Дорожкина Л.А., Бугаев П.Д., Нарежная Е.Д. Особенности формирования урожая озимой пшеницы при применении регулятора роста «Харди». *Агрохимический вестник*. 2023; (3): 59–63. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-3-013>

ОБ АВТОРАХ

Наталья Александровна Рябцева

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и технологии хранения растениеводческой продукции
rjbtseva@mail.ru
<https://orcid.org/000-0003-4121-5940>

Донской государственный аграрный университет,
ул. Кривошлыкова, 24, пос. Персиановский, Октябрьский
р-н, Ростовская обл., 346493, Россия

6. Litvishchenko E.I., Falynskov E.M. Influence of the growth regulator HEFC on the productivity of winter wheat under the conditions of the Priazov zone of the Rostov region. *Development of agricultural science and practice: state, problems, prospects. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Persianovsky: Don State Agrarian University. 2023; 46–50 (in Russian). <https://elibrary.ru/nyxwfn>
7. Shalygina A.A., Tedeewa A.A. Influence of growth regulators on crop structure of winter wheat. *Agrarian science*. 2021; (4): 64–67 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-348-4-64-67>
8. Kibkalo I. Effectiveness of and Perspectives for the Sedimentation Analysis Method in Grain Quality Evaluation in Various Cereal Crops for Breeding Purposes. *Plants*. 2022; 11(13): 1640. <https://doi.org/10.3390/plants11131640>
9. Ashaeva O.V., Baluev Yu.S. The influence of the HEFC growth regulator on the crop yield of winter wheat. *Scientific Journal of KubSAU*. 2020; 159: 165–174 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-159-011>
10. Voloshchuk A.P., Voloshchuk I.S., Gliva V.V., Sluchak O.M., Geresheko G.S., Zapesotskaya M.S. Biological factors of influence on the production of winter wheat seeds in the conditions of the western forest-steppe of Ukraine. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2020; (1): 7–15 (in Russian). <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-54-1-7-15>
11. Tedeewa A.A., Tedeewa V.V. Agrotechnical methods for increasing the productivity of winter wheat promising varieties. *Scientific Life*. 2020; 15(6): 777–784 (in Russian). <https://doi.org/10.35679/1991-9476-2020-15-6-777-784>
12. Saratovskaya O.V. Productivity of winter wheat depending on the application of the plant growth regulator HEFC in the conditions of the Azov zone of the Rostov region. *Current issues of the development of scientific research in agriculture: a theoretical and practical view. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 184th anniversary of the Don State Agrarian University*. Persianovsky: Don State Agrarian University. 2024; 2: 36–40 (in Russian). <https://elibrary.ru/tpbzjd>
13. Govorkova S.B., Voronov S.I. Growth and development of winter wheat when using growth regulators with retardant properties under conditions of the Non-Chernozem belt. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2024; (3): 59–73 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-05-2403-05>
14. Voronov S.I., Pleskachev Yu.N., Govorkova S.B., Savinov E.V. Influence of growth regulators with retardant properties and seeding rates on the growth and development of winter wheat Nemchinovskaya 17. *Agrarian Russia*. 2021; (7): 7–13 (in Russian). <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2021-7-7-13>
15. Dorozhkina L.A., Bugaev P.D., Narezhnaya E.D. Features of winter wheat crop formation when using Hardy growth regulator. *Agrochemical Herald*. 2023; (3): 59–63 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-3-013>

ABOUT THE AUTHORS

Natalya Aleksandrovna Ryabtseva

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture and Storage Technologies for Plant Products
rjbtseva@mail.ru
<https://orcid.org/000-0003-4121-5940>

Don State Agrarian University,
24 Krivoslykov Str., Persianovsky settlement, Oktyabrsky
district, Rostov region, 346493, Russia

О.В. Литвиненко

Н.Ю. Корнева ✉

А.А. Литвиненко

Федеральный научный центр
«Всероссийский научно-
исследовательский институт сои»,
Благовещенск, Россия

✉ knju@vniisoi.ru

Поступила в редакцию: 22.04.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

©Литвиненко О.В., Корнева Н.Ю.,
Литвиненко А.А.

Research article

 creative
commons

Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-98-103

Oksana V. Litvinenko

Nadezhda Yu. Korneva ✉

Alexander A. Litvinenko

Federal Research Center "All-Russian
Scientific Research Institute of Soybean",
Blagoveshchensk, Russia

✉ knju@vniisoi.ru

Received by the editorial office: 22.04.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Litvinenko O.V., Korneva N.Yu., Litvinenko A.A.

Сравнительная оценка некоторых физических показателей сои зернового и овощного типов

РЕЗЮМЕ

В последнее время в России наблюдается увеличение интереса к эдамаме (овощной сое), однако на сегодняшний день на территории страны отсутствуют официально зарегистрированные сорта сои, специально предназначенные для использования в качестве овощной культуры. Российские ученые активно исследуют перспективы ее выращивания в различных регионах.

Цель данного исследования — изучение в сравнительно-сортовом аспекте динамических изменений физических свойств зеленых бобов и семян сои.

В качестве объектов исследования использованы зеленые бобы и семена сои сортов зернового направления Даурия и Евгения селекции ФНЦ ВНИИ сои и сорт сои овощного направления Mikawashima японской селекции (принятый за стандарт). В процессе исследования изучены физические свойства зеленых бобов и семян сои — масса 1000 семян, крупность (размер) бобов и семян, а также прочность семян. Установлено, что сорта зернового направления по показателям крупности бобов и семян уступают овощному сорту. Существенные различия были зафиксированы по показателям массы 1000 семян при фактической влажности от $50,10 \pm 0,18$ до $76,66 \pm 0,11\%$: у сорта Даурия на 44,8–53,4%, у сорта Евгения на 17,8–50,0%. По коэффициенту величины семян отличия составили, соответственно, на 47,7–57,5% и 44,2–52,7%. Показатели прочности семян исследуемых сортов сои Даурия и Евгения значительно превышали значения стандарта — на 54,7–69,2% и 26,6–46,7% соответственно.

Ключевые слова: соя, сорт, зеленые бобы и семена, линейные размеры, масса 1000 семян, коэффициент величины семян, прочность семян

Для цитирования: Литвиненко О.В., Корнева Н.Ю., Литвиненко А.А. Сравнительная оценка некоторых физических показателей сои зернового и овощного типов. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 98–103.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-98-103>

Comparative assessment of some physical indicators of grain and vegetable soybeans

ABSTRACT

Recently, an interest in edamame (vegetable soybeans) in Russia increased, but today there are no officially registered soybean varieties in the country that are specifically intended for use as a vegetable crop. Russian scientists are studying a possibility of growing it in various regions of the country.

The purpose of this study is to study the dynamic changes in the physical properties of green beans and soybean seeds in a comparative varietal aspect.

Green beans and soybean seeds of the Dauria and Evgenia grain varieties selected by the Federal Research Center of the All-Russian Research Institute of Soybeans and the Mikawashima vegetable soybean variety of Japanese breeding (accepted standard) were used as research objects. In the course of the study, the physical properties of green beans and soybean seeds were studied — the mass of 1000 seeds, the size of the beans and seeds, as well as the strength of the seeds. It has been established that grain varieties are inferior to vegetable varieties in terms of the size of beans and seeds. Significant differences were recorded in terms of the mass of 1000 seeds at actual humidity from 50.10 ± 0.18 to $76.66 \pm 0.11\%$: the Dauria variety has 44.8–53.4%, the Evgenia variety has 17.8–50.0%. According to the coefficient of seed size, the differences were 47.7–57.5% and 44.2–52.7%, respectively. The strength indicators of the seeds of the studied soybean varieties Dauria and Evgenia significantly exceeded the standard values — by 54.7–69.2% and 26.6–46.7%, respectively.

Key words: soybeans, variety, green beans and seeds, linear dimensions, weight of 1000 seeds, seed size coefficient, seed strength

For citation: Litvinenko O.V., Korneva N.Yu., Litvinenko A.A. Comparative assessment of some physical indicators of grain and vegetable soybeans. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 98–103 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-98-103>

Введение/Introduction

Овощная соя, или эдамаме (пер. с яп. — зеленые бобы на стебле), — это известная и популярная сельскохозяйственная культура, имеющая долгую историю выращивания в Японии и многих других странах Юго-Восточной Азии.

В настоящее время основными производителями овощной сои являются Япония, Китай, Тайвань, Корея, Таиланд, которые не только занимаются ее выращиванием, но и активно создают новые сорта этой культуры. Эти же страны являются крупнейшими потребителями данного продукта, где овощная соя благодаря своим вкусовым и питательным качествам широко используется в национальных кухнях и занимает значительную долю на рынке функциональных продуктов и здорового питания.

Интерес к овощной сое, как к ценному нутрицевтику, значительно возрос в последние десятилетия и охватил множество стран по всему миру, включая регионы Африки, Америки и Европы. В целом в мировых растительных коллекциях биоресурсов насчитываются сотни сортов сои овощного типа [1–3].

Овощная соя очень питательна и богата полезными для организма человека фитохимическими веществами. Она является источником белка (11–13 г / 100 г), жиров (5,0–6,8 г / 100 г), в том числе полиненасыщенных жирных кислот (ω -3 — 361 мг% и ω -6 — 1794 мг%), углеводов (10–11 г / 100 г) и пищевых волокон (около 4,2 г / 100 г), содержит различные биологически активные вещества: калий (590–620 мг%), кальций (58–197 мг%), фосфор (170–194 мг%), магний (62–65 мг%), железо (2,70–3,55 мг%), медь (128–410 мкг%), селен (91,5 мкг%), аскорбиновую кислоту (27–29 мг%), ниацин (1,65 мг%), тиамин (0,31–0,44 мг%), рибофлавин (0,15–0,175 мг%), фолиевую кислоту (165–320 мкг%), филлохинон (26,8–30,0 мкг%), изофлавоны (20,42 мг%). Калорийность 100 г продукта составляет 135–147 ккал [4–7].

В отличие от зерновой сои, которую собирают при полной зрелости семян (R8), зеленые (незрелые) бобы овощной сои собирают между стадиями репродуктивного роста растения R6 и R7, когда семена заполняют 80–90% ширины боба и сохраняют около 65% влажности [3, 6, 8]. В этот период в молодых (не достигших фазы полного созревания) зеленых семенах сои содержится минимальное количество антипитательных веществ, это позволяет применять для их приготовления кратковременную (в течение нескольких минут) термическую обработку, одновременно обеспечивающую разрушение антипитательных веществ и сохранение питательных.

После кратковременной обработки зеленых семян сои (в очищенном или неочищенном от бобов виде) паром, отваривания в подсоленной воде или обжарки их можно употреблять в пищу как основной, самостоятельный продукт или в

качестве гарнира, а также использовать как компонент в рецептурах кулинарных изделий (добавлять в салаты, супы, овощные рагу и другие горячие блюда) и заготавливать для длительного хранения в виде замороженных овощных смесей [6, 9–11].

В настоящее время овощная соя благодаря своей пищевой ценности и биологической значимости оказалась в центре внимания населения нашей страны. Особенно среди потребителей, заинтересованных в натуральных продуктах питания, любителей вегетарианских и веганских диет [4, 12]. В связи с этим всё чаще в розничной торговой сети и на различных интернет-платформах (сайтах) овощная соя предлагается к продаже в виде импортируемых замороженных овощных смесей (полуфабрикатов), а также появляются рекламные предложения о реализации семенного материала. При этом в литературных источниках информация о выращивании и переработке сои в РФ как овощной культуры отсутствует.

Официально в РФ ни один сорт сои овощного направления не включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Имеются лишь единичные сведения об исследованиях, проводимых российскими учеными, на предмет изучения возможности и целесообразности ее возделывания на территории нашей страны [13, 14].

Выделение отечественных сортов сои зернового направления с перспективой использования в качестве овощной культуры особенно актуально в регионах с ограниченными тепловыми ресурсами, где семена не успевают созреть до технической спелости. Это открывает возможность использования таких сортов сои в фазу полного налива семян и физиологической спелости бобов (стадия технической спелости или зеленой спелости для овощных сортов) как высокобелкового, функционально значимого продукта с целью улучшения рациона питания, расширения ассортимента овощей, полезных для человека и, соответственно, требует проведения исследований по изучению качественных показателей (физико-химических свойств и пищевой ценности семян), зависящих от сорта сои, этапа развития растения и определяющих товарность зеленых бобов и семян сои зернового типа в соответствии с требованиями, предъявляемыми к овощной сое.

Полученные по результатам исследований данные могут быть полезны для переработчиков пищевых продуктов, селекционеров и сельхозтоваропроизводителей, а также могут являться полезной информацией непосредственно для потребителей овощной продукции.

Цель исследований — изучить в сравнительно-сортном аспекте динамические изменения физических свойств зеленых бобов и семян сои.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили в 2023–2024 гг. в условиях лаборатории переработки сельскохозяйственной продукции и биохимического анализа Федерального научного центра «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» (г. Благовещенск, Амурская обл.).

Объекты исследований — зеленые бобы и семена сои коллекционных сортов данного центра: два сорта зернового направления Даурия и Евгения селекции ВНИИ сои и сорт сои овощного направления Mikawashima японской селекции, принятый за стандарт.

Для проведения эксперимента сорта сои зернового направления предварительно подбирали по основным критериям, предъявляемым к овощным сортам: светло-серая (белая) окраска опушения бобов, однородность цвета семян и семенного рубчика, максимальная крупность семян в стадии технической зрелости^{1,2}.

Экспериментальные сорта сои были выращены на участке селекционного опытного поля ФНЦ ВНИИ сои (с. Садовое, Тамбовский муниципальный округ, Амурская обл.) на лугово-черноземной почве. Каждый сорт высевали на делянке 13,5 м² при площади питания одного растения 45 × 10 см, повторность трехкратная.

Физические свойства зеленых бобов и семян сои определяли по следующим методикам: массу 1000 семян (при фактической влажности семян и на сухое вещество) в соответствии с ГОСТ ISO 520-2014³; крупность (размер) бобов и семян устанавливали путем измерения линейных показателей бобов (длины и ширины) и семян (длины, ширины, толщины) с точностью до 0,1 мм. Коэффициент величины семян вычисляли как произведение трех линейных показателей (длины × ширины × толщины)⁴; структурно-механические свойства (прочность) семян сои определяли по сгенерированному алгоритму работы, основанному на определении усилия нагружения на инденторе «Цилиндр Ø 1» при сквозном внедрении его в семя со скоростью движения 1 мм/с с использованием структурометра СТ-2 (ООО «Лаборатория качества», Россия)⁵.

Масса образцов составляла от 10 до 100 г. Образцы отбирали на 1-й, 7-й, 14-й, 21-й и 28-й день фазы налива семян (R6). Для этого на протяжении вегетативного и репродуктивного периодов развития растений проводили фенологические наблюдения по методике W.R. Fehr *et al.*⁶.

Экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики^{7,8} с использованием программы Microsoft Office (Excel) США.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Многочисленными исследованиями установлено, что товарность овощной сои определяется не только органолептическими показателями зеленых бобов и химическим составом семян, но и их физическими свойствами [3, 6, 15]. Так, например, главным визуальным отличием овощной сои является крупноразмерность бобов и семян. Согласно показателям качества, рекомендуемым для овощных сортов, длина бобов должна быть не менее 45,0 мм (желательно 50,0 мм), ширина — не менее 14 мм [6], масса 1000 семян — от 220 г и более (сухого веса). Считается, что более крупные семена имеют превосходство над мелкими по вкусу, текстуре и простоте приготовления [9].

Данные показатели могут варьировать и находятся в зависимости от разных факторов (правильно выбранного времени сбора урожая, сорта сои и пр.) [16]. Поэтому для выявления перспективных сортов сои зернового направления из селекционного материала ВНИИ сои с целью возможности их использования в переработке в качестве овощной продукции были изучены некоторые физические свойства зеленых семян и бобов.

На первом этапе для определения крупности бобов у экспериментальных сортов сои были проведены линейные замеры. Результаты представлены в таблице 1.

В результате исследований установлено, что сорта сои зернового направления Даурия и Евгения по линейным размерам зеленых бобов уступают показателям стандарта, особенно по ширине, независимо от количества семян, находящихся в бобах. У сортов сои Даурия и Евгения длина и ширина как двусемянных, так и трехсемянных бобов были достоверно ниже стандарта. Средняя максимальная длина боба у сорта Mikawashima составляла 60,70 ± 0,81 мм, ширина — 13,45 ± 0,23 мм. У сорта Даурия существенная разница длины бобов составляла 8,7–20,9%, ширины — 19,7–33,1%, у сорта Евгения — соответственно, 7,7–16,1 и 16,3–23,0%.

Далее была определена крупность семян по двум критериям — массе 1000 семян и коэффициенту величины семян. Сравнительная оценка экспериментальных сортов сои показала, что за весь период наблюдений R6 — R7 у овощного

¹ Щелко Л.Г. Международный классификатор СЭВ рода *Glycine* Willd. / Л.Г. Щелко, Т.С. Седова, В.А. Корнейчук. Ленинград: Изд-во ВИР. 1990; 38.

² Фокина Е.М. и др. Каталог сортов сои. ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои. Благовещенск: Одеон. 2021; 69.

³ ГОСТ ISO 520-2014 Зерновые и бобовые. Определение массы 1000 зерен. М.: Стандартинформ. 2019; 11.

⁴ Петибская В.С. Соя: химический состав и использование. Майкоп: Полиграф-Юг. 2012; 432.

⁵ Максимов А.С. Реология пищевых продуктов: лабораторный практикум // А.С. Максимов, В.Я. Черных. СПб.: ГИОРД. 2006; 176.

⁶ Fehr W.R., Caviness C.E., Burmood D.T., Pennington J.S. Stages of development descriptions for soybeans *Glycine max.* (L) Merr. Crop Sci. 1971; 11: 929–930. https://digitalcommons.usu.edu/bee_lab_er/302

⁷ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985; 351.

⁸ Лисин П.А. Компьютерное моделирование производственных процессов в пищевой промышленности: учеб. пособие. СПб.: Лань. 2023; 256.

сорта сои Mikawashima масса 1000 семян составляла от 422 ± 13 до 724 ± 14 г при фактической влажности семян от $50,10 \pm 0,18$ до $76,66 \pm 0,11\%$. Сорта сои зернового направления по данному показателю значительно уступали стандарту: Даурия — на 44,8–53,4%, Евгения — на 17,8–50,0%. При этом у сорта сои Евгения максимальное значение массы 1000 семян было зафиксировано к 14-му дню, у сорта Даурия — к 21-му (табл. 2).

Сравнительный анализ массы 1000 семян на сухое вещество свидетельствует о том, что по данному показателю семена сои зерновых сортов Даурия и Евгения существенно отличались от сорта-стандарта Mikawashima меньшей массой 1000 семян на 37,6–42,9% и 5,7–32,2% соответственно. Это было подтверждено и результатами сравнительного анализа коэффициента величины семян, который показал, что крупность семян сортов Даурия и Евгения по отношению к стандарту была достоверно ниже на 47,7–57,5% и 44,2–52,7% соответственно. У сортов Даурия и Mikawashima максимальные значения коэффициента величины семян (636,47 и 1245,10 соответственно) наблюдали на 14-й день исследуемого периода, у сорта Евгения (639,53) — на 21-й (табл. 3).

Следующим этапом исследований было определение прочности семян, то есть их способности сопротивляться механическим воздействиям (давлению, сжатию, разрушению). В последующем от прочности семян зависят скорость и параметры технологических процессов, а также органолептические показатели готовых продуктов из сои (текстура, консистенция и др.) [4, 16]. Из данных (табл. 4) видно, что в течение всего периода наблюдений прочность семян сои исследуемых сортов увеличивалась и к 28-му дню превышала первоначальные значения у сорта Mikawashima на 87,5%,

Таблица 1. Линейные размеры бобов сои ($M \pm \Delta$ при $p = 0,95$), мм
Table 1. Linear dimensions of soybeans ($M \pm \Delta$ at $p = 0.95$), mm

Период R6 — R7, дни иссле- дований	Сорт сои					
	Mikawashima (стандарт)	Даурия	Евгения	Mikawashima (стандарт)	Даурия	Евгения
	длина			ширина		
Двусемянные бобы						
1	49,90 ± 1,04	45,55 ± 0,64	46,05 ± 0,58	13,30 ± 0,35	9,75 ± 0,40	10,80 ± 0,23
7	52,70 ± 0,81	44,35 ± 0,40	44,20 ± 0,23	13,45 ± 0,23	9,00 ± 0,23	10,35 ± 0,23
14	49,15 ± 0,17	43,20 ± 0,23	44,15 ± 0,17	12,85 ± 0,23	9,65 ± 0,17	10,25 ± 0,29
21	50,85 ± 0,35	42,25 ± 0,29	44,55 ± 0,64	12,55 ± 0,12	9,50 ± 0,12	10,20 ± 0,12
28	50,85 ± 0,98	44,40 ± 0,46	43,15 ± 0,17	12,55 ± 0,12	9,85 ± 0,23	9,75 ± 0,12
HCP ₀₅	1,73			0,54		
Трехсемянные бобы						
1	60,35 ± 0,40	52,55 ± 0,64	55,20 ± 0,23	13,25 ± 0,29	9,90 ± 0,35	10,45 ± 0,12
7	60,70 ± 0,81	50,00 ± 0,58	53,90 ± 0,58	13,35 ± 0,40	9,45 ± 0,17	10,55 ± 0,29
14	60,55 ± 0,64	50,85 ± 0,23	53,25 ± 0,29	12,90 ± 0,23	9,60 ± 0,12	10,35 ± 0,17
21	59,85 ± 0,23	51,50 ± 0,58	52,65 ± 0,35	12,60 ± 0,23	9,60 ± 0,12	10,10 ± 0,12
28	57,15 ± 0,17	51,80 ± 0,92	51,35 ± 0,40	11,95 ± 0,12	9,60 ± 0,12	10,00 ± 0,12
HCP ₀₅	1,66			0,50		

Таблица 2. Масса 1000 семян сои ($M \pm \Delta$ при $p = 0,95$), г
Table 2. Weight of 1000 seeds of soybean ($M \pm \Delta$ at $p = 0.95$), g

Период R6 – R7, дни иссле- дований	Сорт сои					
	Mikawashima (стандарт)	Даурия	Евгения	Mikawashima (стандарт)	Даурия	Евгения
	при фактической влажности			на сухое вещество		
1	422 ± 13	222 ± 13	347 ± 8	$98,5 \pm 3,0$	$59,5 \pm 3,4$	$92,9 \pm 2,1$
7	714 ± 16	333 ± 15	403 ± 12	182 ± 4	104 ± 5	131 ± 4
14	718 ± 9	385 ± 16	446 ± 7	214 ± 3	132 ± 6	169 ± 3
21	724 ± 14	400 ± 12	403 ± 12	267 ± 4	160 ± 6	181 ± 5
28	704 ± 12	331 ± 13	352 ± 14	250 ± 5	156 ± 5	176 ± 7
HCP ₀₅	83,0			24,3		

Таблица 3. Линейные показатели и коэффициент величины семян сои при фактической влажности ($M \pm \Delta$ при $p = 0,95$), мм
Table 3. Linear indicators and coefficient of the size of soybean seeds at actual moisture content ($M \pm \Delta$ at $p = 0.95$), mm

Сорт	Период R6 – R7, дни исследо- ваний	Показатель			
		длина	ширина	толщина	Коэффициент величины зерна
Mikawashima (стандарт)	1	$13,44 \pm 0,05$	$7,29 \pm 0,10$	$9,58 \pm 0,09$	938,63
	7	$14,05 \pm 0,12$	$7,90 \pm 0,12$	$9,71 \pm 0,06$	1077,76
	14	$15,04 \pm 0,05$	$8,27 \pm 0,20$	$10,01 \pm 0,06$	1245,10
	21	$14,50 \pm 0,17$	$7,91 \pm 0,12$	$10,02 \pm 0,12$	1149,24
	28	$14,53 \pm 0,23$	$7,81 \pm 0,13$	$9,61 \pm 0,13$	1090,54
Даурия	1	$12,19 \pm 0,05$	$5,10 \pm 0,12$	$7,47 \pm 0,08$	464,40
	7	$12,65 \pm 0,17$	$5,51 \pm 0,12$	$7,60 \pm 0,12$	529,73
	14	$13,45 \pm 0,23$	$5,93 \pm 0,12$	$7,98 \pm 0,09$	636,47
	21	$12,65 \pm 0,23$	$6,09 \pm 0,10$	$7,80 \pm 0,12$	600,90
	28	$11,39 \pm 0,23$	$5,60 \pm 0,12$	$7,27 \pm 0,16$	463,71
Евгения	1	$12,91 \pm 0,24$	$5,12 \pm 0,20$	$7,93 \pm 0,15$	524,17
	7	$12,41 \pm 0,23$	$5,17 \pm 0,14$	$7,95 \pm 0,12$	510,07
	14	$13,56 \pm 0,18$	$5,66 \pm 0,12$	$7,98 \pm 0,12$	612,46
	21	$13,23 \pm 0,27$	$5,99 \pm 0,10$	$8,07 \pm 0,08$	639,53
	28	$13,10 \pm 0,12$	$5,92 \pm 0,12$	$7,78 \pm 0,12$	603,35
HCP ₀₅		0,78	0,31	0,17	72,54

Таблица 4. Прочность семян сои при фактической влажности ($M \pm \Delta$ при $p = 0,95$), Н/мм²
Table 4. Strength of soybean seeds at actual moisture content ($M \pm \Delta$ at $p = 0.95$), N/mm²

Период R6 – R7, дни исследований	Сорт сои		
	Mikawashima (стандарт)	Даурия	Евгения
1	0,064 ± 0,001	0,099 ± 0,001	0,081 ± 0,001
7	0,071 ± 0,001	0,106 ± 0,002	0,085 ± 0,001
14	0,073 ± 0,001	0,113 ± 0,002	0,095 ± 0,001
21	0,106 ± 0,002	0,162 ± 0,002	0,147 ± 0,002
28	0,120 ± 0,002	0,203 ± 0,003	0,176 ± 0,002
HCP ₀₅	0,016		

у сорта Даурия на 105,1%, у сорта Евгения на 117,3%. Предположительно, это связано с процессами, способствующими увеличению показателя прочности: полимеризации белковой составляющей, уменьшением содержания влаги в семенах сои, утолщением семенной оболочки, происходящими в период роста, развития растения и созревания семян [6]⁹.

Таким образом, установлено, что у сортов сои зернового направления показатели прочности

семян превышали аналогичные показатели стандарта от 54,7 до 69,2% у сорта Даурия, от 26,6 до 46,7% у сорта Евгения.

Выводы/Conclusions

Установлено, что сорта сои зернового направления существенно уступают овощному (стандарту) по крупности бобов и семян:

- длина бобов у сорта Даурия достоверно ниже стандарта на 8,7–20,9%, ширина — на 19,7–33,1%, у сорта Евгения — соответственно, на 7,7–16,1% и 16,3–23,0%;
- масса 1000 семян при фактической влажности у сорта Даурия достоверно ниже стандарта на 44,8–53,4%, у сорта Евгения — на 17,8–50,0%;
- масса 1000 семян на сухое вещество у сорта Даурия меньше стандарта на 37,6–42,9%, у сорта Евгения — на 5,7–32,2%;
- коэффициент величины семян исследуемых сортов Даурия и Евгения достоверно ниже стандарта на 47,7–57,5% и 44,2–52,7% соответственно.

Показатели прочности семян сои зернового направления превышают аналогичные показатели стандарта: у сорта Даурия — от 54,7 до 69,2%; у сорта Евгения — от 26,6 до 46,7%.

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

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lord N. *et al.* Combining Agronomic and Pest Studies to Identify Vegetable Soybean Genotypes Suitable for Commercial Edamame Production in the Mid-Atlantic U.S. *Agricultural Sciences*. 2021; 12(7): 738–754. <https://doi.org/10.4236/as.2021.127048>
2. Golobov S. Produktion av edamame — Kvalitetsparametrar för odling och kon-sumtion. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. 2022; 51.
3. Carneiro R.C.V., Duncan S.E., O'Keefe S.F., Yin Y., Neill C.L., Zhang B. Sensory and Consumer Studies in Plant Breeding: A Guidance for Edamame Development in the U.S. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2020; 4: 124. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00124>
4. Беркетова Л.В., Еремина С.В. Протеинсодержащие продукты как альтернатива источникам белка в рационе. *Бюллетень науки и практики*. 2018; 4(8): 154–161. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1345205>
5. Moinuddin, Khan F.A., Amir M., Narayan S., Dar Z.M., Khan M.H. Vegetable soybean (*Edamame*): a potential area of research — a review. *SKUAST Journal of Research*. 2023; 25(3): 376–386. <https://doi.org/10.5958/2349-297X.2023.00051.X>
6. Xu Y. *et al.* Physical and nutritional properties of edamame seeds as influenced by stage of development. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2016; 10(2): 193–200. <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9293-9>
7. Castillo-Téllez B., Castillo Téllez M., Vega-Gómez C.J., Mejía-Pérez G.A., Castillo B.M.A. Direct and mixed solar drying effect on edamame (*Glycine max* (L.) Merr.) kinetics and colorimetry. *SWC2021 Proceedings*. International Solar Energy Society. 2021. <https://doi.org/10.18086/swc.2021.31.02>
8. Мавлянова Р.Ф., Зуев В.И., Ким В.В., Пирназаров Д.Р. Технология возделывания овощной сои в Узбекистане. *Sylmo Servis*. 2013; 24.
9. Zeipiņa S., Alsina I., Lepse L. Insight into edamame yield and quality settings: a reviews. *Research for Rural Development*. 2017; 2: 40–45. <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.047>

REFERENCES

1. Lord N. *et al.* Combining Agronomic and Pest Studies to Identify Vegetable Soybean Genotypes Suitable for Commercial Edamame Production in the Mid-Atlantic U.S. *Agricultural Sciences*. 2021; 12(7): 738–754. <https://doi.org/10.4236/as.2021.127048>
2. Golobov S. Production of edamame — Quality parameters for cultivation and consumption. Alnarp: Swedish University of Agricultural Sciences. 2022; 51 (in Swedish).
3. Carneiro R.C.V., Duncan S.E., O'Keefe S.F., Yin Y., Neill C.L., Zhang B. Sensory and Consumer Studies in Plant Breeding: A Guidance for Edamame Development in the U.S. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2020; 4: 124. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00124>
4. Berketova L.V., Eremina S.V. Proteinaceous products as alternative protein sources in the diet. *Bulletin of Science and Practice*. 2018; 4(8): 154–161 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.1345205>
5. Moinuddin, Khan F.A., Amir M., Narayan S., Dar Z.M., Khan M.H. Vegetable soybean (*Edamame*): a potential area of research — a review. *SKUAST Journal of Research*. 2023; 25(3): 376–386. <https://doi.org/10.5958/2349-297X.2023.00051.X>
6. Xu Y. *et al.* Physical and nutritional properties of edamame seeds as influenced by stage of development. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2016; 10(2): 193–200. <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9293-9>
7. Castillo-Téllez B., Castillo Téllez M., Vega-Gómez C.J., Mejía-Pérez G.A., Castillo B.M.A. Direct and mixed solar drying effect on edamame (*Glycine max* (L.) Merr.) kinetics and colorimetry. *SWC2021 Proceedings*. International Solar Energy Society. 2021. <https://doi.org/10.18086/swc.2021.31.02>
8. Mavlyanova R.F., Zuev V.I., Kim V.V., Pirnazarov D.R. Technology of cutting vegetable soybeans in Uzbekistan. Tashkent: *Sylmo Servis*. 2013; 24 (in Russian).
9. Zeipiņa S., Alsina I., Lepse L. Insight into edamame yield and quality settings: a reviews. *Research for Rural Development*. 2017; 2: 40–45. <https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.047>

⁹ Куликова Е.Г., Корягин Ю.В., Корягина Н.В. Физиология и биохимия растений: учеб. пособие. Пенза: ПГАУ. 2019; 190.

10. Li X., Welbaum G.E., Rideout S.L., Singer W., Zhang B. Vegetable Soybean and Its Seedling Emergence in the United States. Jimenez-Lopez J.C., Clemente A. (eds.). Legumes Research. *IntechOpen*. 2022; 1. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102622>
11. Krasnova I., Segliņa D., Juhņeviča-Radenkova K., Lepse L., Zeipiņa S. The effect of ozonated water on changes in the quality of blanched edamame during cold storage. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2022; 25: e2021140. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.14021>
12. Ткачева Н., Елисева Т. Бобы эдамаме: 5 ключевых фактов о пользе продукта и как приготовить. *Журнал здорового питания и диетологии*. 2022; 19: 101–104. <https://doi.org/10.59316/vi19.167>
13. Волощенко С.В., Лоскутов Р.И., Щеглов Н.Т. Об использовании зерновых сортов сои в качестве овощной культуры. Селекция и семеноводство овощных культур в XXI веке. Материалы Международной научно-практической конференции. М.: ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур. 2000; 1: 165–169.
14. Шафигуллин Д.Р., Байков А.А., Гинс М.С., Пронина Е.П., Солдатенко А.В. Исследование суммарного содержания антиоксидантов в семенах овощных бобовых культур, выращенных в условиях Московской области. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018; (4): 103–109. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11057>
15. Мульо Панолуиса Ф.Э., Семенова Н.А., Романова Е.В. Оценка исходного материала сои овощной *Glycine max* L. Merr. в Московской области. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2023; 18(4): 531–540. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2023-18-4-531-540>
16. Santana A.C., Carrão-Panizzi M.C., Mandarino J.M.G., Leite R.S., Da Silva J.B., Ida E.I. Effect of harvest at different times of day on the physical and chemical characteristics of vegetable-type soybean. *Food Science and Technology*. 2012; 32(2): 351–356. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000044>

ОБ АВТОРАХ

Оксана Викторовна Литвиненко

кандидат ветеринарных наук,
ведущий научный сотрудник
lov@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7414-0039>

Надежда Юрьевна Корнева

научный сотрудник
knju@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8180-6070>

Александр Александрович Литвиненко

лаборант-исследователь
heavy.rain552@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-6592-7950>

Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Игнатьевское шоссе, 19, Благовещенск, 675027, Россия

10. Li X., Welbaum G.E., Rideout S.L., Singer W., Zhang B. Vegetable Soybean and Its Seedling Emergence in the United States. Jimenez-Lopez J.C., Clemente A. (eds.). Legumes Research. *IntechOpen*. 2022; 1. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102622>

11. Krasnova I., Segliņa D., Juhņeviča-Radenkova K., Lepse L., Zeipiņa S. The effect of ozonated water on changes in the quality of blanched edamame during cold storage. *Brazilian Journal of Food Technology*. 2022; 25: e2021140. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.14021>

12. Tkacheva N., Eliseeva T. Edamame beans: 5 key facts about the benefits of the product and how to cook. *Journal.edaplus.info*. 2022; 19: 101–104 (in Russian). <https://doi.org/10.59316/vi19.167>

13. Voloshchenko S.V., Loskutov R.I., Shcheglov N.T. On the use of grain varieties of soybeans as a vegetable crop. *Selection and seed production of vegetable crops in the 21st century. Proceedings of the International scientific and practical conference*. Moscow: All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production. 2000; 1: 165–169 (in Russian).

14. Shafigullin D.R., Baykov A.A., Gins M.S., Pronina E.P., Soldatenko A.V. The study of the antioxidant total content in vegetable legume crops grown in the Moscow region. *Legumes and groat crops*. 2018; (4): 103–109 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-11057>

15. Mullo Panoluia F.E., Semenova N.A., Romanova E.V. Evaluation of different lines of vegetable soybean *Glycine max* L. Merr. under conditions of the Moscow region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4): 531–540 (in Russian). <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2023-18-4-531-540>

16. Santana A.C., Carrão-Panizzi M.C., Mandarino J.M.G., Leite R.S., Da Silva J.B., Ida E.I. Effect of harvest at different times of day on the physical and chemical characteristics of vegetable-type soybean. *Food Science and Technology*. 2012; 32(2): 351–356. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000044>

ABOUT THE AUTHORS

Oksana Viktorovna Litvinenko

Candidate of Veterinary Sciences,
Leading Researcher
lov@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7414-0039>

Nadezhda Yurievna Korneva

Researcher
knju@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8180-6070>

Alexander Alexandrovich Litvinenko

Laboratory Researcher
heavy.rain552@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-6592-7950>

Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean",
19 Ignatievskoe shosse, Blagoveshchensk, 675027, Russia

Н.И. Воробьев¹
Я.В. Пухальский² ✉
С.И. Лоскутов²
А.В. Бабыка³
А.И. Якубовская⁴
И.А. Каменева⁴
А.И. Осипов⁵
В.Р. Турковская³
В.В. Космин⁶
М.П. Сакович⁶

¹Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Пушкин, Санкт-Петербург Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ООО «Фарморганик», Санкт-Петербург, Россия

⁴Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

⁵Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

⁶ООО Organic farm Green Punch, Санкт-Петербург, Россия

✉ puhalskyan@gmail.com

Поступила в редакцию: 24.03.2025
Accepted in revised: 12.07.2025
Accepted for publication: 27.07.2025

© Воробьев Н.И., Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Бабыка А.В., Якубовская А.И., Каменева И.А., Осипов А.И., Турковская В.Р., Космин В.В., Сакович М.П.

Nikolay I. Vorobyov¹
Jan V. Puhalsky² ✉
Svyatoslav I. Loskutov²
Andrey V. Babyka³
Alla I. Yakubovskaya⁴
Irina A. Kameneva⁴
Anatoly I. Osipov⁵
Valeria R. Turkovskaya³
Vladimir V. Kosmin⁶
Mikhail P. Sakovich⁶

¹All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Pushkin, Russia

²The All-Russian Scientific Research Institute of Food Additives is a branch of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

³LLC «Farmorganik», Saint Petersburg, Russia

⁴Scientific Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

⁵Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

⁶LLC Organic farm Green Punch, St. Petersburg, Russia

✉ puhalskyan@gmail.com

Received by the editorial office: 24.03.2025
Accepted in revised: 12.07.2025
Accepted for publication: 27.07.2025

© Vorobyov N.I., Puhalsky J.V., Loskutov S.I., Babyka A.V., Yakubovskaya A.I., Kameneva I.A., Osipov A.I., Turkovskaya V.R., Kosmin V.V., Sakovich M.P.

Нейросетевая оценка эффективности использования фульвокислот в сочетании с минеральными удобрениями на продуктивность и качество листового салата сорта Афицион, выращенного в условиях вертикальной гидропоники

РЕЗЮМЕ

Растущий спрос на экологичную растительную продукцию стимулирует развитие городских сити-ферм закрытого типа. Как инновационная бизнес-модель, они эффективно используют ограниченное пространство мегаполисов, обеспечивая прямой доступ к рынку. Растения выращивают вертикально на гидропонике с автоматическим контролем среды. Для повышения качества продукции и снижения зависимости от минеральных удобрений исследовали частичное замещение их гуминовыми стимуляторами. Проводили опыт с салатом на среде Хогланда: контроль (вода), 50% Хогланда, 100% Хогланда и 50% Хогланда + фульвокислоты (90 млн⁻¹). По окончании измеряли биомассу и элементный состав. Данные обрабатывали нейросетью ChemNN, преобразующей биохимический профиль в индекс CSIelem, указывающий оптимальный режим питания. Результаты опыта показали, что разница в биомассе между 100% и 50% Хогланда составила лишь 9%. Добавка фульвокислот к 50% Хогланда полностью нивелировала эту разницу, повышая биомассу до уровня 100% Хогланда. Фульвокислоты улучшали усвоение макро- и микроэлементов из обедненной среды, что подтверждалось ростом CSIelem для этих элементов. При этом наблюдалось снижение содержания мезоэлементов (Ca, Mg, S). Добавки фульвокислот позволяют сокращать долю минеральных удобрений (до 50%) без потери урожайности и питательной ценности. Для оптимизации усвоения мезоэлементов рекомендуется дополнительное внесение солей кальция, магния и серы в питательный раствор или через листовые подкормки.

Ключевые слова: листовый салат-латук, Афицион, фульвокислоты, гидропоника, нейросеть, режим питания

Для цитирования: Воробьев Н.И. и др. Нейросетевая оценка эффективности использования фульвокислот в сочетании с минеральными удобрениями на продуктивность и качество листового салата сорта Афицион, выращенного в условиях вертикальной гидропоники. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 104–114.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-104-114>

Neural network assessment of the effectiveness of using fulvic acids in combination with mineral fertilizers on the productivity and quality of Aficion leaf lettuce grown in vertical hydroponics

ABSTRACT

Growing demand for environmentally friendly plant products stimulates the development of closed-type urban city farms. As an innovative business model, they effectively use the limited space of megacities, providing direct access to the market. Plants are grown vertically on hydroponics with automatic environment control. To improve product quality and reduce dependence on mineral fertilizers, their partial replacement with humic stimulants was studied. An experiment was conducted with lettuce on Hoagland medium: control (water), 50% Hoagland, 100% Hoagland, and 50% Hoagland + fulvic acids (90 ppm). After completion, biomass and elemental composition were measured. The data were processed by the ChemNN neural network, which transforms the biochemical profile into the CSIelem index, indicating the optimal nutritional regime. The results of the experiment showed that the difference in biomass between 100% and 50% Hoagland was only 9%. The addition of fulvic acids to 50% Hoagland completely leveled this difference, increasing the biomass to the level of 100% Hoagland. Fulvic acids improved the absorption of macro- and microelements from the depleted environment, which was confirmed by the growth of CSIelem for these elements. At the same time, a decrease in the content of mesoelements (Ca, Mg, S) was observed. Fulvic acid additives allow reducing the share of mineral fertilizers (up to 50%) without losing yield and nutritional value. To optimize the absorption of mesoelements, additional application of calcium, magnesium and sulfur salts to the nutrient solution or through foliar feeding is recommended.

Key words: Lactuca sativa, Aficion, fulvic acids, hydroponics, neural network, nutrient mode

For citation: Vorobyov N.I. et al. Neural network assessment of the effectiveness of using fulvic acids in combination with mineral fertilizers on the productivity and quality of Aficion leaf lettuce grown in vertical hydroponics. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 104–114 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-104-114>

Введение/Introduction

Прогнозируется, что к 2050 году население планеты достигнет 9,7 млрд человек [1]. При этом большинство из них будут проживать в крупных мегаполисах. Рост городских агломераций и сокращение числа плодородных земель на фоне меняющегося климата и загрязнения окружающей среды повлекут за собой сложности в управлении и перераспределении пищевых ресурсов.

Поскольку всё большее количество людей уже сейчас переходят на здоровое питание, снижать нормы и требования к качеству продуктов будет недопустимо. Выходом из создавшегося положения может стать увеличение производства сельскохозяйственной продукции путем строительства в черте города зеленых фабрик (сити-ферм) по производству листовых овощей [2] по типу гидропонных ферм, разрабатываемых компаниями PlantLab (Нидерланды), Philips (Нидерланды), Mirai (Япония).

Сити-фермы уже давно не новость для таких стран, как США или Япония, но в России ростки новой индустрии пока пробиваются с трудом [3]. Первое их продвижение по нашей стране началось с Дальнего Востока в 2016 году. Пандемия 2020 года побудила многих горожан к самоизоляции и остро высветила проблему обеспечения их свежими и богатыми витаминными продуктами, доступными для выращивания в домашних условиях. Этот кризис подчеркнул необходимость активного развития сити-фермерства [4].

Увеличение числа гидропонных ферм в городах не только укрепит национальную продовольственную безопасность и существенно сократит вероятность развития авитаминоза среди населения будущих мегаполисов, но и значительно снизит себестоимость готовой продукции благодаря уменьшению логистических затрат на ее транспортировку из удаленных регионов.

В условиях защищенного грунта растения смогут расти в полностью контролируемых условиях вертикального земледелия на гидропонных установках [5, 6]. Гидропонные системы обеспечивают более эффективное использование воды и растворимых в ней питательных соединений по сравнению с традиционными методами ведения сельского хозяйства в полевых условиях [7, 8]. На 1 м² можно разместить на 30% больше растений, а готовую зеленую продукцию получать круглогодично в промышленном масштабе с полным климат-контролем, без примесей и пестицидов [9]. Растения здесь развиваются на порядок быстрее [10]. Из недостатков технологии пока стоит выделить лишь высокую долю потребления электроэнергии при искусственном освещении закрытых гидроферм.

Среди зеленых овощей, что выращивают в условиях гидропоники, листовая салат или салат-латук

(*Lactuca sativa* L.) из семейства астровых (*Asteraceae*) считается самой популярной, скороспелой и холодостойкой культурой [11]. Помимо высокой маржинальности, салат является богатым источником быстрого восполнения витаминов (A, B₉, C и K), минеральных веществ (йод, цинк, кобальт, медь, молибден, магний, железо, кремний, сера, натрий) и противораковых антиоксидантов (кверцетин, кофейная кислота и лактопикрин) [12].

Растения часто используют в методике биотестирования качества питательного раствора [13]. По своему биохимическому составу он уступает лишь шпинату, имеющему чуть больший срок вегетации. Общая площадь традиционного возделывания составляет порядка 186 млн га.

В 2018 году в мире были произведены около 27,7 млн т салата [14]. Самый высокий объем производства приходится на Китай (54,2–56,3%) [15]. В России производство салата-латука не превышает 15,0 тыс. т в год на площади 700–800 га, что недостаточно для удовлетворения спроса на эту продукцию и не покрывает потребности рынка [16]. В связи с этим, по данным ФТС, с января по апрель и с июня по октябрь 2023 года (периоды, на которые в России приходится пик потребления свежей овощной продукции) импорт салатных овощей из Китая дополнительно составил 1,2 тыс. т [17]. Россия также импортирует салаты из Узбекистана, Беларуси и Сербии.

Сегодня в Государственный реестр селекционных достижений включены 345 сортов салата-латука. Среди их разнообразия, что активно внедряют для выращивания на автоматизированных конвейерных линиях, оснащенных системой точной гидропоники, высоким спросом у потребителей пользуется сорт Афицион РЗ фирмы «Райк Цваан» сорто типа Батавия [18].

В настоящее время сорт занимает 80% посевных площадей [19]. Срок его выгонки составляет чуть более 30 дней. Современные гибриды отличаются улучшенным вкусом, имеют сочные (без горечи) и прочные светло-зеленые листья. Салат не стрелкуется и не образует кочана даже при более длительных сроках выращивания. Растение легко приспосабливается к разным световым режимам и имеет невосприимчивость к ряду заболеваний, например к краевому некрозу. В отличие от обычного листового салата, Афицион дольше хранится в холодильнике.

Для гидропонного выращивания салата разработано множество коммерческих питательных растворов [20] на основе модификации классической рецептуры Хогланда и Арнона¹. По сравнению с традиционным выращиванием салата в почве гидропоника дает в 11 раз более высокую урожайность [21]. Культивирование салата на нейтральных твердых или жидких субстратах

¹ Hoagland D.R., Arnon D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Berkeley, Calif.: University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station. 1950; 32.

позволяет снижать нормы использования минеральных удобрений и химических средств защиты за счет применения органических стимуляторов и биофунгицидов. Система гидропоники в данном случае становится более сложной, требующей большего внимания, чем традиционная. Однако конечная продукция здесь получается более экологически безопасной.

В настоящее время гидропоника всё еще находится на стадии изучения и занимает лишь небольшую нишу в крупной пищевой промышленности и производстве овощной зелени [22]. Несмотря на этот факт, спрос на органическую гидропонику будет увеличиваться, поскольку цены на минеральные удобрения постепенно растут.

Наиболее изученными стимуляторами роста для растений салата, выращиваемых в условиях гидропоники, являются гуминоподобные вещества [23–25]. Например, фульвокислота (ФК), являющаяся основным компонентом данных веществ, может способствовать улучшению роста корней, увеличивая их количество, длину и боковую разветвленность, а также массу побегов. Благодаря ее малому молекулярному размеру вместе с водой она легко может проходить через микропоры биологических или искусственных мембранных систем, увеличивая поглощение растениями таких элементов, как азот, фосфор, калий, кальций, магний, медь, железо и цинк. Помимо повышения урожайности и лучшего усвоения питательных элементов, органические стимуляторы (в противоположность минеральным удобрениям) характеризуются пролонгированным высвобождением азота, что позволяет контролировать уровень накопления нитратов в овощных культурах.

Ранее в регулируемых условиях интенсивной гидросветокультуры была подобрана оптимальная концентрация (90 млн⁻¹ или 0,009%) введения раствора ФК в корнеобитаемую среду листового салата [26]. Исследование было проведено с ее внесением совместно с полной дозой питательного раствора Кнопа. Однако не было представлено сравнительной оценки эффективности применения данной концентрации ФК на биомассу и усвоение питательных веществ при снижении насыщенности питательного раствора на 50%. Изучение этого аспекта и послужило целью данной работы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Эксперимент проведен зимой 2025 года на базе производственного помещения (закрытой фитокомнаты) компании Organic farm Green Punch (г. Санкт-Петербург). В этом эксперименте использовали четырехъярусную гидропонную установку собственного производства с автоматизированной системой водоснабжения и освещения (рис. 1).

Растения выращивали в пластиковых кассетах с 60 ячейками, заполненными верховым известковым торфом. На каждый ярус приходились

по три кассеты (повторности). Согласно рекомендациям, для освещения растений на каждом ярусе использовали светодиодные светильники белого спектра, который максимально совпадает с энергетической кривой К.Д. McCree [27]. Интенсивность освещения составляла 12,4 тыс. Люкс. Фотопериод освещения составлял 14 часов — с 06:00 до 20:00 (каждые сутки). Температурный режим в помещении поддерживали: днем — 25 °С, ночью — 18 °С. Влажность воздуха в помещении поддерживали на уровне 60–70% системой автоматизированного климат-контроля. Эти параметры признаны оптимальными для ускоренного роста салата в условиях домашней гидропоники [28]. Согласно рекомендациям [29], продолжительность светового периода не должна превышать 16 часов, интенсивность освещения — 240 мкмоль·м⁻²·с⁻¹. Невыполнение этих условий может привести к ожогу растений и снижению задержки их развития.

Влажность субстрата в кассетах поддерживали автоматически методом нижней субиригации. В качестве фульвокислотной органической добавки к удобрениям был взят коммерческий препарат Donum (ООО «Фарморганик», Россия).

Состав препарата по данным разработчика приведен в таблице 1.

Раствор Хогланда (Hoagland D.R. и Arnon D.I., 1950) был приготовлен в соответствии с формулой разработчика.

Растения на каждом ярусе имели индивидуальную подпитку согласно выбранной схеме опыта:

- контроль (фильтрованная вода);
- 100%-ный минеральный р-р Хогланда;
- 50%-ный минеральный р-р Хогланда;
- 50%-ный минеральный р-р Хогланда + 90 млн⁻¹ ФК.

Уровень кислотности жидкости при подаче на каждый ярус корректировали еженедельно

Рис. 1. Внешний вид вертикальной гидропонной установки, используемой в опыте (а), и спектральные характеристики установленных на ней фитоламп (б)

Fig. 1. External view of the vertical hydroponic installation used in the experiment (a) and spectral characteristics of the phytolamps installed on it (b)

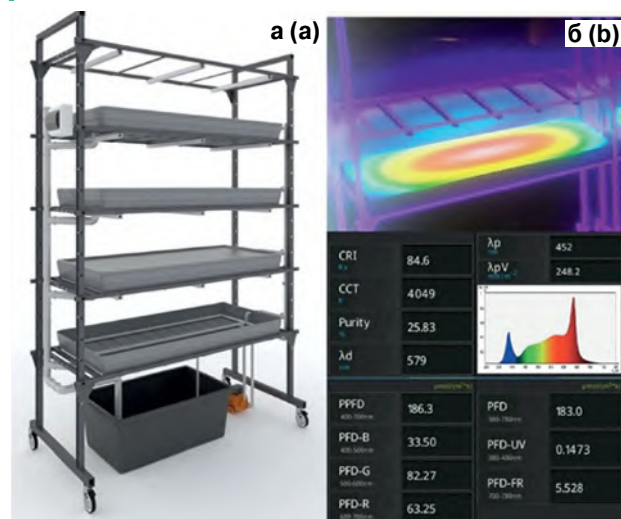


Таблица 1. Биохимический состав исходного биопрепарата Donum (ООО «Фарморганик», Россия)

Table 1. Biochemical composition of the original biopreparation Donum ("Farmorganik" LLC, Russia)

Элементный состав	Содержание	Аминокислота	Содержание, мг/л	Органическая кислота	Содержание, мг/л
C, %	29,2	Метионин	12,1	Фумаровая	0,0
N, %	0,7	Валин	22,8	Уксусная	31,4
K, %	6,4	Гистидин	40,6	Щавелевая	0,0
P, г/кг	0,9	Глицин	1,0	Винная	0,0
S, г/кг	31,8	Глутаминовая	15,8	Лимонная	0,0
Ca, г/кг	1,3	Серин	264,2	Янтарная	0,0
Mg, г/кг	5,5	Лейцин	0,5	Галловая	0,0
Na, г/кг	6,2	Изо-лейцин	0,1	Яблочная	0,0
Fe, г/кг	10,2	Аспарагин	0,3	Адипиновая	0,0
Mn, мг/кг	83,1	Аланин	1,0	Ароматические	
Cu, мг/кг	17,8	Триптофан	0,0		2,9
Zn, мг/кг	23,2	Треонин	0,4	Паракумаровая	13,8
Al, мг/г	1,8	Лизин	0,2	Сиреневая	19,4
Sr, мг/г	0,0	Аргинин	10,0	Ванилиновая	60,1
B, мг/г	94,0	Сицин	0,0	Гидроксифенил-уксусная	108,7
Se, мг/г	0,8	Тирозин	0,0	Углеводы	
Cr, мг/г	1,9	Треонин	0,1		168,3
Ba, мг/г	0,0	Пролин	0,1		5340,1
Co, мг/г	0,1	Цистеин	0,0		87,9
Mo, мг/г	0,0	Фенилаланин	0,0		223,1

с помощью мультипараметрового измерителя Starter ST3100M-F (Ohaus, США) и поддерживали на уровне pH = 5,5–5,8 в течение всего опыта. Общий срок вегетации составил 30 суток.

После 30 суток выращивания побеги растений были собраны и взвешены на аналитических весах PA 214C (Ohaus, США). Затем они были высушены до постоянного воздушно-сухого веса в термостате в течение двух суток при температуре 60 ± 5 °C, так как при комнатной температуре возможно загнивание биомассы и ее загрязнение пылевыми частицами из атмосферы². Высушивание растительных образцов до абсолютно сухого веса для проведения анализа недопустимо, поскольку нарушаются физико-химические свойства, включая растворимость для дальнейшего размола и терморазложения.

В фиксированных образцах определяли зольный состав растений. Для этого образцы измельчали на лабораторной мельнице ЛЗМ-1 («Олис», Россия) и проводили мокрое озоление. Часть полученного порошка (0,1 г) обрабатывали концентрированной азотной кислотой и перекисью водорода, а затем выдерживали в графитовой печи DigiBlock (LabTech, Italy). После этого 100 мл образовавшейся смеси отстаивали в течение суток в 2,0%-ном растворе HNO_3 . По окончании этих процедур отделялся верхний слой супернатанта, в котором с помощью оптической эмиссионной спектрометрии (ИСП-ОЭС) на приборе ICPE-9000 (Shimadzu, Япония) [30] определяли содержание химических

элементов в полученных жидких пробах.

Статистический Anova-анализ и HSD-тест Тьюки выполнены в программе Python с использованием функций `scipy.stats.f\_oneway` и `statsmodels.stats.multicomp.pairwise\_tukeyhsd`. Данные предварительно были проверены на нормальность (тест Шапиро — Уилка) и гомогенность дисперсий (тест Левена). Полученные числовые значения были обработаны с помощью авторской нейросети ChemNN, созданной в Excel-среде (язык VBA)^{3–5}. Нейросеть ChemNN выполняла статистическую обработку цифровых данных с использованием последовательных процедур регрессионного,

корреляционного, кластерного и дискриминантного анализов⁶. Конечным продуктом нейросети ChemNN является расчет безразмерного индекса когнитивной значимости растительной системы CSlelem (Cognitive Salience Index) [34], которому были делегированы права количественно представлять интенсивность биохимических и масс-накопительных процессов. При этом авторы полагают, что максимальные значения индекса CSlelem указывают на максимальную скорость масс-накопительных биохимических процессов в растениях и приближение режима их выращивания к оптимальному.

Дополнительно в нейросети на программном уровне был организован доступ к сервису обучения-поиска Learning, который позволяет изменять алгоритм вычисления индекса CSlelem и осуществлять циклический поиск корректной процедуры его вычисления [31–33].

Общий ход вычисления индекса CSlelem следующий:

1-й этап. Слой нейронов $L1$ преобразует данные матрицы $FPro$, содержащие биохимические характеристики растений, в данные матрицы FWL :

$$FWL_{k,l} = \ln(FPro_{k,l} \times 10^4) - \ln(FPro_{k+1,l} \times 10^4), \quad (1)$$

где: $\sum_{k=1}^{k=N} FPro_{k,l} = 1$ — молярное количество химического элемента с порядковым номером $l = 1, \dots, 11$ в растениях салата и в варианте опыта с порядковым номером $k = 1, \dots, 4$.

² Белоусова Е.Н. Инструментальные методы исследования почв и растений: учеб. пособие. Красноярский государственный аграрный университет. Красноярск. 2014; 267.

³ Гафаров Ф.М., Галимьянов А.Ф. Искусственные нейронные сети и приложения. Казань: Изд-во Казанского университета. 2018; 121.

⁴ Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия «ТелКом». 2002; 382.

⁵ Witten I.H., Frank E., Hall M.A., Kaufmann M. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. 3rd ed. Elsevier. 2011; 629.

⁶ Ким Дж.-О., Мюллер Ч.У., Клека У.Р., Олдендерфер М.С., Блэшфилд Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Москва. 1989; 216.

2-й этап. Слой нейронов $L1$ построчно нормализует цифровые данные матрицы FWL с помощью стандартной функции нормализации числовых данных $Normalization()$ [35] и записывает результаты нормализации в матрицу $FNorm$:

$$FNorm = Normalization(FWL), \quad (2)$$

3-й этап. Слой нейронов $L1$ вычисляет корреляционную матрицу $Corr$, используя данные в строках матрицы $FNorm$ и стандартную процедуру $Correlation()$ [36]:

$$Corr = Corralation(FNorm), \quad (3)$$

4-й этап. Слой нейронов $L1$ вычисляет произведение матриц $FNorm \times Corr$, нормализует полученные цифровые данные стандартной процедурой $Normalization()$ и записывает результаты нормализации в матрицу $CNorm$:

$$CNorm = Normalization(FNorm \times Corr), \quad (4)$$

5-й этап. Слой нейронов $L2$ вычисляет матрицы Евклидовых дистанций $FDist$ и $CDist$, используя цифровые данные столбцов матриц $FNorm$ и $CNorm$ и стандартную вычислительную процедуру $EuclidDistance()$ ⁷:

$$FDist_{kl} = EuclidDistance(FNorm_{1k}, \dots, FNorm_{Mk}; FNorm_{1l}, \dots, FNorm_{Ml}), \quad (5)$$

$$CDist_{kl} = EuclidDistance(CNorm_{1k}, \dots, CNorm_{Nk}; CNorm_{1l}, \dots, CNorm_{Nl}), \quad (6)$$

где: $k, l = 1, \dots, 4$ — порядковые номера столбцов в матрицах $FNorm$ и $CNorm$; $M, N = 4$ — число столбцов и строк в матрицах $FNorm$ и $CNorm$.

6-й этап. Слой нейронов $L2$ вычисляет матрицы $FCom$ и $CCom$, используя данные матриц $FDist$, $CDist$ и стандартную процедуру вычисления собственных векторов симметричных матриц $EigenVectors()$ ⁸:

$$FCom = EigenVectors(FDist), \quad (7)$$

$$CCom = EigenVectors(CDist), \quad (7)$$

7-й этап. Слой нейронов $L3$ вычисляет значение индекса $CSlelem$ после выбора алгоритма из базы алгоритмов Comby в цикле обучения-поиска нейросети Learning. Вычислительные алгоритмы в базе алгоритмов Comby представляют собой алгебраические выражения с операндами сложения, вычитания, умножения и деления данных матриц $FNorm$, $CNorm$, $FDist$, $CDist$, $FCom$, $CCom$ в разной комбинации [37].

8-й этап. Слой нейронов $L4$ анализирует в каждом цикле настройки-обучения сервиса Learning корреляцию (r) индекса $CSlelem$ с данными вектора биомасс растений $Fbio$. Если корреляция этого индекса не удовлетворяет условию $Abs(r) \geq 0,7$, то выбирается следующий вычислительный алгоритм из базы Comby и повторяются вычисление индекса $CSlelem$ и проверка корреляции с данными вектора биомасс растений $Fbio$. При выполнении условия $Abs(r) \geq 0,7$ настройка-обучение нейросети заканчивается, вычисленные значения индекса $CSlelem$ принимаются как корректные.

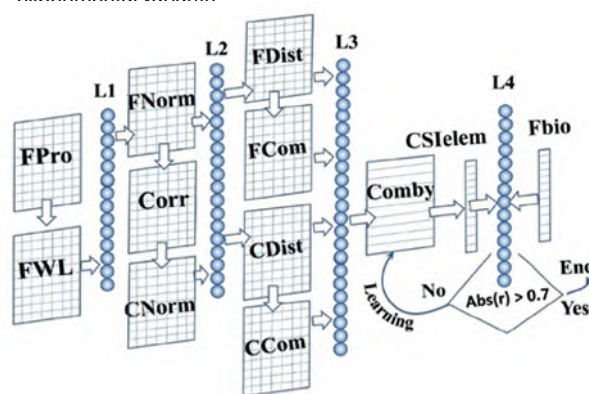
Визуально общая схема всего вычислительного алгоритма нейросети ChemNN представлена на рисунке 2.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Растения, выращенные на минеральном фоне, хорошо отреагировали на внесение удобрений. Причем в сравнении с контролем разница между вариантами составила всего лишь 9% (рис. 3, табл. 2).

Рис. 2. Нейросеть, обрабатывающая фрактальные профили химических элементов растений салата и вычисляющая индекс $CSlelem$. $FPro$, FWL — матрица фрактальных профилей химических элементов и матрица WaveLet-преобразованных данных матрицы $FPro$. $FNorm$, $CNorm$ — матрицы нормализованных данных матрицы FWL и произведения матриц $FNorm \times Corr$. $Corr$ — матрица коэффициентов корреляции между строками матрицы $FNorm$. $FDist$, $CDist$ — матрицы Евклидовых дистанций между столбцами матриц $FNorm$, $CNorm$. $FCom$, $CCom$ — матрицы собственных векторов матриц $FDist$, $CDist$. Learning — цикл обучения-поиска корректного алгоритма нейросети. Comby — база алгоритмов нейросети. $FBio$ — вектор биомасс растений по вариантам опыта

Fig. 2. Neural network processing fractal profiles of chemical elements of lettuce plants and calculating the $CSlelem$ index. $FPro$, FWL — matrix of fractal profiles of chemical elements and matrix of WaveLet-transformed data of the $FPro$ matrix. $FNorm$, $CNorm$ — matrices of normalized data of the FWL matrix and the product of matrices $FNorm \times Corr$. $Corr$ — matrix of correlation coefficients between rows of the $FNorm$ matrix. $FDist$, $CDist$ — matrices of Euclidean distances between columns of the $FNorm$, $CNorm$ matrices. $FCom$, $CCom$ — matrices of eigenvectors of the $FDist$, $CDist$ matrices. Learning — training-search cycle for the correct neural network algorithm. Comby is the base of neural network algorithms. $FBio$ — vector of plant biomasses by experimental variants



⁷ Everitt B.S., Landau S, Leese M., Stahl D. Cluster Analysis. John Wiley & Sons. 2011; 352.

⁸ Маркова Л.В., Корчевская Е.А. Численные методы нахождения собственных векторов и собственных значений матриц. Витебск: ВГУ им. П.М. Машерова. 2011; 47.

Согласно тесту Тьюки, все варианты удобрений значимо увеличивают биомассу растений ($p < 0,001$) — в 2 раза по сравнению с контролем, но между собой не различаются. Внесение ФК вместе с 50%-ным минеральным раствором способствовало набору биомассы на уровне базовой концентрации раствора Хогланда. Этот факт может означать, что ФК не могут полностью заменить минеральные удобрения, но существенно усиливают их эффективность (даже при меньших дозах внесения), оптимизируя таким образом усвоение биогенных элементов из среды растением и снижая потери в биомассе.

Повышение концентрации питательных веществ от половинной до полной дозы в растворе не увеличило концентрацию питательных веществ в растении (табл. 3). Однако суммарный пул накопления макро-, мезо- и микроэлементов в биомассе был заметно выше контроля. Так же как и в отношении веса, добавка ФК хорошо показала себя при аккумуляции питательных веществ (рис. 4). Небольшое снижение было отмечено лишь для мезоэлементов. Вариант с 50%-ной концентрацией минерального раствора здесь оказался самым лучшим, хотя и с такой же высокой долей дисперсии разброса данных, как на контроле.

Результаты однофакторного Анова-анализа для каждого элемента по вариантам сравнения приведены в таблице 4.

Таблица 2. Биомасса растений салата Афицион, выращенных на гидропонной установке в разных вариантах опыта

Table 2. Biomass of Aficion lettuce plants grown in a hydroponic setup in different experimental variants

Вариант	Биомасса салата
Контроль	137,1 ± 9,6
100%-ный минеральный р-р	259,3 ± 25,9
50%-ный минеральный р-р	247,1 ± 15,8
50%-ный минеральный р-р + ФК	263,8 ± 13,1

Таблица 3. Содержание химических элементов в побегах салата-латука по вариантам опыта. Представлено среднее значение ± ошибки средних (n = 7)

Table 3. Content of chemical elements in lettuce shoots by experimental variants. The average values ± standard errors are presented (n = 7)

Вариант	Макроэлементы			Мезоэлементы			Микроэлементы				
	г/кг						мг/кг				
	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Контроль	14,0±1,0	2,0±0,2	16,4±1,1	2,9±0,3	10,2±1,2	3,0±0,2	53,6±3,0	85,2±3,9	4,8±6,4	20,5±0,9	28,0±3,2
100%-ный минеральный р-р	28,3±1,7	9,9±1,2	76,1±9,1	3,3±0,2	2,4±1,0	3,1±0,1	83,0±10,8	71,3±8,3	6,6±11,5	56,7±0,4	31,5±5,8
50%-ный минеральный р-р	27,2±2,3	10,1±1,2	72,8±7,7	3,0±0,3	2,9±0,9	3,8±0,1	70,3±9,8	55,7±4,6	7,5±4,7	58,3±0,6	33,5±4,2
50%-ный минеральный р-р + ФК	31,1±3,4	10,4±1,2	74,9±6,8	2,0±0,1	2,7±1,3	3,6±0,1	70,3±9,8	63,6±2,1	4,7±6,0	75,2±0,2	36,4±5,8

Рис. 3. Биомасса растений салата Афицион, выращенных на гидропонной установке в разных вариантах опыта

Fig. 3. Biomass of Aficion lettuce plants grown in a hydroponic setup in different experimental variants

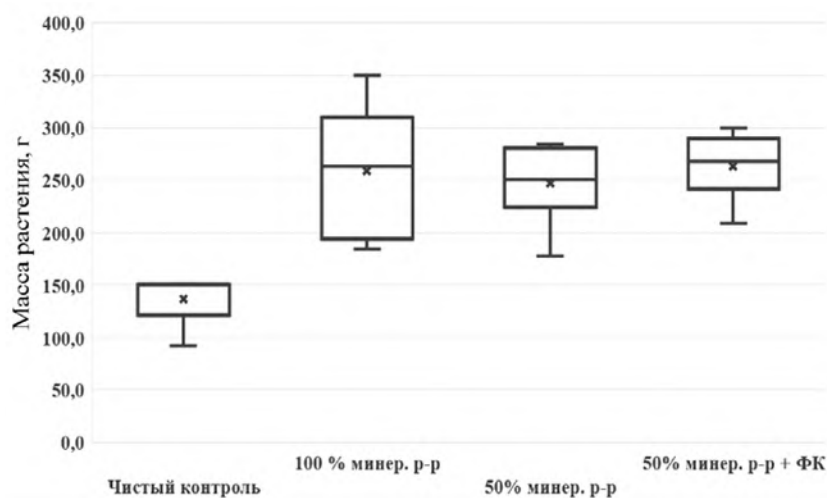


Таблица 4. Результаты Anova и HSD-теста для каждого элемента по вариантам опыта с выращиванием салата Афицион

Table 4. Results of Anova and HSD test for each element for the variants of the experiment with growing Aficion lettuce

Элемент (вариант)	1	2	3	4	5	6
микроэлементы						
N	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,112	0,003	0,001
P	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,891	0,021	0,013
K	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,754	0,452	0,621
мезоэлементы						
Ca	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,781	0,452	0,521
Mg	0,112	0,045	0,032	0,754	0,891	0,621
S	0,245	0,874	0,018	0,011	0,003	0,002
микроэлементы						
Fe	0,001	0,021	0,005	0,112	0,089	0,987
Zn	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,452	0,001	< 0,001
B	0,003	< 0,001	< 0,001	0,045	0,001	0,012

Примечание: 1 — Контроль — 100 % минер. р-р; 2 — Контроль — 50 % минер. р-р; 3 — Контроль — 50 % минер. р-р + ФК; 4 — 100 % минер. р-р — 50 % минер. р-р; 5 — 100 % минер. р-р — 50 % минер. р-р + ФК; 6 — 50 % минер. р-р — 50 % минер. р-р + ФК.

Контрольная группа растений накапливала кальция больше, чем варианты с удобрениями ($p < 0,001$), что можно объяснить эффектом разбавления, за счет быстрого роста растений и синтеза новых тканей. Элемент просто не успевает поступать в молодые листья. Это может быть связано с дисфункцией кальмодулинзависимых путей и антагонизмом с аккумуляцией калия. Механизм их транспортировки по растению различен, однако оба элемента имеют положительный заряд, поэтому в определенной степени могут конкурировать друг с другом.

Кальций играет важную роль в общем развитии растений, поскольку он является структурным компонентом клеточной стенки, участвующим в регуляции ферментов и передаче сигналов при делении клеток. Поэтому недостаток его накопления может приводить к уменьшению синтеза первичных продуктов фотосинтеза, таких как глюкоза и фруктоза. В листовых овощах эти растворимые сахара отвечают за вкус.

Варианты с минеральным фоном увеличивают аккумуляцию железа и магния. Добавка ФК не усиливала данный эффект. Она снижала концентрацию накопления серы за счет конкуренции с органическим лигандом, зато на варианте «50%-ный минеральный р-р + ФК» наблюдали значительное накопление азота, фосфора, цинка и бора ($p < 0,01$).

Поскольку в своем составе ФК содержит менее 1% азота, можно предположить, что его усвоение в биомассе происходит путем опосредованного влияния. Не исключено, что некоторые молекулы в ФК способны проявлять ауксинподобные эффекты, положительно влияющие на метаболизм азота у высших растений.

По сравнению с минеральными удобрениями органические удобрения облают пролонгированным эффектом действия, в результате чего азот постепенно высвобождается из среды и лучше усваивается биомассой. Еще из особенностей дополнительного внесения ФК в 50%-ный раствор Хогланда можно отметить уменьшение концентрации серы в побегах.

Загружая данные в нейросеть, молярные концентрации химических элементов в растениях можно расположить во фрактальный ряд чисел, в котором числа располагаются в порядке монотонного уменьшения их значений (рис. 5).

Среди возможных форм фрактальных профилей химических элементов выделяется особая, степенная форма фрактального профиля, соответствующая геометрическому цифровому ряду (например, 0,1, 0,01, 0,001)⁹. Был выбран степенной

Рис. 4. Диаграммы суммарного накопления макро- (а), мезо- (б) и микроэлементов (в) в побегах салата-латука по вариантам опыта

Fig. 4. Diagrams of the total accumulation of macro- (a), meso- (b) and microelements (b) in lettuce shoots according to experimental variants

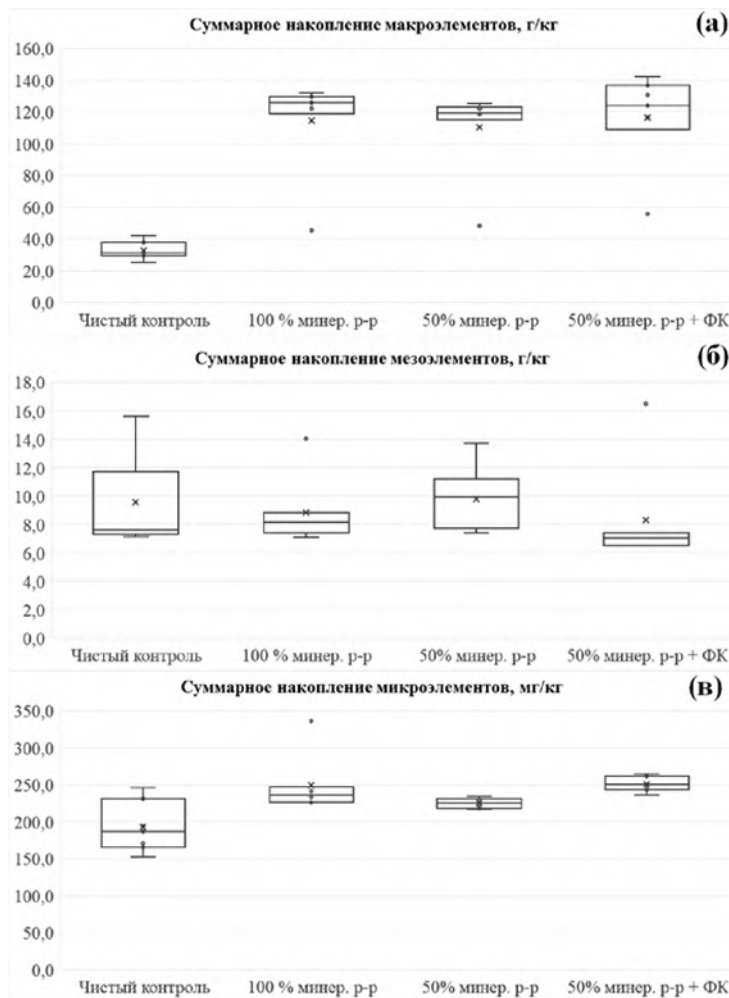
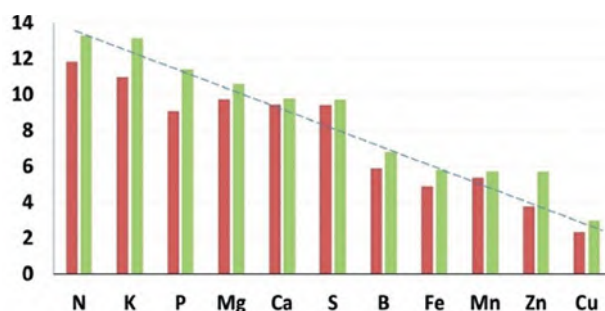


Рис. 5. Фрактальные профили химических элементов, содержащихся в общей зеленой биомассе растений, выращенных в контрольном варианте опыта (красные столбцы) и в варианте с удобрениями (50%-ный минеральный раствор ФК, зеленые столбцы). По Y-оси отложены значения логарифма $\ln(1000 \text{ NM})$, где NM — молярное количество химических элементов. Пунктирная линия соответствует степенной фрактальной модели профиля химических элементов

Fig. 5. Fractal profiles of chemical elements contained in the total green biomass of plants grown in the control variant of the experiment (red bars) and in the variant with fertilizers (50% mineral solution and fulvic acid, green bars). The Y-axis shows the values of the logarithm $\ln(1000 \text{ NM})$, where NM is the molar amount of chemical elements. The dotted line corresponds to the power fractal model of the profile of chemical elements



фрактальный профиль химических элементов в качестве опорного базиса, относительно которого предполагается рассчитывать величину отклонения фактических фрактальных профилей химических элементов от степенного фрактального профиля. Отсутствие отклонений фактического фрактального профиля химических элементов в растениях от степенного профиля связываем с наличием наилучших агроэкологических условий выращивания растений.

Нейросеть ChemNN рассчитывает величину этого отклонения и трансформирует ее обратным преобразованием в индексы CSIelem1, CSIelem2, CSIelem3 (табл. 5), представляющие интенсивности биохимических процессов накопления макроэлементов, мезоэлементов и микроэлементов в растениях.

В результате нейросетевых вычислений было обнаружено, что только значения индекса CSIelem2, представляющего интенсивность накопления мезоэлементов (Mg, Ca и S) в растениях, во всех опытных вариантах были ниже, чем в контрольном варианте.

Из этого следует, что удобрительная схема выращивания салата должна быть скорректирована с учетом дополнительного введения данных элементов в питательный раствор. Особенно это касается кальция.

Выводы/Conclusions

В отличие от почвы, закрытые условия гидропонной сити-фермы обеспечивают рациональное использование воды и растворенных в ней питательных веществ. Эффективное управление режимом питания и снижение сорбционного эффекта минимизируют потери удобрений и негативное воздействие на окружающую среду.

Общепризнанно, что органические стимуляторы в виде гумусовых кислот могут повышать урожайность растений [38], но их эффективность

Таблица 5. Фрактальные профили химических элементов в биомассе растений салата по вариантам опыта

Table 5. Fractal profiles of chemical elements in the biomass of lettuce plants according to experimental variants

Варианты опыта (индекс)	Контроль	100%-ный минеральный р-р	50%-ный минеральный р-р	50%-ный минеральный р-р + ФК
CSIelem1, SE ± 0,1	2,0	6,8	6,6	6,9
CSIelem2, SE ± 0,1	7,7	2,8	5,1	4,5
CSIelem3, SE ± 0,1	2,0	6,8	6,6	6,9

Примечание: индексы CSIelem1, CSIelem2, CSIelem3 рассчитаны нейросетью в отношении интенсивности суммарного накопления следующих групп химических элементов: CSIelem1 — N, P, K; CSIelem2 — Mg, Ca, S; CSIelem3 — B, Fe, Mn, Zn, Cu.

варьируется и не всегда предсказуемо, что требует повышенной точности при определении их дозирования. В проведенном исследовании показано, что добавкой ФК в концентрации 90 млн⁻¹ позволяет повысить интенсивность усвоения неорганических ионов из обедненного вдвое питательного раствора Хогланда.

Нейросети позволяют извлекать ранее недоступную информацию из физиологических и биохимических данных.

В настоящем исследовании была получена информация об интенсивности масс-накопительных и биохимических процессов, проходящих в растениях. Значения рассчитанных индексов когнитивной значимости цифровых данных предоставляют возможность количественного сравнения вариантов удобрительных методик и выбирать те агротехнологии, которые обеспечивают ускоренное и полноценное развитие растений.

Проведенные расчеты показали увеличение уровня когерентности (закрепления) биогенных макро- и микроэлементов в листовой зелени салата при обогащении 50% питательной среды ФК. Относительно уменьшения показателя индекса накопления мезоэлементов можно сделать вывод о необходимости корректирования здесь удобрительной смеси с учетом дополнительного введения в жидкую среду солей Ca и S или использованием внекорневых подкормок.

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы FGUS 2024-0010 и FGUS 2025-0005).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Godfray H.C.J. *et al.* Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*. 2010; 327(5967): 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
2. Жильцова М.С., Кузнецова О.А., Кудинов Б.Б., Мельников А.Р. Сити-фермы как перспективное направление развития «городского» бизнеса. *Естественно-гуманитарные исследования*. 2024; (2): 113–119. <https://www.elibrary.ru/oqppzp>
3. Дмитриева А.С. Вертикальные фермы — новая тенденция в сельском хозяйстве. *ХроноЭкономика*. 2019; (6): 35–38. <https://www.elibrary.ru/kkyhpd>

⁹ Schroeder M. *Fractals, Chaos, Power Laws: Minutes from an Infinite Paradise*. NY: Dover Publications. 2009; 448.

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

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (registration numbers of research topics: FGUS 2024-0010 and FGUS 2025-0005).

REFERENCES

1. Godfray H.C.J. *et al.* Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*. 2010; 327(5967): 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
2. Zhiltsova M.S., Kuznetsova O.A., Kudinov B.B., Melnikov A.R. City farms as a promising direction for the development of “urban” business. *Natural-Humanitarian Studies*. 2024; (2): 113–119 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/oqppzp>
3. Dmitrieva A.S. Vertical farms are a new trend in agriculture. *HronoEconomics*. 2019; (6): 35–38 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kkyhpd>

4. Ерохин М.Н., Скороходов Д.М., Скороходова А.Н., Анисимов А.А., Потемкин Р.А. Анализ современных устройств выращивания растений в городском фермерстве и перспективы его развития. *Агроинженерия*. 2021; (3): 24–31. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-24-31>
5. Santos P.J.A., Ocampo E.T.M. SNAP hydroponics: Development & potential for urban vegetable production. *Philippine Journal of Crop Science*. 2005; 30(2): 3–11.
6. Sardare M.D., Admane S.V. A Review on Plant Without Soil — Hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2013; 2(3): 299–304. <https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0203013>
7. Putra P.A., Yuliando H. Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: A Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015; 3: 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054>
8. De Souza P.F. et al. Physiological differences of Crocantela lettuce cultivated in conventional and hydroponic systems. *Horticultura Brasileira*. 2019; 37(1): 101–105. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190116>
9. Козлова А.В. Вертикальные фермы — новая тенденция в сельском хозяйстве. *Молодежь и наука*. 2021; (8): 18. <https://www.elibrary.ru/mffxgz>
10. Пинчук Е.В., Беспалко Л.В., Козарь Е.Г., Балашова И.Т., Сирота С.М., Шевченко Т.Е. Ценная овощная зелень на гидропонике для круглогодичного потребления. *Овощи России*. 2019; (3): 45–53. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-45-53>
11. Qadeer A. et al. Hydroponics as an innovative technique for lettuce production in greenhouse environment. *Pure and Applied Biology*. 2020; 9(1): 20–26. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90130>
12. Лебедева А.Т. Салаты. М.: МСП. 2004; 153. ISBN 5-7578-0203-0 <https://www.elibrary.ru/qkvwhn>
13. Sapkota S., Sapkota S., Liu Z. Effects of Nutrient Composition and Lettuce Cultivar on Crop Production in Hydroponic Culture. *Horticulturae*. 2019; 5(4): 72. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5040072>
14. Sronsri C., Sittipol W., U-yen K. Quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown by a circulating hydroponic method with a Halbach array magnetizer. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022; 108: 104460. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104460>
15. Солдатенко А.В. и др. Проблемы производства салата в открытом грунте и особенности его выращивания в условиях мелкотоварного производства (на примере ООО «Веселый агроном» Дмитровского района Московской области). *Овощи России*. 2018; (2): 55–60. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-2-55-60>
16. Иванова М.И., Кашлева А.И., Алексеева К.Л., Давлетбаева О.Р. Салат: многообразие разновидностей и сортов. *Картофель и овощи*. 2017; (5): 22–24. <https://www.elibrary.ru/yndazt>
17. Иванова М.И., Сурихина Т.Н. Размер и тенденции роста рынка салата. *Картофель и овощи*. 2024; (2): 20–25. <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.50.64.001>
18. Старых Г.А., Хаустова Н.А. Технология выращивания салата на примере ЗАО «Агрокомбинат “Московский”». *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2015; 18: 9–14. <https://www.elibrary.ru/vdmahl>
19. Олива Т.В., Манокхина Л.А., Кузьмина Е.А., Проскурина Е.Н. Листовой салат сорта Афицион в защищенном грунте. *Инновации в АПК: проблемы и перспективы*. 2019; (4): 235–244. <https://www.elibrary.ru/ihlhwo>
20. Solis E.S., Gabutan J.U. Hydroponic Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Lalique*) Production Using Commercially Available Nutrient Solutions. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*. 2023; 9(3): 330–341. <https://doi.org/10.51193/IJAER.2023.9306>
21. Barbosa G.L. et al. Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2015; 12(6): 6879–6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>
22. Ahmed Z.F.R., Alnuaimi A.K.H., Askri A., Tzortzakos N. Evaluation of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Production under Hydroponic System: Nutrient Solution Derived from Fish Waste vs. Inorganic Nutrient Solution. *Horticulturae*. 2021; 7(9): 292. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090292>
23. Shahein M.M., Afifi M.M., Algharib A.M. Assessing the Effect of Humic Substances Extracted from Compost and Biogas Manure on Yield and Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 2014; 14(10): 996–1009.
24. Guilayn F., Benbrahim M., Rouez M., Crest M., Patureau D., Jimenez J. Humic-like substances extracted from different digestates: First trials of lettuce biostimulation in hydroponic culture. *Waste Management*. 2020; 104: 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.025>
4. Erokhin M.N., Skorokhodov D.M., Skorokhodova A.N., Anisimov A.A., Potemkin R.A. Analysis of using modern plant cultivation units in city farming and its development prospects. *Agricultural Engineering*. 2021; (3): 24–31 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-24-31>
5. Santos P.J.A., Ocampo E.T.M. SNAP hydroponics: Development & potential for urban vegetable production. *Philippine Journal of Crop Science*. 2005; 30(2): 3–11.
6. Sardare M.D., Admane S.V. A Review on Plant Without Soil — Hydroponics. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2013; 2(3): 299–304. <https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0203013>
7. Putra P.A., Yuliando H. Soilless Culture System to Support Water Use Efficiency and Product Quality: A Review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015; 3: 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054>
8. De Souza P.F. et al. Physiological differences of Crocantela lettuce cultivated in conventional and hydroponic systems. *Horticultura Brasileira*. 2019; 37(1): 101–105. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620190116>
9. Kozlova A.V. Vertical farms are a new trend in agriculture. *Youth and Science*. 2021; (8): 18 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mffxgz>
10. Pinchuk E.V., Bepalko L.V., Kozar E.G., Balashova I.T., Sirota S.M., Shevchenko T.E. Valuable vegetable green on hydroponics for seasonal use. *Vegetable crops of Russia*. 2019; (3): 45–53 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-45-53>
11. Qadeer A. et al. Hydroponics as an innovative technique for lettuce production in greenhouse environment. *Pure and Applied Biology*. 2020; 9(1): 20–26. <https://doi.org/10.19045/bspab.2020.90130>
12. Lebedeva A.T. Salads. Moscow: MSP. 2004; 153 (in Russian). ISBN 5-7578-0203-0 <https://www.elibrary.ru/qkvwhn>
13. Sapkota S., Sapkota S., Liu Z. Effects of Nutrient Composition and Lettuce Cultivar on Crop Production in Hydroponic Culture. *Horticulturae*. 2019; 5(4): 72. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5040072>
14. Sronsri C., Sittipol W., U-yen K. Quantity and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown by a circulating hydroponic method with a Halbach array magnetizer. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022; 108: 104460. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104460>
15. Soldatenko A.V. et al. Problems of lettuce production in open ground and peculiarities of his growing in conditions of small-manufacture production (on the example of LLC “Vesely agronom” Dmitrovskiy district of Moscow region). *Vegetable crops of Russia*. 2018; (2): 55–60 (in Russian). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2018-2-55-60>
16. Ivanova M.I., Kashleva A.I., Alekseeva K.L., Davletbayeva O.R. Lettuce [sic!]: diversity of variants and cultivars. *Potato and vegetables*. 2017; (5): 22–24 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yndazt>
17. Ivanova M.I., Surikhina T.N. The size and growth trends of the leafy vegetable market. *Potato and vegetables*. 2024; (2): 20–25 (in Russian). <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.50.64.001>
18. Starykh G.A., Khaustova N.A. Technology of growing lettuce on the example of ZAO «Agrokombinat “Moskovsky”». *Herald of Russian State Agrarian Correspondence University*. 2015; 18: 9–14 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vdmahl>
19. Oliva T.V., Manokhina L.A., Kuzmina E.A., Proskurina E.N. Lettuce of the variety Aficion in the greenhouse. *Innovations in agricultural complex: problems and perspectives*. 2019; (4): 235–244 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ihlhwo>
20. Solis E.S., Gabutan J.U. Hydroponic Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Lalique*) Production Using Commercially Available Nutrient Solutions. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*. 2023; 9(3): 330–341. <https://doi.org/10.51193/IJAER.2023.9306>
21. Barbosa G.L. et al. Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2015; 12(6): 6879–6891. <https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>
22. Ahmed Z.F.R., Alnuaimi A.K.H., Askri A., Tzortzakos N. Evaluation of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Production under Hydroponic System: Nutrient Solution Derived from Fish Waste vs. Inorganic Nutrient Solution. *Horticulturae*. 2021; 7(9): 292. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090292>
23. Shahein M.M., Afifi M.M., Algharib A.M. Assessing the Effect of Humic Substances Extracted from Compost and Biogas Manure on Yield and Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*. 2014; 14(10): 996–1009.
24. Guilayn F., Benbrahim M., Rouez M., Crest M., Patureau D., Jimenez J. Humic-like substances extracted from different digestates: First trials of lettuce biostimulation in hydroponic culture. *Waste Management*. 2020; 104: 239–245. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.025>

25. Скугорева С.Г., Ашихмина Т.Я., Кантор Г.Я., Сырчина Н.В. Влияние гуминовых удобрений на ростовые и биохимические показатели растений салата. *Бутлеровские сообщения*. 2020; 64(11): 108–115. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/20-64-11-108>
26. Удалова О.Р., Мирская Г.В., Конончук П.Ю., Панова Г.Г. О влиянии растворов фульвокислот из сапропеля на растения салата при различных видах его обработки. *Аграрный вестник Урала*. 2021; (6): 22–33. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-22-33>
27. Долгих П.П., Трепуз С.В., Попова Н.М. Роль спектральных характеристик источников излучения в формировании урожая салата при выращивании методом гидропоники. *Агроинженерия*. 2023; 25(5): 62–67. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-62-67>
28. Noh K., Jeong B.R. Optimizing Temperature and Photoperiod in a Home Cultivation System to Program Normal, Delayed, and Hastened Growth and Development Modes for Leafy Oak-Leaf and Romaine Lettuces. *Sustainability*. 2021; 13(19): 10879. <https://doi.org/10.3390/su131910879>
29. Loconsole D., Cocetta G., Santoro P., Ferrante A. Optimization of LED Lighting and Quality Evaluation of Romaine Lettuce Grown in An Innovative Indoor Cultivation System. *Sustainability*. 2019; 11(3): 841. <https://doi.org/10.3390/su11030841>
30. Senila M. Recent Advances in the Determination of Major and Trace Elements in Plants Using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. *Molecules*. 2024; 29(13): 3169. <https://doi.org/10.3390/molecules29133169>
31. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*. 2015; 61: 85–117. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>
32. Погодаев А.К., Хабибуллина Е.Л., Инютин Д.М. Применение нейросетевых моделей для построения продукционных правил экспертных систем. *Прикладная математика и вопросы управления*. 2021; (2): 73–92. <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2021.2.05>
33. Widrow B., Greenblatt A., Kim Y., Park D. The No-Prop algorithm: A new learning algorithm for multilayer neural networks. *Neural Networks*. 2013; 37: 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2012.09.020>
34. Sutrop U. List Task and a Cognitive Saliency Index. *Field Methods*. 2001; 13(3): 263–276. <https://doi.org/10.1177/1525822X0101300303>
35. Mascarenhas W.F. Fast and accurate normalization of vectors and quaternions. *Computational and Applied Mathematics*. 2018; 37(4): 4649–4660. <https://doi.org/10.1007/s40314-018-0594-6>
36. Nikolić D., Mureşan R.C., Feng W., Singer W. Scaled correlation analysis: a better way to compute a cross-correlogram. *European Journal of Neuroscience*. 2012; 35(5): 742–762. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07987.x>
37. Дюк В.А., Флегонтов А.В., Фомина И.К. Применение технологий интеллектуального анализа данных в естественно-научных, технических и гуманитарных областях. *Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена*. 2011; 138: 77–84. <https://www.elibrary.ru/ndnwej>
38. Rose M.T., Patti A.F., Little K.R., Brown A.L., Jackson W.R., Cavagnaro T.R. A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. *Advances in Agronomy*. 2014; 124: 37–89. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>
25. Skugoreva S.G., Ashikhmina T.Ya., Kantor G.Ya., Syrchina N.V. Influence of humic fertilizers on growth and biochemical parameters of lettuce plants. *Butlerov Communications*. 2020; 64(11): 108–115 (in Russian). <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/20-64-11-108>
26. Udalova O.R., Mirskaya G.V., Kononchuk P.Yu., Panova G.G. About the influence of solutions of fulvic acids from sapropel on lettuce plants in various types of its processing. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; (6): 22–33 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-209-06-22-33>
27. Dolgikh P.P., Trepuz S.V., Popova N.M. Role of the spectral characteristics of radiating sources in the formation of lettuce yield in hydroponics cultivation. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023; 25(5): 62–67 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-62-67>
28. Noh K., Jeong B.R. Optimizing Temperature and Photoperiod in a Home Cultivation System to Program Normal, Delayed, and Hastened Growth and Development Modes for Leafy Oak-Leaf and Romaine Lettuces. *Sustainability*. 2021; 13(19): 10879. <https://doi.org/10.3390/su131910879>
29. Loconsole D., Cocetta G., Santoro P., Ferrante A. Optimization of LED Lighting and Quality Evaluation of Romaine Lettuce Grown in An Innovative Indoor Cultivation System. *Sustainability*. 2019; 11(3): 841. <https://doi.org/10.3390/su11030841>
30. Senila M. Recent Advances in the Determination of Major and Trace Elements in Plants Using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry. *Molecules*. 2024; 29(13): 3169. <https://doi.org/10.3390/molecules29133169>
31. Schmidhuber J. Deep learning in neural networks: An overview. *Neural Networks*. 2015; 61: 85–117. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>
32. Pogodaev A.K., Khabibullina E.L., Inyutin D.M. Applying neural network models to the construction of production rules expert systems. *Applied Mathematics and Control Sciences*. 2021; (2): 73–92 (in Russian). <https://doi.org/10.15593/2499-9873/2021.2.05>
33. Widrow B., Greenblatt A., Kim Y., Park D. The No-Prop algorithm: A new learning algorithm for multilayer neural networks. *Neural Networks*. 2013; 37: 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2012.09.020>
34. Sutrop U. List Task and a Cognitive Saliency Index. *Field Methods*. 2001; 13(3): 263–276. <https://doi.org/10.1177/1525822X0101300303>
35. Mascarenhas W.F. Fast and accurate normalization of vectors and quaternions. *Computational and Applied Mathematics*. 2018; 37(4): 4649–4660. <https://doi.org/10.1007/s40314-018-0594-6>
36. Nikolić D., Mureşan R.C., Feng W., Singer W. Scaled correlation analysis: a better way to compute a cross-correlogram. *European Journal of Neuroscience*. 2012; 35(5): 742–762. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2011.07987.x>
37. Dyuk V.A., Flegontov A.V., Fomina I.C. Application of data mining technologies in the natural sciences, engineering and humanities. *Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences*. 2011; 138: 77–84 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ndnwej>
38. Rose M.T., Patti A.F., Little K.R., Brown A.L., Jackson W.R., Cavagnaro T.R. A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. *Advances in Agronomy*. 2014; 124: 37–89. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>

ОБ АВТОРАХ

Николай Иванович Воробьев¹

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
nik.ivanvorobyov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8300-2287>

Ян Викторович Пухальский²

научный сотрудник
puhalskyan@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>

Святослав Игоревич Лоскутов²

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией промышленных биотехнологических инноваций
lislosh@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

Андрей Васильевич Бабыка³

генеральный директор
89036257549@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-8794-3494>

Алла Ивановна Якубовская⁴

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела сельскохозяйственной микробиологии
yakubovskaya_alla@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

ABOUT THE AUTHORS

Nikolay Ivanovich Vorobyov¹

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
nik.ivanvorobyov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8300-2287>

Jan Viktorovich Puhalsky²

Research Associate
puhalskyan@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5233-3497>

Svyatoslav Igorevich Loskutov²

Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations
lislosh@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8102-2900>

Andrey Vasilyevich Babyka³

General Manager
89036257549@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-8794-3494>

Alla Ivanovna Yakubovskaya⁴

Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Agricultural Microbiology
yakubovskaya_alla@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-8434-2689>

Ирина Алексеевна Каменева⁴

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией физиологии и экологии микроорганизмов
 irina.kameneva.7@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3914-7184>

Анатолий Иванович Осипов⁵

доктор сельскохозяйственных биологических наук, профессор, главный научный сотрудник
 aosipov2006@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-3181-3792>

Валерия Романовна Турковская³

инженер-исследователь
 liatolani@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0008-8854-0461>

Владимир Викторович Космин⁶

инженер-исследователь
 jankiss88@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0000-2274-2265>

Михаил Павлович Сакович⁶

генеральный директор
 jankiss88@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-5429-669X>

¹ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, шоссе Подбельского, 3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Литейный пр-т, 55, Санкт-Петербург, 191014, Россия

³ ООО «Фарморганик», Богатырский пр-т, 60, корп. 3, литера А, кв. 42, Санкт-Петербург, 197082, Россия

⁴ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, ул. Киевская, 150, Симферополь, 295453, Россия

⁵ Агрофизический научно-исследовательский институт, Гражданский пр-т, 14, Санкт-Петербург, 195220, Россия

⁶ ООО Organic farm Green Punch, Валдайская ул., 9, Санкт-Петербург, 196624, Россия

Irina Alekseevna Kameneva⁴

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Physiology and Ecology of Microorganisms
 irina.kameneva.7@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3914-7184>

Anatoly Ivanovich Osipov⁵

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Scientific Officer
 aosipov2006@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0003-3181-3792>

Valeria Romanovna Turkovskaya³

Research Engineer
 liatolani@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0008-8854-0461>

Vladimir Viktorovich Kosmin⁶

Research Engineer
 jankiss88@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0000-2274-2265>

Mikhail Pavlovich Sakovich⁶

General Manager
 jankiss88@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-5429-669X>

¹ All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, 3 Podbelskogo Highway, Pushkin, Saint Petersburg, 196608, Russia

² The All-Russian Scientific Research Institute of Food Additives is a branch of the V.M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, 55 Liteyny Ave., Saint Petersburg, 191014, Russia

³ LLC "Farmorganik", 60A Bogatyrsky Ave., buldging 3, apartment 42, Saint Petersburg, 197082, Russia

⁴ Scientific Research Institute of Agriculture of Crimea, 150 Kievskaya Str., Simferopol, 295453, Russia

⁵ Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdansky Ave., Saint Petersburg, 195220, Russia

⁶ LLC "Organic farm Green Punch", 9 Valdayskaya Str., Saint Petersburg, 196624, 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

Г.Е. Осипов ✉

Н.В. Петрова

А.А. Карпова

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

✉ osipovge@mail.ru

Поступила в редакцию: 21.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Осипов Г.Е., Петрова Н.В., Карпова А.А.

Морозостойкость генеративных и вегетативных почек вишни разных сортов в Татарстане

РЕЗЮМЕ

Вишня обыкновенная (*Prunus cerasus* L.) — ценная косточковая культура в средней полосе России, Поволжье, Республике Татарстан. Она пользуется большой популярностью у населения за счет хорошего вкуса плодов, содержащих питательные и биологически активные вещества. По зимостойкости она превосходит другие виды косточковых культур: сливу, алычу, абрикосы. Не все сорта вишни обыкновенной, выведенные в России, адаптированы к суровым зимним условиям Татарстана. От неблагоприятных зимних условий чаще повреждаются генеративные почки растений вишни.

Цель исследований — определение морозостойкости генеративных и вегетативных почек у сортов вишни в условиях Татарстана.

Подмерзание генеративных и вегетативных почек, продуктивность сортов вишни определяли по методике Всероссийского НИИ селекции плодовых культур.

В результате проведенных исследований установлено, что в 2023–2024 гг. в лаборатории селекции плодовых культур Татарского НИИСХ не было сортов вишни с высокоморозостойкими, морозостойкими и среднеморозостойкими генеративными почками. По устойчивости генеративных почек к морозу -38 °C сорта вишни были распределены в следующие группы: IV — маломорозостойкие Обильная (к.), Шакировская (к.), Ливенская, Шеланговская, Труженица Татари, Память Сахарова, Волжская, Заря Татари, Новелла; V — неморозостойкие Севастьяновская, Тверитиновская, Ровесница, Краса Татари, Десертная Морозовой.

Вегетативные почки у сортов вишни показали более высокую устойчивость к морозу -38 °C, чем генеративные почки. В 2024 году не было сортов вишни с высокоморозостойкими вегетативными почками. Во II группу устойчивости вегетативных почек (морозостойкие) вошли следующие сорта вишни: Обильная (к.), Шеланговская, Труженица Татари, Ливенская, Волжская, Шакировская (к.), Память Сахарова, Заря Татари.

Ключевые слова: вишня обыкновенная (*Prunus cerasus* L.), сорт, генеративные почки, вегетативные почки, морозостойкость, подмерзание, Татарстан

Для цитирования: Осипов Г.Е., Петрова Н.В., Карпова А.А. Морозостойкость генеративных и вегетативных почек вишни разных сортов в Татарстане. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 115–121.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-115-121>

Gennady E. Osipov ✉

Natalia V. Petrova

Anna A. Karpova

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture — Subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia

✉ osipovge@mail.ru

Received by the editorial office: 21.05.2025

Accepted in revised: 12.07.2025

Accepted for publication: 27.07.2025

© Osipov G.E., Petrova N.V., Karpova A.A.

Frost resistance of generative and vegetative buds in sour cherry varieties in Tatarstan

ABSTRACT

Sour cherry (*Prunus cerasus* L.) is a valuable stone fruit crop in the Central Belt of Russia, the Volga Region, and the Republic of Tatarstan. It is very popular among the population due to its good-tasting fruits containing nutritious and biologically active substances. In terms of winter hardiness, it surpasses other types of stone fruit crops: plum, cherry plum, apricots. Not all varieties of sour cherry bred in Russia are adapted to the harsh winter conditions of Tatarstan. Unfavorable winter conditions often damage the generative buds of sour cherry plants.

The purpose of the research is to determine the frost resistance of generative and vegetative buds in sour cherry varieties in Tatarstan.

Freezing of generative and vegetative buds, productivity in sour cherry varieties were determined according to the methodology of the All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding.

As a result of the research, it was established that in 2023–2024, in the laboratory of fruit crop breeding of the Tatar Research Institute of Agriculture, there were no sour cherry varieties with highly frost-resistant, frost-resistant and moderately frost-resistant generative buds. According to the resistance of generative buds to frost of -38 °C, sour cherry varieties were divided into the following groups: IV — slightly frost-resistant Obilnaya (k.), Shakirovskaya (k.), Livenskaya, Shelangovskaya, Truzhenitsa Tatarii, Pamyat Sakharova, Volzhskaya, Zarya Tatarii, Novella; V — not frost-resistant Sevastyanovskaya, Tveritinovskaya, Rovesnitsa, Krasa Tatarii, Dessertnaya Morozova.

Vegetative buds of sour cherry varieties showed higher resistance to frost of -38 °C than generative buds. In 2024, there were no sour cherry varieties with highly frost-resistant vegetative buds. The following sour cherry varieties were included in the II group of vegetative bud resistance (frost-resistant): Obilnaya (k.), Shelangovskaya, Truzhenitsa Tatarii, Livenskaya, Volzhskaya, Shakirovskaya (k.), Pamyat Sakharov, Zarya Tatarii.

Key words: sour cherry (*Prunus cerasus* L.), variety, generative buds, vegetative buds, frost resistance, freezing, Tatarstan

For citation: Osipov G.E., Petrova N.V., Karpova A.A. Frost resistance of generative and vegetative buds in sour cherry varieties in Tatarstan. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 115–121 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-115-121>

Введение/Introduction

Вишня обыкновенная (*Prunus cerasus* L.) — ценная древесная плодовая культура с тетраплоидной структурой генома ($2n = 4x = 32$). Ее ареал простирается от Турции до севера России. Родоначальными видами вишни были черешня диплоидная (*Prunus avium* L.) и вишня тетраплоидная (*Prunus fruticosa* Pall.) [1].

Мировое производство плодов вишни составляет 1 378 216 т [2]. В основном плоды вишни производят в странах Европы: России [3–5], Польше, Турции [2], Украине, Сербии, Венгрии, Дании [6], Латвии [7] и др. В меньших объемах выращивают вишню в Азии и Северной Америке. В Северной Америке наибольшие площади вишневых садов находятся в США, в штатах Мичиган и Юта [8, 9].

Урожайность и качество плодов садовых культур в основном зависят от генотипа, условий окружающей среды и технологии выращивания. Абиотические стрессы, такие как неблагоприятные условия окружающей среды, могут сильно снизить продуктивность сельскохозяйственных культур, при этом потери урожая могут составлять от 50 до 70%. Наиболее распространенные абиотические стрессы представлены холодом, жарой, засухой, наводнениями, засолением, дефицитом питательных веществ, высокой и низкой интенсивностью света, включая ультрафиолетовое излучение. Эти абиотические стрессы влияют на многочисленные физиологические и биохимические процессы в растениях [10].

Зимостойкость определяется не только наследственными признаками сортов, но и в определенной степени зависит от физиологического состояния деревьев, условий выращивания [7]. Зимостойкость и морозостойкость растений вишни изучают в полевых [11–13] и лабораторных условиях [4, 14, 15]. В условиях Орловской области в критические зимы цветковые почки у сортов вишни были повреждены на 25–75%. В селекции на зимостойкость цветковых почек рекомендуется использовать сорта вишни Гриот Остгеймский, Шоколадница, Уифехертой Фуртош [11]. По первому ($-29\text{ }^{\circ}\text{C}$) и второму ($-35\text{ }^{\circ}\text{C}$) компонентам зимостойкости в условиях Республики Татарстан выделились отборные гибриды вишни среднего срока созревания 2-1-83 и 1-11-6 [16]. Высокую зимостойкость в условиях юга России показали сорта вишни обыкновенной Казачка, Алекса и Ностра [17].

Зимостойкость большинства исследуемых сортов вишни обыкновенной в условиях Центрального региона России является средней, что не дает возможности получать стабильные высокие урожаи данной культуры в этом регионе. Повысить зимостойкость сортов вишни обыкновенной возможно путем вовлечения в синтетическую селекцию этой культуры гибридных форм, полученных на основе вишни Маака [18].

Межсортные скрещивания с лучшими отечественными и зарубежными сортами Норд Стар

(Канада), Владимирская (Россия), Чернокорка (Украина) позволили получить высокозимостойкие сорта Казачка, Алекса и Ностра в условиях юга России. Они рекомендованы для использования в насыщающих скрещиваниях в качестве исходных форм по морозостойкости [17, 19].

По результатам искусственного промораживания во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур были выделены привойно-подвойные комбинации Новелла/74332 и Тургеневка/74336, которые характеризовались максимальной морозостойкостью генеративных, вегетативных почек, коры и древесины [20]. В Орловской области методом искусственного промораживания З.Е. Ожерельева и А.А. Гуляева наибольший потенциал морозостойкости по всем основным компонентам зимостойкости выявили у сортов вишни Орлица и Шоколадница [14]. Среди сортов вишни обыкновенной по комплексу признаков подмерзания генеративных почек и тканей в качестве лучших по четырем компонентам зимостойкости О.В. Остриковой, И.Э. Федотовой и Е.Л. Хархардиной выделены сорта Новелла, Ливенская, Мценская [15].

В результате проведенных исследований М.Л. Дубровским, А.С. Лыжиным и А.В. Кружковым в Тамбовской области были выявлены генотипы с высоким уровнем устойчивости к низким температурам по II и IV компонентам: сорта Комсомольская, Орбита, Романтика, элитная форма 36-85, сеянцы 6-94, 6-95, 12-75 и 4-43-02 [4].

Вишня обыкновенная (*Prunus cerasus* L.) имеет значение как косточковая культура в средней полосе России, Поволжье, Республике Татарстан [16, 21]. Она пользуется большой популярностью у населения за счет хорошего вкуса плодов, содержащих питательные и биологически активные вещества. По зимостойкости она превосходит другие виды косточковых культур: сливу, алычу, абрикосы. Не все сорта вишни обыкновенной, выведенные в России, адаптированы к суровым зимним условиям Татарстана. От неблагоприятных зимних условий чаще повреждаются генеративные почки растений вишни.

Цель исследований — установить в условиях Татарстана сорта вишни с морозостойкими генеративными и вегетативными почками.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Изучение морозостойкости генеративных и вегетативных почек у 14 сортов вишни проводили в лаборатории селекции плодовых культур Татарского НИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН в 2023–2024 гг.

Саженцы сортов вишни высажены в 2004–2005 гг. по схеме 4 × 4 м.

Сад расположен в Камско-Устьинском районе (около с. Теньки) на юго-западе Республики Татарстан.

Почвы в саду коричнево-серые лесные средне-суглинистые.

Объекты изучения — сорта вишни: селекции Татарского НИИСХ Краса Татарии (контроль для сортов раннего срока созревания), Шеланговская, Шакировская (контроль для сортов среднего срока созревания), Заря Татарии, Труженица Татарии, Память Сахарова, Волжская, Тверитиновская, Севастьяновская, Обильная (контроль для сортов позднего срока созревания); селекции Всероссийского НИИ селекции плодовых культур Ливенская, Новелла, Ровесница; селекции ФНЦ им. И.В. Мичурина Десертная Морозовой.

Подмерзание генеративных и вегетативных почек, продуктивность сортов вишни определяли по методике Всероссийского НИИ селекции плодовых культур¹. Пробы двухлетних ветвей вишни брали в саду через 5 дней после мороза до -38 °С в трех повторностях. В каждой повторности более 100 генеративных и вегетативных почек. Нарезанные ветви сортов вишни ставили в сосуды с водой. Через две недели делали продольные срезы набухших почек. Подсчитывали процент поврежденных генеративных и вегетативных почек.

Сорта делили на группы устойчивости к морозам:

I группа устойчивости (высокоморозостойкие) — гибель генеративных почек до 10%;

II группа устойчивости (морозостойкие) — гибель генеративных почек до 25%;

III группа устойчивости (среднеморозостойкие) — гибель генеративных почек до 50%;

IV группа устойчивости (маломорозостойкие) — гибель генеративных почек до 75%;

V группа устойчивости (неморозостойкие) — гибель генеративных почек до 100%.

Продуктивность сортов вишни определяли (в кг) путем взвешивания плодов в период съемной зрелости. Гидротермический коэффициент (ГТК) определяли по формуле:

$$\text{ГТК} = \frac{\text{сумма осадков за определенный период} \times 10}{\text{сумма положительных температур}}$$

Однофакторный и двухфакторный дисперсионные анализы полученных результатов проведены с применением методики Б.А. Доспехова².

Результаты и обсуждение /

Results and discussion

В Теньковском отделе садоводства Татарского НИИСХ в зимний период 2022–2023 гг. сильные морозы (-38 °С) отмечали в I декаде января. Резких колебаний температуры воздуха и продолжительных оттепелей в зимний период не было³. Оттепели (+1–2 °С) в течение двух дней наблюдали в III декаде декабря 2022 г., один день в январе (+1 °С) и феврале (+1 °С) 2023 г.

Следовательно, погодные условия зимой 2023 г. были неблагоприятными для перезимовки растений вишни. С апреля по октябрь 2023 г.

среднемесячная температура воздуха была выше среднемноголетней, кроме июня (ниже среднемноголетней).

За вегетационный период выпало 119 мм (39,1% от нормы) осадков, за летний — 40 мм (23,8% от нормы). Засуха наблюдалась в апреле, июне, июле, августе и сентябре. Жаркая погода стояла в июле и августе. Больше среднемноголетних осадков выпало в мае и октябре. Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период был равен 0,35, за летние месяцы — 0,20. Погодные условия в течение вегетационного и летнего периодов 2023 г. в Теньковском отделе садоводства были неблагоприятными для плодоношения и подготовки растений вишни к зиме 2023–2024 гг.

Результаты анализа состояния генеративных и вегетативных почек у сортов вишни после морозов до -38 °С в начале января 2023 г. приведены в таблице 1. Из представленных данных следует, что среднее подмерзание генеративных (70,2%) и вегетативных (19,0%) почек на букетных веточках значительно выше, чем на однолетних ветвях (66,0% и 16,2% соответственно). Среди изученных сортов вишни не оказалось сортов с высокоморозостойкими, морозостойкими и среднеморозостойкими генеративными почками (табл. 1).

По среднему подмерзанию генеративных почек сорта вишни были распределены в следующие группы устойчивости к морозам: IV — маломорозостойкие Обильная (к.), Шеланговская, Ливенская, Труженица Татарии, Шакировская (к.), Заря Татарии, Память Сахарова, Волжская, Новелла, Ровесница; V — неморозостойкие Краса Татарии, Севастьяновская, Тверитиновская, Десертная Морозовой. Вегетативные почки сортов вишни показали более высокую устойчивость к морозу -38 °С по сравнению с генеративными почками.

По среднему подмерзанию вегетативных почек сорта вишни поделили на следующие группы: I — высокоморозостойкие Обильная (к.), Шеланговская, Ливенская, Труженица Татарии; II — морозостойкие Шакировская (к.), Заря Татарии, Волжская, Память Сахарова, Новелла, Ровесница, Краса Татарии; III — среднеморозостойкие Севастьяновская, Тверитиновская, Десертная Морозовой.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость генеративных почек составляет 76,7%, расположения почек — 3,4%. Доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость вегетативных почек составляет 50,6%, расположения почек — 1,8%.

Из представленных данных следует, что среднее подмерзание генеративных (70,2%) и вегетативных (19,0%) почек на букетных веточках значительно выше, чем на однолетних ветвях (66,0% и 16,2% соответственно). Среди изученных сортов

¹ Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК. 1999; 608.

² Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат. 1985; 351.

³ Данные метеостанции лаборатории селекции плодовых культур Татарского НИИСХ.

вишни не оказалось сортов с высокоморозостойкими, морозостойкими и среднеморозостойкими генеративными почками (табл. 1).

По среднему подмерзанию генеративных почек сорта вишни были распределены в следующие группы устойчивости к морозам: IV — маломорозостойкие Обильная (к.), Шеланговская, Ливенская, Труженица Татарии, Шакировская (к.), Заря Татарии, Память Сахарова, Волжская, Новелла, Ровесница; V — неморозостойкие Краса Татарии, Севастьяновская, Тверитиновская, Десертная Морозовой. Вегетативные почки сортов вишни показали более высокую устойчивость к морозу -38 °С по сравнению с генеративными почками.

По среднему подмерзанию вегетативных почек сорта вишни поделили на следующие группы: I — высокоморозостойкие Обильная (к.), Шеланговская, Ливенская, Труженица Татарии; II — морозостойкие Шакировская (к.), Заря Татарии, Волжская, Память Сахарова, Новелла, Ровесница, Краса Татарии; III — среднеморозостойкие Севастьяновская, Тверитиновская, Десертная Морозовой. Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость генеративных почек составляет 76,7%, расположения почек — 3,4%. Доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость вегетативных почек составляет 50,6%, расположения почек — 1,8%.

В зимний период 2023–2024 гг. в Теньковском отделе садоводства Татарского НИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН критически низкие температуры воздуха наблюдали в I декаде декабря (-30 °С) и во II декаде февраля (-38 °С). Продолжительных оттепелей и резких колебаний температуры воздуха в зимний период не было. Следовательно, погодные условия зимой 2023–2024 гг. были неблагоприятными для растений вишни. В апреле, июне, июле, августе, сентябре и октябре 2024 г. среднемесячная температура воздуха была выше, в мае — ниже среднемноголетней. Осадки выпадали неравномерно. Меньше нормы осадков выпало в июне, июле, августе и сентябре. Гидротермический коэффициент за вегетационный период был равен 0,61, за летние месяцы — 0,68. Погодные условия в Теньковском отделе садоводства в течение летнего и вегетационного периодов были неблагоприятными для плодоношения и подготовки растений вишни к зимнему периоду 2024–2025 гг.

Результаты анализа состояния генеративных и вегетативных почек у сортов вишни после морозов до -38 °С во II декаде февраля 2024 г. представлены в таблице 2. Из приведенных данных следует, что среднее подмерзание генеративных (74,3%) и вегетативных (27%) почек на букетных веточках было существенно больше, чем на однолетних ветвях (70,3% и 24,5% соответственно). В 2024 году, как и в 2023-м, не оказалось сортов вишни с высокоморозостойкими, морозостойкими и среднеморозостойкими генеративными почками (табл. 2).

Таблица 1. Состояние генеративных и вегетативных почек у сортов вишни после зимы 2022–2023 гг. (-38 °С) с. Теньки

Table 1. The state of generative and vegetative buds in sour cherry varieties after the winter of 2022–2023 (-38 °C) in the village of Tenki

Сорт, гибрид	Подмерзание на букетных веточках, %		Подмерзание на однолетних ветвях, %		Среднее подмерзание, %	
	генеративных почек	вегетативных почек	генеративных почек	вегетативных почек	генеративных почек	вегетативных почек
Краса Татарии (к.)	79,0	26,3	71,1	23,7	75,1	25,0
Шеланговская	51,9	4,0	54,1	5,8	53,0	4,9
Десертная Морозовой	86,1	36,8	80,7	31,4	83,4	34,1
Шакировская (к.)	66,3	12,2	60,1	9,8	63,2	11,0
Ливенская	56,6	7,5	52,8	4,1	54,7	5,8
Труженица Татарии	62,2	11,5	58,0	6,5	60,1	9,0
Заря Татарии	63,9	11,4	71,3	15,2	67,6	13,3
Память Сахарова	73,4	15,1	63,6	21,3	68,5	18,2
Волжская	72,8	19,7	65,6	16,5	69,2	18,1
Новелла	73,9	24,3	68,7	16,1	71,3	20,2
Ровесница	77,7	25,6	71,3	19,2	74,5	22,4
Севастьяновская	83,3	32,4	74,5	25,0	78,9	28,7
Тверитиновская	84,9	36,2	78,7	26,6	81,8	31,4
Обильная (к.)	50,5	2,6	53,3	4,8	51,9	3,7
Среднее	70,2	19,0	66,0	16,2	68,1	17,6
CV%	16,9	60,6	14,1	55,1	15,2	57,0
HCP ₀₅	10,5	2,6	8,7	2,7	6,5	1,8

Таблица 2. Состояние генеративных и вегетативных почек у сортов вишни после зимы 2023–2024 г. (-38 °С) с. Теньки

Table 2. The state of generative and vegetative buds in sour cherry varieties after the winter of 2023–2024 (-38 °C) in the village of Tenki

IV сорт, гибрид	Подмерзание на букетных веточках, %		Подмерзание на однолетних ветвях, %		Среднее подмерзание, %	
	генеративных почек	вегетативных почек	генеративных почек	вегетативных почек	генеративных почек	вегетативных почек
Краса Татарии (к.)	91,2	41,6	82,6	36,8	86,9	39,2
Шеланговская	61,0	13,7	64,8	17,9	62,9	15,8
Десертная Морозовой	92,3	42,3	88,5	39,9	90,4	41,1
Шакировская (к.)	60,9	20,1	58,5	17,1	59,7	18,6
Ливенская	62,6	18,8	57,8	16,6	60,2	17,7
Труженица Татарии	68,0	18,8	62,6	13,0	65,3	15,9
Память Сахарова	65,4	16,5	73,6	23,9	69,5	20,2
Волжская	73,7	19,6	65,7	16,6	69,7	18,1
Заря Татарии	74,5	23,5	69,7	19,3	72,1	21,4
Новелла	77,3	27,7	72,3	24,7	74,8	26,2
Севастьяновская	85,2	44,8	76,0	36,2	80,6	40,5
Тверитиновская	86,1	42,9	78,7	39,7	82,4	41,3
Ровесница	87,7	33,7	81,3	31,1	84,5	32,4
Обильная (к.)	54,8	13,6	51,6	9,8	53,2	11,7
Среднее	74,3	27,0	70,3	24,5	72,3	25,7
CV%	16,8	43,4	15,2	42,4	15,8	42,3
HCP ₀₅	12,2	4,4	10,5	3,5	7,9	2,7

Таблица 3. Состояние генеративных почек на букетных веточках у сортов вишни после зимы 2023–2024 гг. (-38 °C) с. Теньки

Table 3. The state of generative buds on bouquet twigs of cherry varieties after the winters of 2023–2024 (-38 °C) in the village of Tenki

Сорт, гибрид	Подмерзание генеративных почек на букетных веточках, %		Среднее подмерзание генеративных почек, %
	2023 г.	2024 г.	
Краса Татарии (к.)	79,0	91,2	85,1
Шеланговская	51,9	61,0	56,5
Десертная Морозовой	86,1	92,3	89,2
Шакировская (к.)	66,3	60,9	63,6
Ливенская	56,6	62,6	59,6
Труженица Татарии	62,2	68,0	65,1
Заря Татарии	63,9	74,5	69,2
Память Сахарова	73,4	65,4	69,4
Волжская	72,8	73,7	73,3
Новелла	73,9	77,3	75,6
Ровесница	77,7	87,7	82,7
Севастьяновская	83,3	85,2	84,3
Тверитиновская	84,9	86,1	85,5
Обильная (к.)	50,5	54,8	52,7
Среднее	70,2	74,3	72,3
CV%	16,9	16,8	
НСР ₀₅	10,5	12,2	7,7

По устойчивости к морозу -38 °C сорта вишни были распределены в следующие группы: IV — маломорозостойкие Обильная (к.), Шакировская (к.), Ливенская, Шеланговская, Труженица Татарии, Память Сахарова, Волжская, Заря Татарии, Новелла; V — неморозостойкие Севастьяновская, Тверитиновская, Ровесница, Краса Татарии, Десертная Морозовой. Вегетативные почки у сортов вишни показали более высокую устойчивость к морозу -38 °C, чем генеративные (табл. 2).

В 2024 году не было сортов вишни с высокоморозостойкими вегетативными почками. Во II группу устойчивости (морозостойкие) вошли следующие сорта вишни: Обильная (к.), Шеланговская, Труженица Татарии, Ливенская, Волжская, Шакировская (к.), Память Сахарова, Заря Татарии. К III группе устойчивости (среднеморозостойкие) были отнесены сорта вишни Новелла, Ровесница, Краса Татарии (к.), Севастьяновская, Десертная Морозовой, Тверитиновская. Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость генеративных почек составляет 74,6%, расположения почек — 2,9%. Доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость вегетативных почек была равна 92,7%, расположения почек — 1,3%.

Доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость генеративных почек в среднем за 2023–2024 гг. составила 78,4%, условий года — 3,3%. Доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость генеративных почек на букетных веточках в среднем за 2023–2024 гг. была равна 75,9%, условий года — 3,2%. Разница в среднем подмерзании генеративных почек на букетных веточках в 2023 г. и 2024 г. была достоверной (табл. 3).

Доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость генеративных почек на однолетних

Таблица 4. Состояние генеративных почек на однолетних ветвях у сортов вишни после зимы 2023–2024 гг. (-38 °C) с. Теньки

Table 4. The state of generative buds on annual branches of sour cherry varieties after the winters of 2023–2024 (-38 °C) in the village of Tenki

Сорт, гибрид	Подмерзание генеративных почек на однолетних ветвях, %		Среднее подмерзание генеративных почек, %
	2023 г.	2024 г.	
Краса Татарии (к.)	71,1	82,6	76,9
Шеланговская	54,1	64,8	59,5
Десертная Морозовой	80,7	88,5	84,6
Шакировская (к.)	60,1	58,5	59,3
Ливенская	52,8	57,9	55,4
Труженица Татарии	58,0	62,6	60,3
Волжская	65,6	66,7	66,2
Память Сахарова	63,6	73,5	68,6
Новелла	68,7	72,3	70,5
Заря Татарии	71,3	69,7	70,5
Севастьяновская	74,5	76,0	75,3
Ровесница	71,3	81,2	76,3
Тверитиновская	78,7	79,4	79,1
Обильная (к.)	53,3	51,6	52,5
Среднее	66,0	70,3	68,2
CV%	14,1	15,2	
НСР ₀₅	8,7	10,5	6,5

ветвях в среднем за 2023–2024 гг. была равна 73,9%, условий года — 3,9%. Разница в среднем повреждении генеративных почек на однолетних ветвях в 2023 г. и 2024 г. была существенной (табл. 4).

Вследствие сильного повреждения морозами генеративных почек в 2023–2024 гг. продуктивность у большинства сортов вишни была очень низкой — 0,1–1,0 кг с дерева (табл. 5). В 2023 году по продуктивности сорт вишни Шеланговская превзошел контрольный сорт раннего срока созревания Краса Татарии. Среди сортов с плодами среднего срока созревания продуктивность на уровне контрольного сорта Шакировская показали сорта Труженица Татарии и Ливенская (табл. 5). В 2024 году у сорта вишни Шеланговская продуктивность была выше контрольного сорта Краса Татарии, а у сортов Труженица Татарии и Ливенская — как у контрольного сорта Шакировская (табл. 5).

Таблица 5. Продуктивность сортов вишни (2023–2024 гг.)

Table 5. Productivity of sour cherry varieties (2023–2024)

Сорт, гибрид	Продуктивность, кг		
	2023 г.	2024 г.	средняя
Краса Татарии (к.)	0,1	0	0,1
Шеланговская	1,0	1,0	1,0
Десертная Морозовой	0	0	0
Шакировская (к.)	1,0	1,0	1,0
Труженица Татарии	1,0	1,0	1,0
Ливенская	1,0	1,0	1,0
Заря Татарии	0,5	0,1	0,3
Память Сахарова	0,5	0,1	0,3
Волжская	0,5	0,1	0,3
Новелла	0,1	0,1	0,1
Ровесница	0,1	0,1	0,1
Севастьяновская	0,1	0,1	0,1
Тверитиновская	0	0	0
Обильная (к.)	1,0	1,0	1,0
Среднее	0,5	0,4	0,5
CV%	87,0	116,4	

Выводы/Conclusions

В 2023–2024 гг. в лаборатории селекции плодовых культур Татарского НИИСХ среди изученных 14 сортов вишни не установлены сорта с высокоморозостойкими, морозостойкими и среднеморозостойкими генеративными почками. По устойчивости генеративных почек к морозу -38°C сорта вишни были распределены в следующие группы: IV — маломорозостойкие Обильная (к.), Шакировская (к.), Ливенская, Шеланговская, Труженица Татарии, Память Сахарова, Волжская, Заря Татарии, Новелла; V — неморозостойкие Севастьяновская, Тверитиновская, Ровесница, Краса Татарии, Десертная Морозовой.

Вегетативные почки у сортов вишни показали более высокую устойчивость к морозу -38°C , чем генеративные. В 2024 году не было сортов вишни с высокоморозостойкими вегетативными почками. Во II группу устойчивости вегетативных почек (морозостойкие) вошли следующие сорта вишни: Обильная (к.), Шеланговская, Труженица Татарии,

Ливенская, Волжская, Шакировская (к.), Память Сахарова, Заря Татарии. К III группе устойчивости (среднеморозостойкие) были отнесены сорта вишни Новелла, Ровесница, Краса Татарии (к.), Севастьяновская, Десертная Морозовой, Тверитиновская.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что в 2024 г. доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость генеративных почек составляет 74,6%, расположения почек — 2,9%. Доля влияния генотипа сортов вишни на морозостойкость генеративных почек в среднем за 2023–2024 гг. составляет 78,4%, условий года — 3,3%.

Вследствие сильного повреждения морозами генеративных почек в 2023–2024 гг. продуктивность у большинства сортов вишни было очень низкой — 0,1–1,0 кг с дерева.

В селекции на морозостойкость генеративных почек рекомендуется использовать сорта вишни Обильная, Шеланговская, Шакировская и Ливенская.

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. Bird K.A. *et al.* Parental origins of the cultivated tetraploid sour cherry (*Prunus cerasus* L.). *Plants, People, Planet*. 2022; 4(5): 444–450. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10267>
2. Alnuaimi O.M.G., Pirlak L. Determination of Cold Resistance of Buds and Flowers on Kütahya Sour Cherry Cultivar. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Science*. 2019; 33(1): 26–36. <https://doi.org/10.15316/SJAfS.2019.152>
3. Ожерельева З.Е., Прудников П.С., Ефремов И.Н. Изучение морозостойкости сортов вишни селекции ВНИИСПК. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2020; (4): 29–33. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/4/29-33>
4. Дубровский М.Л., Лыжин А.С., Кружков А.В. Устойчивость генотипов вишни к абиотическим стрессорам. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2015; 43: 260–263. <https://www.elibrary.ru/vebvww>
5. Заремук Р.Ш., Алехина Е.М., Богатырева С.В., Доля Ю.А. Результаты селекции косточковых культур в условиях юга России. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2017; (3): 10–13. <https://www.elibrary.ru/yocvwb>
6. Liu G., Pagter M., Andersen L. Preliminary Results on Seasonal Changes in Flower Bud Cold Hardiness of Sour Cherry. *European Journal of Horticultural Science*. 2012; 77(3): 109–114.
7. Feldmane D., Ruisa S., Rubauskis E., Kaufmane E. Winter hardiness of sour cherries influenced by cultivar and soil moisture treatment. *ISHS Acta Horticulturae*. 2016; 1130: 111–116. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1130.16>
8. Brym Z.T., Black B.L. Quantitative Survey of Montmorency Tart Cherry Orchard Design in Utah. *HortScience*. 2021; 56(11): 1402–1407. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15995-21>
9. Demirsoy H., Demirsoy L., Lang G.A. Research on spring frost damage in cherries. *Horticultural Science*. 2022; 49(2): 89–94. <https://doi.org/10.17221/91/2021-HORTSCI>
10. Francini A., Sebastiani L. Abiotic Stress Effects on Performance of Horticultural Crops. *Horticulturae*. 2019; 5(4): 67. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5040067>
11. Gulyaeva A.A., Berlova T.N., Galkova A.A., Bezlepina E.V., Efremov I.N. Winter resistance of sour cherry and sweet cherry flower buds in extreme winter 2009–2010 and 2020–2021. *BIO Web of Conferences*. 2022; 47: 02011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224702011>
12. Доля Ю.А., Заремук Р.Ш., Копнина Т.А. Адаптивный и продуктивный потенциал вишни в условиях южного садоводства. *Научные труды СКФНЦБВ*. 2018; 14: 125–130. <https://www.elibrary.ru/ywtqae>

REFERENCES

1. Bird K.A. *et al.* Parental origins of the cultivated tetraploid sour cherry (*Prunus cerasus* L.). *Plants, People, Planet*. 2022; 4(5): 444–450. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10267>
2. Alnuaimi O.M.G., Pirlak L. Determination of Cold Resistance of Buds and Flowers on Kütahya Sour Cherry Cultivar. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Science*. 2019; 33(1): 26–36. <https://doi.org/10.15316/SJAfS.2019.152>
3. Ozherelyeva Z.E., Prudnikov P.S., Efremov I.N. Studying of frost resistance of cherry varieties in selection of All-Russian Research Institute for Fruit Crop Breeding. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2020; (4): 29–33 (in Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/4/29-33>
4. Dubrovsky M.L., Lyzhin A.S., Kruzhkov A.V. The resistance of cherry genotypes to abiotic stressors. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2015; 43: 260–263 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vebvww>
5. Zaremuk R.Sh., Alekhina E.M., Bogatyreva S.V., Dolya Yu.A. The results of breeding of stone fruit crops in the conditions of the South of Russia. *Russian Agricultural Sciences*. 2017; (3): 10–13 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yocvwb>
6. Liu G., Pagter M., Andersen L. Preliminary Results on Seasonal Changes in Flower Bud Cold Hardiness of Sour Cherry. *European Journal of Horticultural Science*. 2012; 77(3): 109–114.
7. Feldmane D., Ruisa S., Rubauskis E., Kaufmane E. Winter hardiness of sour cherries influenced by cultivar and soil moisture treatment. *ISHS Acta Horticulturae*. 2016; 1130: 111–116. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1130.16>
8. Brym Z.T., Black B.L. Quantitative Survey of Montmorency Tart Cherry Orchard Design in Utah. *HortScience*. 2021; 56(11): 1402–1407. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI15995-21>
9. Demirsoy H., Demirsoy L., Lang G.A. Research on spring frost damage in cherries. *Horticultural Science*. 2022; 49(2): 89–94. <https://doi.org/10.17221/91/2021-HORTSCI>
10. Francini A., Sebastiani L. Abiotic Stress Effects on Performance of Horticultural Crops. *Horticulturae*. 2019; 5(4): 67. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5040067>
11. Gulyaeva A.A., Berlova T.N., Galkova A.A., Bezlepina E.V., Efremov I.N. Winter resistance of sour cherry and sweet cherry flower buds in extreme winter 2009–2010 and 2020–2021. *BIO Web of Conferences*. 2022; 47: 02011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224702011>
12. Dolya Yu.A., Zaremuk R.Sh., Koptina T.A. Adaptive and productive potential of cherry-tree under the conditions of southern gardening. *Scientific works of the NCRRIH&V*. 2018; 14: 125–130 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ywtqae>

13. Гуляева А.А., Ефремов И.Н., Безлепкина Е.В. Оценка зимостойкости генеративных почек сортообразцов вишни в полевых условиях. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2020; (3): 18–21. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/3/18-21>
14. Ожерельева З.Е., Гуляева А.А. Изучение морозостойкости косточковых культур в контролируемых условиях. *Концепт*. 2017; 31: 926–930. <https://www.elibrary.ru/ypiuvl>
15. Острикова О.В., Федотова И.Э., Хархардина Е.Л. Изучение компонентов зимостойкости сортов и отдаленных триплоидных гибридов вишни в условиях контролируемого режима. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2016; 46: 302–309. <https://www.elibrary.ru/wmhzgr>
16. Осипов Г.Е., Петрова Н.В. Зимостойкость отборных гибридов вишни в условиях Татарстана. *Достижения науки и техники АПК*. 2019; 33(8): 50–54. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10811>
17. Заремук Р.Ш., Алехина Е.М., Доля Ю.А. Генетические ресурсы представителей рода *Prunus* L. и их селекционное использование. *Научные труды СКФНЦСВВ*. 2019; 25: 34–43. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-25-34-43>
18. Острикова О.В., Федотова И.Э., Хархардина Е.Л. Изучение зимостойкости сортов и гибридных форм вишни на фоне действия повреждающих факторов зимних периодов 2018–2021 гг. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2022; 74(2): 34–49. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2022-2-74-34-49>
19. Заремук Р.Ш., Доля Ю.А., Копнина Т.А. Селекция вишни на адаптивность в условиях юга России. *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2018; 67: 90–94. <https://www.elibrary.ru/vqnpnq>
20. Ожерельева З.Е., Ляхова А.С. Изучение максимальной морозостойкости привойно-подвойных комбинаций вишни. *Плодоводство и ягодоводство России*. 2020; 60: 62–67. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-60-62-67>
21. Осипов Г.Е., Петрова Н.В. Продуктивность сортов и гибридов вишни в Республике Татарстан. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2017; 12(3): 34–38. https://doi.org/10.12737/article_5a1d9337743ca0.99132269

ОБ АВТОРАХ

Геннадий Емельянович Осипов

доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции плодовых культур
osipovge@mail.ru

Наталья Владиславовна Петрова

научный сотрудник лаборатории селекции плодовых культур
petrovanv@mail.ru

Анна Александровна Карпова

младший научный сотрудник лаборатории селекции плодовых культур
anjakarpova495@gmail.com

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», Оренбургский тракт, 48, Казань, 420059, Россия

13. Gulyaeva A.A., Efremov I.N., Bezlepkin E.V. Assessment of the winter hardiness of the cherry trees reproductive buds in field conditions. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2020; (3): 18–21 (in Russian). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/3/18-21>

14. Ozherelieva Z.E., Gulyaeva A.A. Study of frost resistance of stone fruit crops under controlled conditions. *Concept*. 2017; 31: 926–930 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ypiuvl>

15. Ostrikova O.V., Fedotova I.E., Harhardina E.L. Studying of components of winter hardiness of cherry sour varieties and remote triploid hybrids at controlled mode conditions. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2016; 46: 302–309 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wmhzgr>

16. Osipov G.E., Petrova N.V. Winter Hardiness of Selected Cherry Hybrids under Conditions of the Republic of Tatarstan. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2019; 33(8): 50–54 (in Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10811>

17. Zaremuk R.Sh., Alekhina E.M., Dolya Yu.A. Genetic resources of representatives of *Prunus* L. genus and their breeding use. *Scientific works of the NCRRIH&V*. 2019; 25: 34–43 (in Russian). <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2019-25-34-43>

18. Ostrikova O.V., Fedotova I.E., Harhardina E.L. Study of winter hardiness of cherry varieties and hybrid forms against the background of damaging factors of the winter periods 2018–2021. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2022; 74(2): 34–49 (in Russian). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2022-2-74-34-49>

19. Zaremuk R.Sh., Dolya Yu.A., Kopnina T.A. Breeding cherry cultivars with adaptability to the conditions of the South of Russia. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2018; 67: 90–94 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vqnpnq>

20. Ozherelieva Z.E., Lyakhova A.S. Study of maximum frost resistance of cherry scion/stock combinations. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2020; 60: 62–67 (in Russian). <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-60-62-67>

21. Osipov G.E., Petrova N.V. Productivity of varieties and hybrids of sour cherries in the Republic of Tatarstan. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2017; 12(3): 34–38 (in Russian). https://doi.org/10.12737/article_5a1d9337743ca0.99132269

ABOUT THE AUTHORS

Gennady Emelyanovich Osipov

Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Fruit Crop Selection
osipovge@mail.ru

Natalia Vladislavovna Petrova

Researcher at the Fruit Crop Breeding Laboratory
petrovanv@mail.ru

Anna Aleksandrovna Karpova

Junior Researcher at the Fruit Crop Breeding Laboratory
anjakarpova495@gmail.com

Tatar Scientific Research Institute of Agriculture is a separate structural unit of the Federal Research Center of the Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 48 Orenburg tract, Kazan, 420059, Russia

УДК 631.5 : 004.8

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-122-128

Д.Е. Фёдоров ✉

С.Н. Быков

Кузбасский государственный
аграрный университет
им. В.Н. Полецов, Кемерово,
Россия

✉ fedorov_de@inbox.ru

Поступила в редакцию: 06.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.07.2025

Принята к публикации: 28.07.2025

© Фёдоров Д.Е., Быков С.Н.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-122-128

Dmitry E. Fedorov ✉

Sergey N. Bykov

Kuzbass State Agrarian University
named after V.N. Poletskov, Kemerovo,
Russia

✉ fedorov_de@inbox.ru

Received by the editorial office: 06.05.2025

Accepted in revised: 13.07.2025

Accepted for publication: 28.07.2025

© Fedorov D.E., Bykov S.N.

Мониторинг посевов гороха с нейросетевой обработкой изображений, полученных с использованием БПЛА

РЕЗЮМЕ

Статья посвящена разработке и апробации технологии распознавания ростков гороха и оценки его биомассы на основе снимков с БПЛА с использованием нейронных сетей. Производили посев гороха сорта Рокет посевным комплексом «Кузбасс» в Топкинском районе Кемеровской области на площади 21,55 га. Тип почвы — слабовыщелоченный чернозем. Предшественник — яровая пшеница. Глубина заделки семян 6 см, норма высева 1,1 млн семян на 1 га. Аэрофотосъемку выполняли через три недели квадрокоптером с разрешением фотокамеры 20МП с высоты полета 3 м. Съемки выполняли в два этапа — ранним утром в условиях облачности для получения изображений ростков гороха без теней и в дневное время с тенями от ростков и сорной растительности. В результате для обучения нейросети были сформированы два комплекта исходных фотографий по 120 шт. На основе полученных датасетов проводили обучение модели нейросети Ultralytics YOLOv8. Тестирование полученных моделей выполняли в программе на языке Python для пакетной обработки изображений и подсчета количества растений на каждом снимке. Точность распознавания ростков по первому датасету составила 97,3%, по второму — 67,3%. Это обусловлено различными условиями съемки. Объединение двух датасетов позволило получить точность распознавания 94,7%. Это несколько ниже первого варианта, но значительно ближе к реальным условиям аэрофотосъемки. Результатом работы является программа, позволяющая производить пакетную обработку изображений для автоматического подсчета ростков гороха и расчета их площади на снимках.

Ключевые слова: БПЛА, программное обеспечение, машинное обучение, нейросеть, горох, посевы

Для цитирования: Фёдоров Д.Е., Быков С.Н. Мониторинг посевов гороха с нейросетевой обработкой изображений полученных с использованием БПЛА. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 122–128.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-122-128>

Monitoring of pea crops with neural network processing of images obtained using UAVs

ABSTRACT

The article is devoted to the development and testing of technology for recognizing pea sprouts and estimating its biomass based on images from UAVs using neural networks. Rocket peas were sown by the "Kuzbass" sowing complex in the Topkinsky district of the Kemerovo Region on an area of 21.55 hectares. The soil type is slightly leached chernozem. The predecessor is spring wheat. The seed depth is 6 cm, the seeding rate is 1.1 million seeds per 1 hectare. Aerial photography was performed three weeks later with a quadcopter with a 20MP camera resolution from a flight altitude of 3 m. The shooting was carried out in two stages — in the early morning in cloudy conditions to obtain images of pea shoots without shadows and in the daytime with shadows from sprouts and weeds. As a result, two sets of 120 source photos were generated to train the neural network. Based on the obtained datasets, the Ultralytics YOLOv8 neural network model was trained. Testing of the obtained models was performed in a Python program for batch image processing and counting the number of plants in each image. The accuracy of recognizing sprouts on the first dataset was 97.3%, on the second — 67.3%. This is due to the different shooting conditions. Combining the two datasets allowed for a recognition accuracy of 94.7%. This is slightly lower than the first option, but much closer to the actual conditions of aerial photography. The result of the work is a program that allows batch image processing for automatic counting of pea sprouts and calculating their area in the images.

Key words: UAV, software, machine learning, neural network, peas, crops

For citation: Fedorov D.E., Bykov S.N. Monitoring of pea crops with neural network processing of images obtained using UAVs. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 122–128 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-122-128>

Введение/Introduction

Актуальной организационной и технической проблемой производителей зерновых и комовых культур является получение оперативной информации о состоянии посевов. При этом для ранних стадий вегетации выявляются процент всхожести растений и динамика биомассы, а для последующих стадий определяются наличие заболеваний и обеспеченность удобрениями. Производительность мониторинга полей достигается за счет использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с последующей обработкой снимков методами искусственного интеллекта [1].

Из существующих технологий, рассмотренных в отечественных публикациях, можно отметить работы А.Ф. Рогачева, А.Ф. Чешковой, посвященных технологиям анализа изображений широкого спектра полевых культур по индексу NDVI для оценки динамики роста растений и выявления заболеваний [2–4]. В работах А.И. Кутырёва, В.В. Демидчик предлагаются технологии оценки биомассы растений по форме и цвету листьев в видимом и инфракрасном спектрах [5, 6]. В работе А.Е. Молина рассмотрена технология оценки обеспеченности зерновых культур азотом по снимкам полей в RGB-спектре [7]. Работа В.С. Семенюк посвящена системам точечного опрыскивания на основе распознавания сорняков и болезней нейронными сетями [8].

Получение изображений в рассмотренных выше работах осуществляется с использованием квадрокоптеров различных моделей. При съемках на высоте от 5 до 30 м устанавливаются камеры с разрешением от 12 до 20 МП. При съемках на высоте от 30 до 100 м разрешение составляет от 20 до 40 МП. Для обработки изображений используются сверточные нейронные сети различных конфигураций.

Аналогичные технологии рассмотрены в зарубежных публикациях. В работах E. Cini, F. Marzalletti [9, 10] предлагается технология автоматического распознавания и картирования инвазивных растений для воздушного мониторинга и разработки мер по противодействию их распространения. Работа L.S. Costa [11] посвящена технологии идентификации и классификации растений в тропической саванне с помощью БПЛА, оснащенного мультиспектральной камерой.

В работе A. Prasad [12] рассматривается технология диагностики растений по снимкам, полученным с помощью БПЛА. При этом используется двухэтапный подход к машинному обучению, который последовательно анализирует низкоточные и высокоточные изображения. В работе Jun Zhang предлагается технология фенотипирования китайской капусты по снимкам с дронов. Геометрические параметры растений рассчитываются на основе количества пикселей для каждого отдельного растения с учетом расстояния БПЛА

до поверхности поля. Мониторинг растительности в данных технологиях выполняется с помощью БПЛА, а обработка изображений ведется на основе нейронных сетей [13].

Цели исследования — разработать и апробировать технологию распознавания ростков выращиваемых полевых культур на примере гороха и прогнозирования динамики роста культур по их биомассе на основе снимков БПЛА с использованием нейронных сетей.

Для ее достижения необходимо было: выполнить аэрофотосъемку полей со всходами гороха в различных условиях освещенности; обучить и проверить работоспособность нейросети для распознавания ростков гороха на снимках; оценить точность распознавания ростков гороха разработанной нейросетью; определить программными методами площадь листьев гороха по полученным изображениям; вывести регрессионную зависимость массы наземной части растений от площади листьев.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Для проведения исследований был выбран широко используемый в России и рекомендуемый для зоны Западной Сибири горох сорта Рокет.

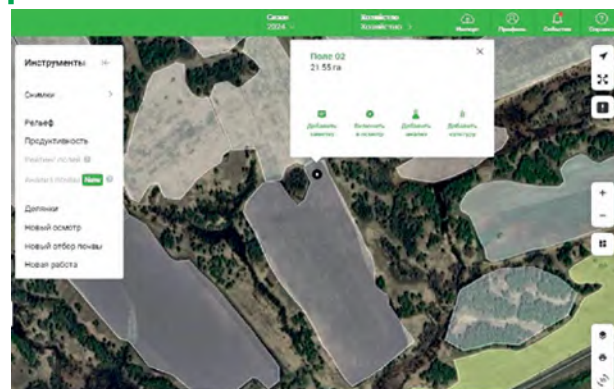
Общая площадь поля составила 21,55 га

Посев проводили на полях Топкинского технического техникума в Топкинском районе Кемеровской области Российской Федерации. Координаты центра поля: 55,237° с. ш., 85,457° в. д. (рис. 1).

Выбор поля обусловлен распространенным для региона типом почвы. Это слабовыщелоченный чернозем. Предшественник — яровая пшеница. Выполнена предпосевная осенняя обработка полей лушильником. Посев осуществляли 15 мая 2024 года посевным комплексом «Кузбасс» (ООО «Агро», Россия). В соответствии с агротехническими требованиями для данного сорта, механическим составом, влажностью и температурой почвы глубина заделки семян выбрана 6 см, норма высева 1,1 млн семян на 1 га.

Рис. 1. Карта исследуемого поля в облачном сервисе ExactFarming¹

Fig. 1. Map of the field under study in the ExactFarming cloud service



¹ <https://exactfarming.com/>

Аэрофотосъемку проводили 5 июня 2024 года. Использовали квадрокоптер DJI Mavic 3 Cine (DJI, Китай). Выбор указанного квадрокоптера обусловлен высоким качеством получаемых изображений со встроенной фотокамеры (разрешение фотоснимков составляло 20 МП). Высота полета 3 м.

Съемки выполняли в два этапа — ранним утром в условиях облачности для получения изображений ростков гороха и сорняков без теней (рис. 2а) и в дневное время с тенями от ростков и сорняков (рис. 2б). В результате были сформированы два комплекта исходных фотографий для обучения нейросети (в каждом комплекте (выборке) по 50 изображений).

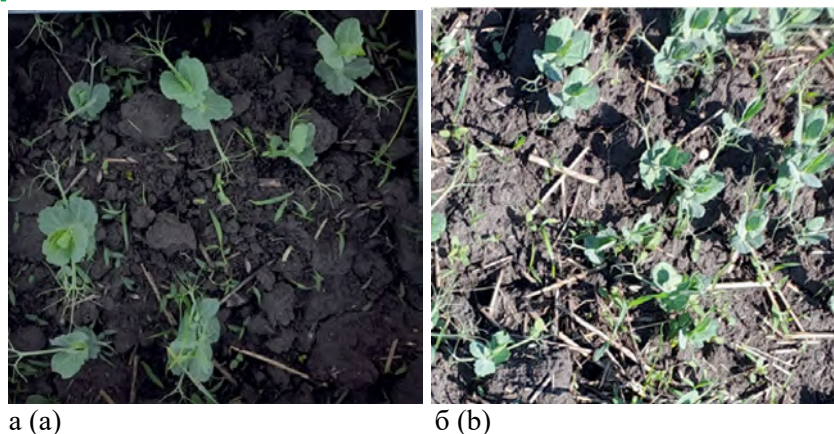
Далее на полученных фотографиях производили разметку данных с использованием сервиса roboflow². Полученный датасет подвергали аугментации — искусственному увеличению исходных данных за счет модификации существующих фотографий (поворот на разные углы, отражение по горизонтали и вертикали). После аугментации количество фотографий в каждом датасете составило 120.

После получения датасетов проводили обучение модели нейросети Ultralytics YOLOv8 (правообладатель Ultralytics, Испания). Данная версия нейросети по сравнению с предыдущими обладает более сложной архитектурой, включающей в себя новые блоки, такие как C2f, SPPF и Focus. Эти блоки улучшают процесс извлечения признаков и повышают точность детектирования.

Для обучения была выбрана простая начальная модель с наименьшим количеством параметров — yolov8n. Обучение проводили с использованием сервиса Yandex Datasphere³ [15]. Затем проводили тестирование полученных моделей. Для этих целей была написана программа на языке Python (США) для пакетной обработки изображений и подсчета количества растений на каждом снимке.

Для выведения регрессионной зависимости массы наземной части растений от площади листьев все ростки, оказавшиеся на изображениях, в этот же день срезали под корень и без

Рис. 2. Примеры фотографий первой (а) и второй (б) обучающих выборок
Fig. 2. Examples of photographs of the first (a) and second (b) training samples



мытья и высушивания взвешивали на электронных весах с точностью делений 0,01 г.

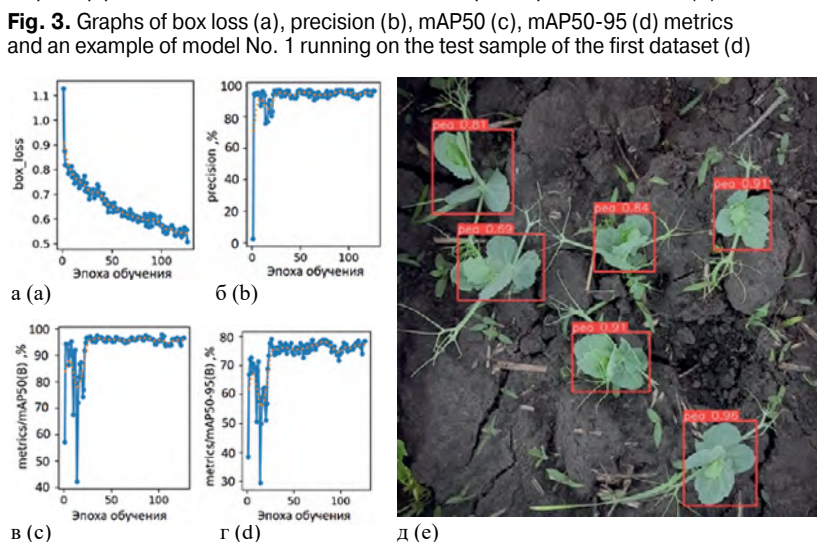
Математическую обработку результатов, статистический анализ и оценку достоверности осуществляли в программе MS Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Обучение нейросети по первому датасету длилось порядка 120 эпох (итераций). В течение одной эпохи производится один полный проход нейросети через обучающий набор данных для коррекции параметров (весов) в нужную сторону. В результате была получена первая модель (модель № 1). Графики обучения по первому датасету, а также пример работы модели № 1 показаны на рисунке 3.

Было проведено тестирование полученной модели № 1 на независимой тестовой выборке фотографий первого датасета, которые не использовали при обучении модели (рис. 3д). Точность

Рис. 3. Графики box loss (а), precision (б), метрик mAP50 (в), mAP50-95 (г) и пример работы модели № 1 на тестовой выборке первого датасета (д)
Fig. 3. Graphs of box loss (a), precision (b), mAP50 (c), mAP50-95 (d) metrics and an example of model No. 1 running on the test sample of the first dataset (d)



² <https://roboflow.com>

³ <https://yandex.cloud/ru/services/datasphere>

оценивали по тому, сколько раз нейросеть правильно предполагала количество и расположение ростков на фотографии. Точность распознавания ростков по полученной модели составила 97,3% (рис. 3б).

Затем модель № 1 была протестирована на выборке фотографий из второго датасета (рис. 2б). В этом случае точность составила гораздо ниже — 67,3%. Это обусловлено различными условиями съемки: на фотографиях второго датасета присутствуют неровности поля и сорняки, которые практически отсутствовали в первом датасете.

На следующем этапе было проведено обучение модели нейросети № 2 по второму датасету. Графики обучения модели № 2, а также пример распознавания растений на тестовой выборке второго датасета представлены на рисунке 4.

Точность модели № 2 по тестовой выборке второго датасета составила 82,1%. При этом обучение длилось около 120 эпох (итераций обучения), после которых значение метрик не увеличивалось.

Далее путем объединения первого и второго датасетов был получен третий. Обучающие графики и пример работы модели № 3 по тестовой выборке третьего датасета представлены на рисунке 5.

Объединение двух выборок позволило значительно повысить точность распознавания ростков гороха по смешанной выборке — до 94,7%. Длительность обучения при этом была значительно больше, чем в предыдущих случаях, и составила порядка 500 эпох. Это обусловлено большим количеством исходных фотографий.

Известно, что если делать фотографии для датасета при одних и тех же условиях (одинаковая освещенность, масштаб и т. д.) и получить специализированный набор данных, то модель будет более узконаправленной и будет работать хорошо с фотографиями, полученными при таких же условиях, и хуже — на фотографиях с другими условиями съемки [14, 16].

С другой стороны, если делать фотографии при разных условиях, то модель будет более универсальной и будет работать на более широком спектре снимков, полученных при разных условиях. Если взять эти обе модели и применять их к специализированному набору фотографий

Рис. 4. Графики box loss (а), precision (б), метрик mAP50 (в), mAP50-95 (г) и пример работы модели № 2 на тестовой выборке второго датасета (д)

Fig. 4. Graphs of box loss (a), precision (b), mAP50 (c), mAP50-95 (d) metrics and an example of model No. 2 running on the test sample of the second dataset (d)

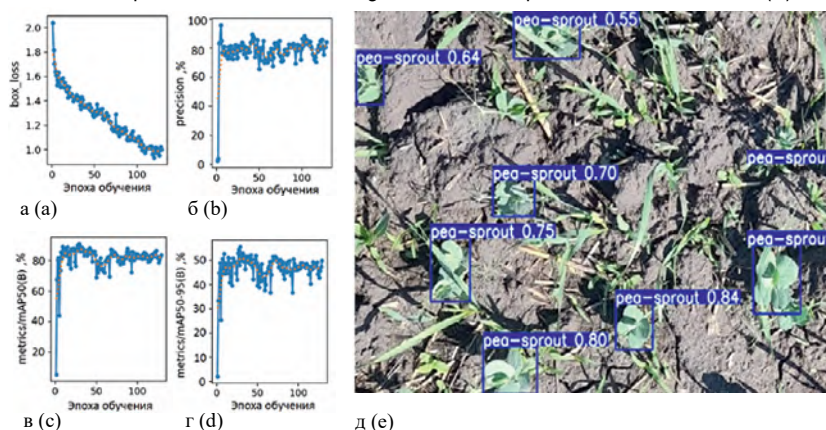
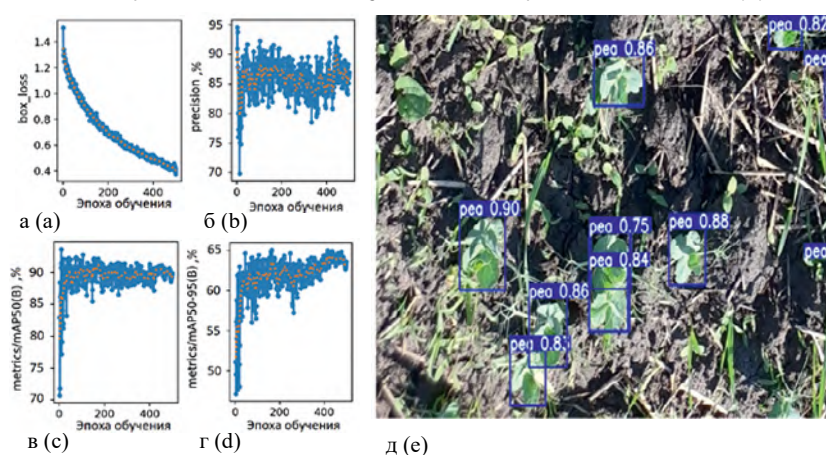


Рис. 5. Графики box loss (а), precision (б), метрик mAP50 (в), mAP50-95 (г) и пример работы модели № 3 на тестовой выборке третьего датасета (д)

Fig. 5. Graphs of box loss (a), precision (b), mAP50 (c), mAP50-95 (d) metrics and an example of model No. 3 running on the test sample of the third dataset (d)



(которые использовались для узконаправленной модели), то первая модель должна показать лучший результат.

Однако в данной работе результат оказался неоднозначным, что может быть обусловлено тем фактом, что набор фотографий в датасете № 3 превышал таковой для датасета № 1 и датасета № 2. В итоге модель № 3 вышла более универсальной и показывающей достаточно высокую точность для обоих наборов фотографий.

Следующим этапом исследований была проверка гипотезы о том, что по площади каждого растения на снимке можно определить его массу. Для этих целей провели взвешивание образцов ростков гороха, которые были на снимках в датасете № 1. Вместе с этим нами написана программа на языке Python и детектор Ultralytics YOLOv8, использующие модель № 3 нейросети, которая рассчитывала площадь ростков гороха на снимках.

После указания папки программа в теле цикла последовательно обрабатывает весь пакет изображений, определяет на каждом координаты ростков гороха и по ограничивающей рамке

производит расчет площади ростков. При этом формируются список с площадью растений на каждом снимке и общая площадь всех растений.

В результате было получено облако точек зависимости массы растения от его площади на снимке (рис. 6).

По представленному на графике облаку точек было получено линейное уравнение регрессии, позволяющее определить массу растений по их площади на снимке:

$$m = 0,0138s + 0,196, \quad (1)$$

где: m — масса растения, г; s — площадь листьев растения, см^2 .

Достоверность аппроксимации R^2 указанного выше уравнения определяли по следующей формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [y_i - F(x_i)]^2}{\sum_{i=1}^N [y_i - \bar{F}(x_i)]^2}, \quad (2)$$

где N — количество измерений; y_i — фактическое значение массы растений в i -й точке; $F(x_i)$ — расчетное значение массы растений в i -й точке; $\bar{F}(x_i)$ — среднее значение $F(x_i)$.

Величина достоверности аппроксимации составила $R^2 = 0,7171$.

Далее были рассчитаны значения массы растений по уравнению и проведено сравнение полученных значений с фактическими. В результате получены значения отклонений ∂_i фактических значений от расчетных (рис. 7) по формуле:

$$\partial_i = y_i - F(x_i), \quad (3)$$

Было рассчитано среднее значение отклонений $\bar{\partial}$ по формуле:

$$\bar{\partial} = \frac{\sum_{i=1}^N [y_i - F(x_i)]}{N} \times 100, \quad (4)$$

Среднее значение отклонений составило 12,5%.

Из представленного графика (рис. 7) видно, что с увеличением площади растения величина отклонений значений, полученных по уравнению, от фактических значений уменьшается, что повышает достоверность.

Выводы/Conclusions

В результате проведенной работы на основе экспериментальных исследований было проанализировано влияние качественного и количественного состава исходных фотографий на точность распознавания ростков гороха нейросетью. Установлено, что использование смешанной выборки исходных фотографий, содержащей изображения растений при различных условиях съемки, позволяет значительно

Рис. 6. Графики зависимости массы растений от их площади на снимке

Fig. 6. Graphs of the dependence of plant mass on their area in the picture

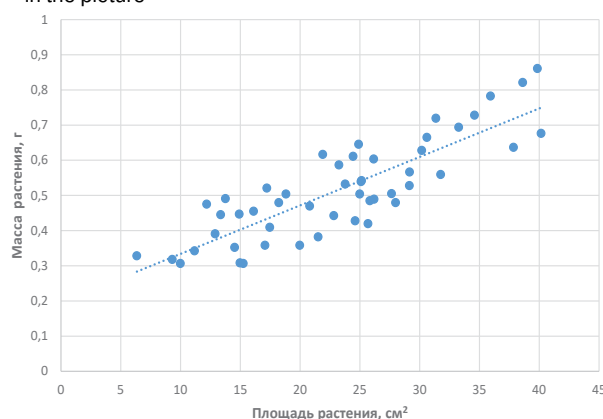
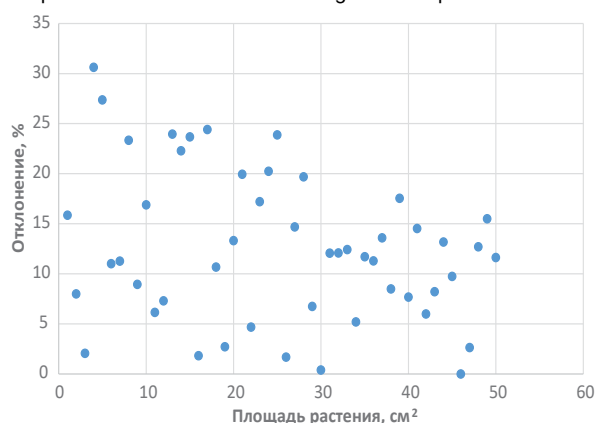


Рис. 7. Величина отклонения фактических значений массы растений от полученного уравнения регрессии

Fig. 7. The magnitude of the deviation of the actual values of plant mass from the obtained regression equation



повысить достоверность работы модели нейросети.

Получена модель, которая способна распознавать ростки гороха на снимках с точностью 94,7%. При этом стоит отметить, что данное значение не является пределом. Увеличить точность можно за счет использования большего количества фотографий в датасете, а также использованием версии моделей с большим количеством параметров. Однако в этом случае неизбежно возрастают трудозатраты на подготовку данных для машинного обучения, так как увеличивается объем работ на разметку данных.

Рост объема исходных данных влечет за собой повышение продолжительности самого обучения модели, а следовательно, и стоимость использования вычислительных мощностей. Кроме того, скорость распознавания у моделей с большим числом параметров существенно выше. Получено уравнение, позволяющее рассчитать массу растения от его площади на снимке. В целом разработанная и апробированная технология распознавания ростков гороха и оценки его биомассы показала свою работоспособность, позволяет получить достаточно достоверные результаты и может быть рекомендована к использованию.

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. Рогачев А.Ф., Мелихова Е.В., Белоусов И.С. Исследование развития и продуктивности сельскохозяйственных культур с применением беспилотных летательных аппаратов. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2019; (4): 329–339. <https://www.elibrary.ru/vqaviv>
2. Чешкова А.Ф. Обзор современных методов обнаружения и идентификации болезней растений на основе анализа гиперспектральных изображений. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022; 26(2): 202–213 (на англ. яз.). <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-25>
3. Рогачев А.Ф., Белоусов И.С. Нейросетевое выявление проблемных участков состояния посевов методами искусственного интеллекта. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2022; (3): 459–466. <https://www.elibrary.ru/bjzmzny>
4. Мударисов С.Г., Мифтахов И.Р. Автоматическое обнаружение и идентификация болезней пшеницы с использованием методов глубокого обучения и применением дронов в режиме реального времени. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2024; 19(2): 90–104. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-90-104>
5. Кутырёв А.И., Филиппов Р.А. Распознавание генеративных частей земляники садовой с использованием сверточной нейронной сети (CNN). *Таврический вестник аграрной науки*. 2023; (2): 72–86. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8271986>
6. Демидчик В.В. и др. Феномика растений: фундаментальные основы, программно-аппаратные платформы и методы машинного обучения. *Физиология растений*. 2020; 67(3): 227–245. <https://doi.org/10.31857/S0015330320030069>
7. Молин А.Е., Блеканов И.С., Митрофанов Е.П., Митрофанова О.А. Методы генерации синтетических данных для обучения нейросетей в задаче сегментации уровня азотного режима растений на снимках беспилотных летательных аппаратов на сельскохозяйственном поле. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления*. 2024; 20(1): 20–33. <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2024.103>
8. Семенюк В.С., Никитин Е.А. Разработка системы точечного внесения жидких средств химизации на основе моделей сверточной нейронной сети. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021; 15(2): 41–45. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-1-41-45>
9. Cini E., Marzaletti F., Paterni M., Berton A., Acosta A.T.R., Ciccarelli D. Integrating UAV imagery and machine learning via Geographic Object Based Image Analysis (GEOBIA) for enhanced monitoring of *Yucca gloriosa* in Mediterranean coastal dunes. *Ocean & Coastal Management*. 2024; 258: 107377. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107377>
10. Marzaletti F., Frate L., De Simone W., Frattaroli A.R., Acosta A.T.R., Carranza M.L. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Based Mapping of *Acacia saligna* Invasion in the Mediterranean Coast. *Remote Sensing*. 2021; 13(17): 3361. <https://doi.org/10.3390/rs13173361>
11. Costa L.S. et al. Woody Plant Encroachment in a Seasonal Tropical Savanna: Lessons about Classifiers and Accuracy from UAV Images. *Remote Sensing*. 2023; 15(9): 2342. <https://doi.org/10.3390/rs15092342>
12. Prasad A., Mehta N., Horak M., Bae W.D. A Two-Step Machine Learning Approach for Crop Disease Detection Using GAN and UAV Technology. *Remote Sensing*. 2022; 14(19): 4765. <https://doi.org/10.3390/rs14194765>
13. Zhang J. et al. Multispectral Drone Imagery and SRGAN for Rapid Phenotypic Mapping of Individual Chinese Cabbage Plants. *Plant Phenomics*. 2022; 2022: 0007. <https://doi.org/10.34133/plantphenomics.0007>
14. Парасич А.В., Парасич В.А., Парасич И.В. Формирование обучающей выборки в задачах машинного обучения. Обзор. *Информационно-управляющие системы*. 2021; (4): 61–70. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2021-4-61-70>
15. Брагинский М.Я., Тараканов Д.В. Фенотипирование растений адаптивной системой обработки изображений на базе сверточных нейронных сетей. *Вестник кибернетики*. 2021; (2): 6–16. <https://doi.org/10.34822/1999-7604-2021-2-6-16>

REFERENCES

1. Rogachev A.F., Melikhova E.V., Belousov I.S. Research of development and productivity of agricultural crops using unmanned aerial vehicles. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2019; (4): 329–339 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vqaviv>
2. Cheshkova A.F. A review of hyperspectral image analysis techniques for plant disease detection and identification. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022; 26(2): 202–213. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-25>
3. Rogachev A.F., Belousov I.S. Neural network identification of problem areas of the state of crops by methods of artificial intelligence. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2022; (3): 459–466 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bjzmzny>
4. Mudarisov S.G., Miftahov I.R. Automatic detection and identification of wheat diseases using deep learning and real-time drones. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2024; 19(2): 90–104 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-90-104>
5. Kutyrev A.I., Filippov R.A. Recognition of generative parts of *Fragaria* × *ananassa* using convolutional neural network (CNN). *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2023; (2): 72–86 (in Russian). <https://doi.org/10.5281/zenodo.8271986>
6. Demidchik V.V. et al. Plant Phenomics: Fundamental Bases, Software and Hardware Platforms, and Machine Learning. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2020; 67(3): 397–412. <https://doi.org/10.1134/S1021443720030061>
7. Molin A.E., Blekanov I.S., Mitrofanov E.P., Mitrofanova O.A. Synthetic data generation methods for training neural networks in the task of segmenting the level of crop nitrogen status on UAV images of agricultural fields. *Vestnik of Saint Petersburg University. Applied Mathematics. Computer Science. Control Processes*. 2024; 20(1): 20–33 (in Russian). <https://doi.org/10.21638/11701/spbu10.2024.103>
8. Semenyuk V.S., Nikitin E.A. System Development for Liquid Chemicals Point Injection Based on Convolutional Neural Network Models. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021; 15(2): 41–45 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-1-41-45>
9. Cini E., Marzaletti F., Paterni M., Berton A., Acosta A.T.R., Ciccarelli D. Integrating UAV imagery and machine learning via Geographic Object Based Image Analysis (GEOBIA) for enhanced monitoring of *Yucca gloriosa* in Mediterranean coastal dunes. *Ocean & Coastal Management*. 2024; 258: 107377. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107377>
10. Marzaletti F., Frate L., De Simone W., Frattaroli A.R., Acosta A.T.R., Carranza M.L. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Based Mapping of *Acacia saligna* Invasion in the Mediterranean Coast. *Remote Sensing*. 2021; 13(17): 3361. <https://doi.org/10.3390/rs13173361>
11. Costa L.S. et al. Woody Plant Encroachment in a Seasonal Tropical Savanna: Lessons about Classifiers and Accuracy from UAV Images. *Remote Sensing*. 2023; 15(9): 2342. <https://doi.org/10.3390/rs15092342>
12. Prasad A., Mehta N., Horak M., Bae W.D. A Two-Step Machine Learning Approach for Crop Disease Detection Using GAN and UAV Technology. *Remote Sensing*. 2022; 14(19): 4765. <https://doi.org/10.3390/rs14194765>
13. Zhang J. et al. Multispectral Drone Imagery and SRGAN for Rapid Phenotypic Mapping of Individual Chinese Cabbage Plants. *Plant Phenomics*. 2022; 2022: 0007. <https://doi.org/10.34133/plantphenomics.0007>
14. Parasich A., Parasich V., Parasich I. Training set formation in machine learning problems. Survey. *Information and Control Systems*. 2021; (4): 61–70 (in Russian). <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2021-4-61-70>
15. Braginsky M.Ya., Tarakanov D.V. Plant phenotyping by an adaptive image processing system based on convolutional neural networks. *Proceedings in Cybernetics*. 2021; (2): 6–16 (in Russian). <https://doi.org/10.34822/1999-7604-2021-2-6-16>

16. Рогачев А.Ф., Мелихова Е.В. Мультиклассовое распознавание аэрофотоснимков участков сельскохозяйственных полей. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2020; (3): 142–152. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-03-14>

ОБ АВТОРАХ

Дмитрий Евгеньевич Фёдоров

кандидат технических наук
fedorov_de@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8641-0662>

Сергей Николаевич Быков

кандидат технических наук
agro-kem@rambler.ru

Кузбасский государственный аграрный университет,
им. В.Н. Полецкова,
ул. им. Марковцева, 5, Кемерово, 650056, Россия

16. Rogachev A.F., Melikhova E.V. Multi-class recognition of aerial images of agricultural fields. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2020; (3): 142–152 (in Russian). <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2020-03-14>

ABOUT THE AUTHORS

Dmitry Evgenievich Fedorov

Candidate of Technical Sciences
fedorov_de@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8641-0662>

Sergey Nikolaevich Bykov

Candidate of Technical Sciences
agro-kem@rambler.ru

Kuzbass State Agrarian University named after
V.N. Poletskov,
5 Markovtsev Str., Kemerovo, 650056, 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:



СИБИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ

+7 (383) 304-83-88

[sibagroweek](https://www.facebook.com/sibagroweek)

[@sibagroweek](https://www.instagram.com/sibagroweek)

РЕКЛАМА 0+



УДК 631.171

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-129-135

Ф.Е. Владимиров

А.Р. Хакимов ✉

С.С. Юрочка

Д.Ю. Павкин

С.О. Базаев

Федеральный научный
агроинженерный центр ВИМ,
Москва, Россия

✉ arty.hv@gmail.com

Поступила в редакцию: 19.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.07.2025

Принята к публикации: 28.07.2025

© Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р.,
Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Базаев С.О.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-129-135

Fedor E. Vladimirov

Artyom R. Khakimov ✉

Sergey S. Yurochka

Dmitry Yu. Pavkin

Savr O. Bazaev

Federal Scientific Agroengineering
Center VIM, Moscow, Russia

✉ arty.hv@gmail.com

Received by the editorial office: 19.05.2025

Accepted in revised: 13.07.2025

Accepted for publication: 28.07.2025

© Vladimirov F.E., Khakimov A.R.,
Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O.

Эффективность болюсов и ошейников с акселерометрами в мониторинге двигательной активности коров молочного стада

РЕЗЮМЕ

В современных системах точного животноводства для контроля здоровья и продуктивности скота активно применяются носимые и имплантируемые устройства с акселерометрами. В данном исследовании проведена сравнительная оценка двух устройств — ошейника SCR Heitime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и рубцового болюса «Здоровье коров» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Россия) — для классификации активности и жвачки у молочных коров. Эксперимент проводили на базе фермы Кубанского ГАУ в течение 90 дней на коровах голштинской породы. Устройства регистрировали данные с частотой 10 Гц, которые в дальнейшем анализировали с помощью алгоритмов машинного обучения для идентификации ключевых поведенческих паттернов: кормления, жвачки, ходьбы и отдыха. Результаты показали, что ошейники демонстрируют более высокую точность (94,2%) при распознавании кормления и ходьбы, в то время как болюсы превосходили их в мониторинге жвачки (97,8%). Комбинированное использование обоих устройств позволило достичь максимальной общей точности классификации поведения — 98,1%. Дополнительно исследовали эффективность систем в выявлении половой охоты: совместное применение ошейников и болюсов повысило точность детекции на 12% по сравнению с раздельным использованием. Полученные данные подчеркивают взаимодополняющую роль носимых и имплантируемых сенсоров в цифровом животноводстве. Комбинация технологий не только улучшает мониторинг физиологического состояния коров, но и открывает перспективы для создания цифровых двойников животных, что способствует оптимизации управления стадом и повышению экономической эффективности молочных ферм.

Ключевые слова: молочные коровы, акселерометры, болюсы, ошейники для мониторинга, цифровое животноводство, классификация поведения

Для цитирования: Владимиров Ф.Е., Хакимов А.Р., Юрочка С.С., Павкин Д.Ю., Базаев С.О. Эффективность болюсов и ошейников с акселерометрами в мониторинге двигательной активности коров молочного стада. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 129–135. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-129-135>

Efficiency of boluses and collars with accelerometers in monitoring the motor activity of dairy cows

ABSTRACT

In modern precision animal husbandry systems, wearable and implantable devices with accelerometers are actively used to monitor the health and productivity of livestock. In this study, a comparative evaluation of two devices was performed — the SCR Heitime collar (Allflex Livestock Intelligence, Israel) and a rumen bolus “Cow Health” (Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia) — to classify activity and chewing in dairy cows. The experiment was conducted on the basis of a farm of the Kuban State Agrarian University with the participation of Holstein cows for 90 days. The devices recorded data with a frequency of 10 Hz, which was further analyzed using machine learning algorithms to identify key behavioral patterns: feeding, chewing, walking, and resting. The results showed that collars demonstrated higher accuracy (94.2%) in detecting feeding and walking, while boluses surpassed them in monitoring chewing gum (97.8%). The combined use of both devices made it possible to achieve the maximum overall accuracy of behavior classification — 98.1%. Additionally, the effectiveness of the systems in detecting sexual hunting was investigated: the combined use of collars and boluses increased detection accuracy by 12% compared with separate use. The findings highlight the complementary role of wearable and implantable sensors in digital animal husbandry. The combination of technologies not only improves the monitoring of the physiological state of cows, but also opens up prospects for the creation of digital animal twins, which helps optimize herd management and increase the economic efficiency of dairy farms.

Key words: dairy cows, accelerometers, boluses, monitoring collars, digital animal husbandry, behavior classification

For citation: Vladimirov F.E., Khakimov A.R., Yurochka S.S., Pavkin D.Yu., Bazaev S.O. The effectiveness of boluses and collars with accelerometers in monitoring the motor activity of dairy cows. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 129–135 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-129-135>

Введение/Introduction

Современные технологии точного животноводства требуют комплексного подхода к мониторингу поведения животных. Особый интерес представляет сравнительный анализ различных типов сенсорных устройств, каждый из которых обладает уникальными преимуществами для регистрации поведенческих паттернов.

В данном контексте особую актуальность приобретает вопрос о том, насколько эффективно носимые и имплантируемые системы справляются с задачей классификации ключевых видов активности у молочных коров и какие перспективы открывает их комбинированное использование.

В Российской Федерации в области АПК существует значительный потенциал развития сельского хозяйства, раскрытие которого возможно произвести, используя инструменты повышения эффективности аграрного производства путем создания и внедрения средств автоматизации, цифровых технологий и искусственного интеллекта [1]. Развитие АПК в настоящее время имеет тренд в направлении использования и внедрения цифровых и интеллектуальных технологий [2]. Внедрение интернет вещей, автоматизированных систем мониторинга и точного животноводства способно повысить продуктивность отрасли, сократив при этом трудозатраты [3].

Точное животноводство (Precision Livestock Farming, PLF) изменило подходы к управлению молочным животноводством, внедрив технологии реального времени для мониторинга поведения, здоровья и продуктивности животных [4]. Акселерометры, интегрированные в носимые (ошейники) и имплантируемые (болюсы) устройства, являются ключевыми инструментами для отслеживания активности, жвачки и физиологических параметров [5]. Ошейники регистрируют движения головы и шеи, что делает их эффективными для анализа внешнего поведения, такого как кормление и передвижение. Болюсы, размещенные в сетке (в 1 из 4 камер желудка КРС), специализируются на мониторинге внутренних процессов, таких как жвачка и частота сокращения рубца, а также физиологических показателей (рН, температура) [6].

Цифровые двойники (виртуальные модели животных, основанные на данных с датчиков) становятся важным инструментом в PLF. Цифровой двойник коровы объединяет данные об активности, физиологии и продуктивности, позволяя прогнозировать здоровье, оптимизировать кормление и улучшать управление стадом. Например, данные с ошейников и болюсов могут формировать цифровую модель, которая в реальном времени отражает состояние коровы, включая раннее выявление заболеваний или половой охоты. Такие технологии повышают эффективность ферм и снижают затраты [4]. Однако для создания точных цифровых двойников необходимы надежные данные, что подчеркивает важность сравнения сенсорных устройств.

Обзор литературы демонстрирует разнообразие исследований, посвященных технологиям, включающим в себя датчик для измерения активности. Биккер и др. (2014 г.) изучали ушные датчики с акселерометрами, показав точность 88% в определении поведения коров в процессе их кормления [7]. Зенер и др. (2017 г.) оценили болюсы для мониторинга жвачки, достигнув точности 95% в сравнении с визуальным наблюдением [8].

Ошейники, такие как SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль), применяются для обнаружения эструса с точностью до 90% [5]. Болюсы, такие как smaXtec (smaXtec animal care technology GmbH, Австрия), обеспечивают раннюю диагностику метаболических нарушений с чувствительностью до 92% [9].

Сравнительные исследования ошейников и болюсов ограничены. Рейтер и др. (2018 г.) сравнивали ошейники Afiflex (Afimilk, Израиль) и болюсы Moonsyst (Moonsyst, Франция), обнаружив, что ошейники лучше определяют передвижение (93%), а болюсы — жвачку (96%) [10]. Васкес Диосдадо и др. (2015 г.) исследовали ошейники CowManager (CowManager BV, Нидерланды) и болюсы smaXtec (smaXtec animal care technology GmbH, Австрия), отметив, что комбинированное использование повышает точность мониторинга эструса на 12% [11].

Исследователи, такие как Мутауакиль и др. (2024 г.), сосредоточены на ошейниках, достигая точности 92% в классификации поведения, но не рассматривают болюсы [12]. Смит и др. (2023 г.) сравнивали ошейники SCR (Milkline, Израиль) и болюсы BolusTech (BolusTech LLC, США), подчеркивая преимущества болюсов в диагностике метаболических нарушений (90% чувствительность) [13]. Эти данные указывают на необходимость дальнейших исследований комплексности устройств.

Цели исследования — сравнить точность мониторинга поведенческих активностей молочных коров с помощью ошейника SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и болюса «Здоровье животных» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Россия), разработанный в Агроинженерном центре ВИМ по четырем параметрам: кормлению, жвачке, ходьбе и отдыху, оценить потенциал интеграции данных с обоих устройств для разработки комплексной системы мониторинга поведения КРС.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводили с соблюдением международных этических стандартов работы с сельскохозяйственными животными. Все процедуры одобрены Этическим комитетом Федерального научного агроинженерного центра ВИМ.

Эксперимент проводили с декабря 2024 года по март 2025-го на животноводческой ферме Кубанского государственного аграрного университета (КубГАУ, Краснодарский край, Россия) с участием

10 коров голштинской породы (5 голов 1-й лактации, 5 коров 2-й лактации; период раздоя — 15–105 дней лактации со средней продуктивностью 32 кг/день).

Коров доили 3 раза в день — в 06:00, 14:00, 22:00.

Все коровы имели одинаковый физиологический статус, содержались в одной группе и получали унифицированный рацион, сбалансированный по питательным веществам для лактирующих коров, чтобы минимизировать вариабельность условий. Каждая корова была оснащена ошейником SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) с трехосевым акселерометром (частота сбора данных 10 Гц, рабочая частота RFID 134,2 кГц) для регистрации движений головы и рубцовым болюсом «Здоровье коров» (Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия) с трехосевым акселерометром, датчиками температуры и pH (частота сбора данных 10 Гц, передача данных на 868 МГц, что обеспечивает устойчивую связь на расстоянии до 300 м) для мониторинга жвачки и моторики рубца.

Для оснащения животных ошейники надевали на шею (рис. 1а) с учетом комфорта, а болюсы вводили в рубец (рис. 1б) с помощью специального аппликатора под ветеринарным контролем.

Поведение исследуемых коров (кормление, жвачку, ходьбу, отдых) фиксировали персоналом 10 часов в сутки (08:00 — 18:00) для создания эталонного набора данных.

Данные с ошейников SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и болюсов «Здоровье коров» (Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Россия) записывали в течение 120 дней, что соответствует сервис-периоду.

Срок эксплуатации болюсов «Здоровье коров» составляет не менее 4 лет, 180 дней из них — с фиксацией pH содержимого рубца [14].

После установки устройств данные передавали на локальный сервер фермы, где происходила предварительная обработка: синхронизация временных меток, фильтрация шумов и сегментация сигналов по активности животных.

Важным аспектом практического применения является интеграция данных. Отечественные болюсы «Здоровье коров» поддерживают экспорт в CSV/JSON-форматах и автоматическую синхронизацию с программами управления стадом других производителей.

Для классификации поведенческих паттернов использовали алгоритм случайного леса (Random Forest, библиотека scikit-learn). В качестве признаков применяли среднее ускорение по осям, стандартное отклонение, частотные маркеры.

Эффективность классификации оценивали по точности, прецизионности, полноте и F1-оценке с 10-кратной перекрестной проверкой.

Рис. 1. Установка ошейников (а) и имплантация болюсов (б). Фотография сделана авторами на животноводческой ферме КубГАУ

Fig. 1. Installation of collars (a) and implantation of boluses (b). The photo was taken by the authors at the KubGAU livestock farm



а) установка ошейников;
a) installation of collars



б) имплантация болюса;
b) bolus implantation

Точность классификации паттернов поведения рассчитывали как:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN},$$

где TP — истинно положительные, TN — истинно отрицательные, FP — ложно положительные, FN — ложно отрицательные предсказания.

F1-оценку определяли как:

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Rcall}}{\text{Precision} + \text{Rcall}}$$

где Precision = TP/(TP + FP), Recall = TP/(TP + FN).

Статистические различия между устройствами оценивали с помощью парного t-теста¹ (p < 0,05).

¹ <https://ru.statisticseasily.com/paired-t-test/>

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В ходе исследования была выявлена значимая согласованность результатов измерений двигательной активности между болюсом и ошейником. Для достоверной верификации согласованности случайным образом были выбраны суточные периоды измерений в декабре, январе и феврале, для которых проведено оценочное сравнение результатов измерений. Ввиду различий в шкалах результатов устройств показатели сравнивали по признаку одновременного повышения или понижения полученных результатов в один момент времени.

На представленной графической интерпретации отчетливо видно, что оба устройства в большинстве случаев одновременно выявляют периоды высокой активности коров (рис. 2).

Данные (табл. 1) обобщают точность классификации для каждого устройства. Ошейник SCR Heatime показал более высокую точность при кормлении (95,1%) и ходьбе (93,8%), но меньшую (89,4%) — при жвачке. Болюс «Здоровье коров» превосходил в определении жвачки (97,8%), но был менее точен при кормлении (87,2%) и ходьбе (85,6%). Для отдыха оба устройства показали схожую точность (92,5% против 93,0%).

Комбинирование данных с обоих устройств значительно повысило общую точность до 98,1% ($p < 0,01$). Парный t-тест подтвердил значимые различия в точности для кормления ($p = 0,002$) и жвачки ($p < 0,001$) между устройствами.

Для оценки индивидуальной вариабельности таблица 2 представляет средние значения точности классификации по каждой корове. Данные агрегированы по всем типам поведения.

Данные (табл. 2) демонстрируют индивидуальные различия в эффективности устройства для каждой из 10 голов коров. Ошейники в среднем показали немного более высокую точность (94,2%), чем болюсы (92,7%), с разницей от +0,4% до 3,1% у большинства животных. Однако у коровы № 3 болюс оказался точнее — на 0,5%, что указывает на вариабельность в зависимости от индивидуальных особенностей животных.

В таблице 3 представлены данные точности выявления половой охоты. Ошейники показали точность 88,5%, болюсы — 85,2%, а комбинированный подход достиг 97,0%.

Рисунок 3 представляет гистограмму, сравнивающую точность классификации для каждого поведения. Ошейники превосходят болюсы для кормления и ходьбы, тогда как болюсы лидируют для жвачки. Как видно из рисунка 3, дифференцированная эффективность устройств имеет четкое физиологическое обоснование.

Рис. 2. Сравнение динамики активности, регистрируемой ошейниками и болюсом (коровы инвентарными номерами: 211774, 211802, 211816, 211846)

Fig. 2. Comparison of the dynamics of activity recorded by collars and bolus (cows with inventory numbers: 211774, 211802, 211816, 211846)

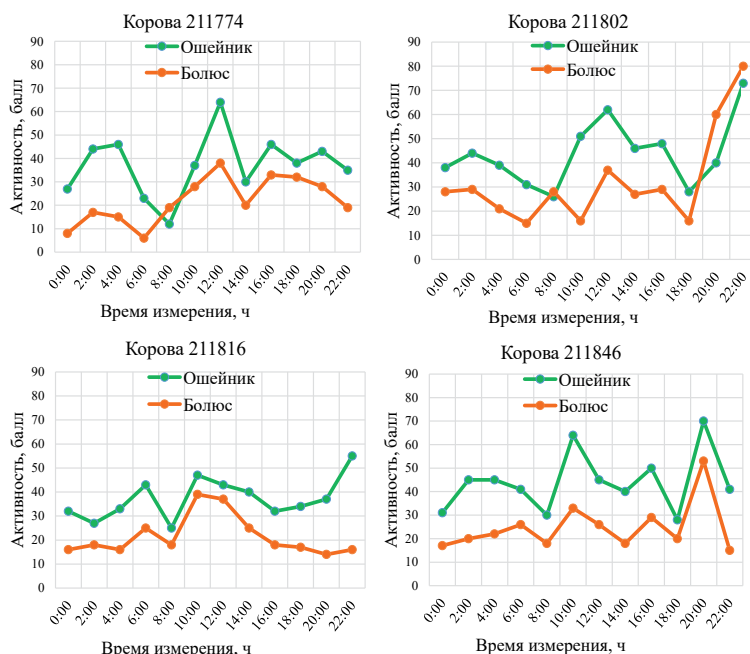


Таблица 1. Точность классификации поведения коров с ошейником SCR Heatime и болюсом «Здоровье коров»

Table 1. Accuracy of classification of cow behavior with SCR Heatime collar and bolus «Cow Health»

Поведение	Точность ошейника, %	Точность болюса, %	Комбинированная точность, %
Кормление	95,1	87,2	97,3
Жвачка	89,4	97,8	98,5
Ходьба	93,8	85,6	96,8
Отдых	92,5	93,0	97,7
Общая	94,2	92,7	98,1

Таблица 2. Средняя точность классификации по коровам

Table 2. Average classification accuracy for cows

Коровы	Средняя точность ошейника, %	Средняя точность болюса, %	Разница, %
1	95,2	93,1	+2,1
2	94,8	92,5	+2,3
3	93,5	94,0	-0,5
4	94,1	92,8	+1,3
5	95,0	91,9	+3,1
6	93,7	93,3	+0,4
7	94,3	92,0	+2,3
8	94,6	93,5	+1,1
9	93,9	92,7	+1,2
10	94,4	93,2	+1,2

Таблица 3. Точность выявления половой охоты у коров

Table 3. Accuracy of detecting heat in cows

Метод	Точность, %	Прецизионность, %	Полнота, %
Ошейник	88,5	87,0	89,2
Болюс	85,2	84,5	86,0
Комбинированный	97,0	96,5	97,3

Преимущество ошейников в регистрации кормления (95,1% против 87,2%) обосновывается их способностью точно фиксировать характерные движения головы, в то время как болюсы, находясь в рубце, не всегда адекватно реагируют на активность шеи. Однако при мониторинге жвачки болюс демонстрирует достаточно высокую точность (97,8%), так как непосредственно регистрирует сокращения рубца, тогда как ошейник вынужден анализировать вторичные проявления данного процесса.

Рисунок 4 показывает гистограмму общей точности классификации и точности выявления половой охоты. Комбинированный подход демонстрирует значительное преимущество.

В ходе исследования было установлено, что комбинированное использование ошейников с акселерометрами и рубцовых болюсов обеспечивает статистически значимое ($p < 0,01$) повышение точности мониторинга поведения крупного рогатого скота. Наибольшая эффективность была достигнута при определении половой охоты, где

комбинированный метод показал точность 97,0%, что на 11,8% превышает результаты болюсов (85,2%), на 8,7% — ошейников (88,5%).

Общая точность классификации поведения при совместном использовании устройств составила 98,1%, демонстрируя их взаимодополняемость: ошейники лучше регистрировали внешнюю активность (кормление — 95,1%, ходьба — 93,8%), тогда как болюсы превосходили в мониторинге жвачки (97,8%). Полученные данные подтверждают, что дифференцированный выбор сенсорных устройств в зависимости от задач мониторинга позволяет достичь максимальной эффективности, а их комбинированное применение формирует основу для развития интеллектуальных систем управления стадом. Результаты устойчивы к погрешностям, что подтверждается высокой воспроизводимостью данных и статистической значимостью различий ($p < 0,01$).

Результаты исследования подтверждают гипотезу, что ошейники более точны для внешних поведений (кормления, ходьбы), тогда как болюсы превосходят в мониторинге жвачки, что согласуется с данными Перейра и др. (2021 г.) и Мутауакиль и др. (2024 г.) [5, 13].

Размещение болюса smaXtec smaXtec animal care technology GmbH, Австрия) в рубце обеспечивает точное определение жвачки, что подтверждается исследованиями Чжан и др. (2024 г.) и Хайнал и др. (2022 г.) [6, 9].

Сравнительные исследования других авторов подкрепляют данные выводы. Рейтер и др. (2018 г.) сравнивали ошейники Afiflex (Afimilk, Израиль) и болюсы Moonsyst (Moonsyst, Франция), обнаружив, что ошейники достигли точности 93% для передвижения, а болюсы — 96% для жвачки.

Васкес Диосдадо и др. (2015 г.) исследовали CowManager (CowManager BV, Нидерланды) и болюсы smaXtec (smaXtec animal care technology GmbH, Австрия), отметив, что ошейники лучше фиксируют активность (92% точности), а болюсы — жвачку (95%) [10]. Их комбинированный подход повысил точность мониторинга эструса на 12%, что близко к нашим 10% улучшения.

Ловатти и др. (2024 г.) сравнивали ошейники SCR Heatime (Allflex Livestock Intelligence, Израиль) и болюсы BolusTech (BolusTech LLC, США), показав, что болюсы превосходят в диагностике метаболических нарушений (чувствительность 90%), но уступают в определении кормления (85%) [13].

Рис. 3. Сравнение точности классификации поведения коров для ошейника, болюса и комбинированного подхода

Fig. 3. Comparison of the accuracy of classification of cow behavior for the collar, bolus and combined approach

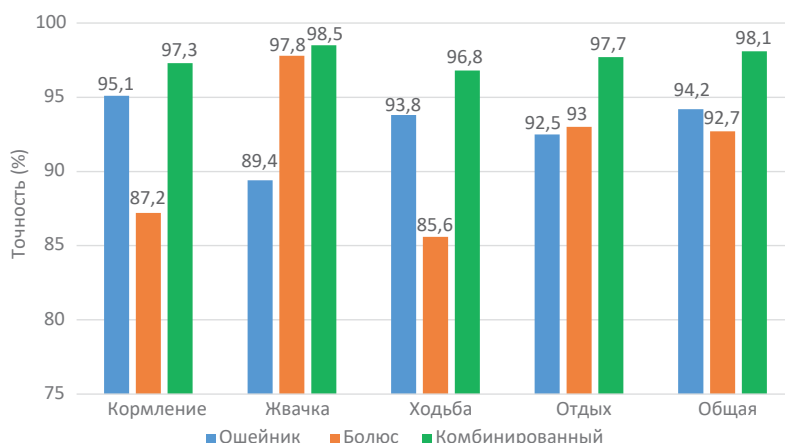
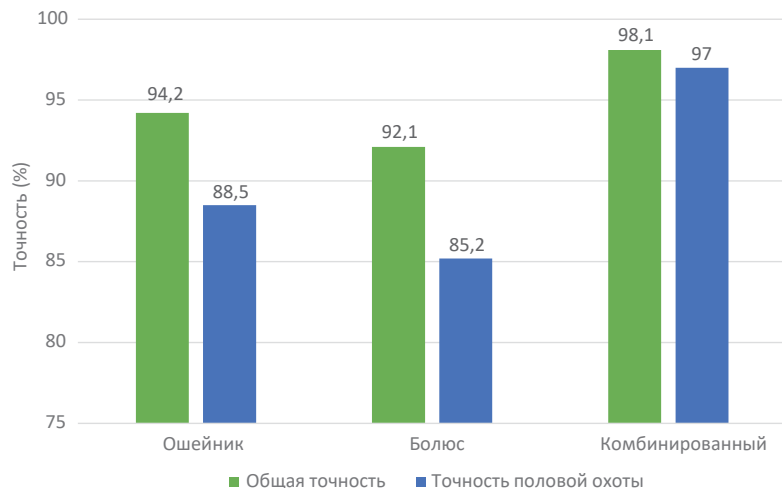


Рис. 4. Общая точность классификации для ошейника, болюса и комбинированного подхода

Fig. 4. Overall classification accuracy for the collar, bolus, and combined approach



Дополнительные исследования подтверждают комплементарность устройств. Биккер и др. (2014 г.) показали, что ушные датчики достигают точности 88% для кормления, но уступают болюсам в мониторинге жвачки [7]. Борхерс и др. (2016 г.) отметили, что болюсы обеспечивают точность 95% для жвачки, но менее эффективны для внешних поведений [8].

Комбинированный подход, как в настоящем исследовании, поддерживают Рейтер и др. (2018 г.), где сенсорное слияние повысило общую точность на 8% [10]. Комбинированный подход значительно повысил точность мониторинга, демонстрируя синергию между внутрирубцовыми болюсами и ошейниками типа Heatime. Стоимость болюсной системы составляет около 18 тыс. рублей на одну голову, а ошейников Heatime — примерно 3500 рублей за одну голову.

Как подтверждают результаты испытаний, система на основе болюсов окупается менее чем за год благодаря снижению потерь от заболеваний (на 30–40%) и повышению продуктивности стада (на 15–20%) [14].

Исследования Рейтер и др. (2018 г.) подтверждают, что методы сенсорного слияния способны минимизировать сложности интеграции данных с разных устройств. Это открывает перспективы для создания комплексной системы мониторинга, объединяющей преимущества болюсов (контроль рН и температуры рубца) и ошейников (фиксация двигательной активности). Такой подход полностью соответствует ключевой цели проекта по разработке универсального решения для животноводства [10].

Результаты, полученные на экспериментальной ферме КубГАУ, доказали эффективность системы

для голштинских коров первых двух лактаций. Однако для подтверждения универсальности технологии требуются дополнительные испытания с другими породами, такими как симментальская или айрширская, а также в различных условиях содержания. Эти работы станут следующим этапом развития технологии.

Экономическая эффективность системы подтверждена полевыми испытаниями в хозяйствах ООО «Каштановка» и ООО «Имени Тимирязева» [14].

Выводы/Conclusions

Комбинированное использование ошейников с акселерометрами и рубцовых болюсов демонстрирует значительное преимущество в мониторинге поведения крупного рогатого скота по сравнению с отдельным применением этих устройств. Максимальная точность классификации (98,1%) достигается при интеграции данных обоих сенсоров, что подчеркивает взаимодополняемость.

Использование ошейников в эксперименте наиболее эффективно для регистрации внешних поведенческих паттернов (кормление — 95,1%, ходьба — 93,8%), тогда как болюсы превосходят их в мониторинге жвачки (97,8%). Это подтверждает важность выбора устройства в зависимости от целевых показателей.

Результаты данного исследования подтверждают, что дифференцированный выбор сенсорных устройств в зависимости от задач мониторинга (внешняя активность и внутренние физиологические процессы) позволяет достичь максимальной эффективности, а их комбинированное применение формирует основу для развития интеллектуальных систем управления стадом.

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. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021; 15(4): 6–10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022; 16(2): 4–13. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Фёдоров А.Д., Кондратьева О.В., Слинько О.В. О перспективах цифровизации животноводства. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019; (1): 127–131. <https://elibrary.ru/urcasi>
4. Norton T., Chen C., Larsen M.L.V., Berckmans D. Review: Precision livestock farming: Building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer. *Animal*. 2019; 13(12): 3009–3017. <https://doi.org/10.1017/S175173111900199X>
5. Pereira G.M., Sharpe K.T., Heins B.J. Evaluation of the RumiWatch system as a benchmark to monitor feeding and locomotion behaviors of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(3): 3736–3750. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18952>

REFERENCES

1. Lobachevsky Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021; 15(4): 6–10 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
2. Tsench Yu.S. Scientific and Technological Potential as the Main Factor for Agricultural Mechanization Development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022; 16(2): 4–13 (in Russian). <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13>
3. Fedorov A.D., Kondratieva O.V., Slinko O.V. The prospects of livestock digitalization about [sic!]. *Journal of VNIIMZH*. 2019; (1): 127–131 (in Russian). <https://elibrary.ru/urcasi>
4. Norton T., Chen C., Larsen M.L.V., Berckmans D. Review: Precision livestock farming: Building “digital representations” to bring the animals closer to the farmer. *Animal*. 2019; 13(12): 3009–3017. <https://doi.org/10.1017/S175173111900199X>
5. Pereira G.M., Sharpe K.T., Heins B.J. Evaluation of the RumiWatch system as a benchmark to monitor feeding and locomotion behaviors of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104(3): 3736–3750. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18952>

6. Zhang F. *et al.* Research Advances and Prospect of Intelligent Monitoring Systems for the Physiological Indicators of Beef Cattle. *Smart Agriculture*. 2024; 6(4): 1–17 (на кит. яз.). <https://doi.org/10.12133/j.smartag.SA202312001>
7. Bikker J.P. *et al.* Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(5): 2974–2979. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7560>
8. Borchers M.R., Chang Y.M., Tsai I.C., Wadsworth B.A., Bewley J.M. A validation of technologies monitoring dairy cow feeding, ruminating, and lying behaviors. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(9): 7458–7466. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10843>
9. Hajnal É., Kovács L., Vakulya G. Dairy Cattle Rumen Bolus Developments with Special Regard to the Applicable Artificial Intelligence (AI) Methods. *Sensors*. 2022; 22(18): 6812. <https://doi.org/10.3390/s22186812>
10. Reiter S. *et al.* Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(4): 3398–3411. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12686>
11. Vázquez Diosdado J.A. *et al.* Classification of behaviour in housed dairy cows using an accelerometer-based activity monitoring system. *Animal Biotelemetry*. 2015; 3: 15. <https://doi.org/10.1186/s40317-015-0045-8>
12. El Moutaouakil Kh., Fali N. Deep learning-based classification of cattle behavior using accelerometer sensors. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2024; 13(1): 524–532. <https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i1.pp524-532>
13. Lovatti J.V.R., Dijkstra K.A., Aires J.F., Garrido L.F.C., Costa J.H.C., Daros R.R. Validation and interdevice reliability of a behavior monitoring collar to measure rumination, feeding activity, and idle time of lactating dairy cows. *JDS Communications*. 2024; 5(6): 602–607. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0467>
14. Владимиров Ф.Е. Разработка цифрового устройства для мониторинга физиологического состояния крупного рогатого скота. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2024; 154.

ОБ АВТОРАХ

Фёдор Евгеньевич Владимиров

кандидат технических наук, научный сотрудник
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Артем Рустамович Хакимов

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Сергей Сергеевич Юрочка

кандидат технических наук, старший научный сотрудник
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Дмитрий Юрьевич Павкин

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

Савр Олегович Базаев

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Россия

6. Zhang F. *et al.* Research Advances and Prospect of Intelligent Monitoring Systems for the Physiological Indicators of Beef Cattle. *Smart Agriculture*. 2024; 6(4): 1–17 (in Chinese). <https://doi.org/10.12133/j.smartag.SA202312001>

7. Bikker J.P. *et al.* Technical note: Evaluation of an ear-attached movement sensor to record cow feeding behavior and activity. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97(5): 2974–2979. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7560>

8. Borchers M.R., Chang Y.M., Tsai I.C., Wadsworth B.A., Bewley J.M. A validation of technologies monitoring dairy cow feeding, ruminating, and lying behaviors. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(9): 7458–7466. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10843>

9. Hajnal É., Kovács L., Vakulya G. Dairy Cattle Rumen Bolus Developments with Special Regard to the Applicable Artificial Intelligence (AI) Methods. *Sensors*. 2022; 22(18): 6812. <https://doi.org/10.3390/s22186812>

10. Reiter S. *et al.* Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(4): 3398–3411. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12686>

11. Vázquez Diosdado J.A. *et al.* Classification of behaviour in housed dairy cows using an accelerometer-based activity monitoring system. *Animal Biotelemetry*. 2015; 3: 15. <https://doi.org/10.1186/s40317-015-0045-8>

12. El Moutaouakil Kh., Fali N. Deep learning-based classification of cattle behavior using accelerometer sensors. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*. 2024; 13(1): 524–532. <https://doi.org/10.11591/ijai.v13.i1.pp524-532>

13. Lovatti J.V.R., Dijkstra K.A., Aires J.F., Garrido L.F.C., Costa J.H.C., Daros R.R. Validation and interdevice reliability of a behavior monitoring collar to measure rumination, feeding activity, and idle time of lactating dairy cows. *JDS Communications*. 2024; 5(6): 602–607. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0467>

14. Vladimirov F.E. Development of a digital device for monitoring the physiological state of cattle. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences Thesis. Moscow. 2025; 154 (in Russian).

ABOUT THE AUTHORS

Fedor Evgenievich Vladimirov

Candidate of Technical Sciences, Researcher
fvladimirov21@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2480-5754>

Artyom Rustamovich Khakimov

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
arty.hv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4332-9274>

Sergey Sergeevich Yurochka

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
yssvim@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2511-7526>

Dmitry Yuryevich Pavkin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
dimqaqa@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8769-8365>

Savr Olegovich Bazaev

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
sbazaeff@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3028-5081>

Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
5 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia

О.В. Зинина¹ ✉Е.А. Вишнякова¹М.Б. Ребезов²¹Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

✉ zininaov@susu.ru

Поступила в редакцию: 30.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.07.2025

Принята к публикации: 28.07.2025

© Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б.

Research article

 creative commons
Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-136-143

Oksana V. Zinina¹ ✉Elena A. Vishnyakova¹Maksim B. Rebezov²¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia²V. M. Gorbatoev Federal Scientific Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ zininaov@susu.ru

Received by the editorial office: 30.05.2025

Accepted in revised: 13.07.2025

Accepted for publication: 28.07.2025

© Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B.

Разработка алгоритма оценки антиоксидантных свойств экстрактов вишни методами искусственного интеллекта

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Инструменты искусственного интеллекта играют всё более важную роль в пищевых технологиях и биотехнологиях, значительно ускоряя и улучшая различные процессы. Оперативный контроль колориметрических параметров вишневых экстрактов с помощью компьютерного зрения позволяет быстро оценить содержание биоактивных веществ без затрат на экспериментальные исследования.

Методы. Объектами исследования являются образцы вишневых экстрактов. Для получения изображений опытных образцов подготовлены разведения от 2 до 0,25%. Цветовые характеристики экстрактов определяли с помощью колориметра NR60CP. Количественное определение суммарного содержания полифенолов в растворах экстрактов различной концентрации проводили методом Фолина — Чокальтеу. В качестве входных данных для классификации объектов и составления базы данных получали изображения RGB с цифровой камеры (50 МП). Для разработки программного обеспечения по обработке изображений использовали язык программирования Python, библиотеку OpenCV и TensorFlow. TensorFlow извлекает признаки из фотографий и добавляет их в базу данных.

Результаты. Результаты исследований показали, что с увеличением содержания биоактивных веществ — полифенолов — цвет экстрактов изменяется, становится темнее, что подтверждают и результаты оценки цветовых характеристик колориметром: с повышением концентрации повышается краснота и снижается светлота образцов. Создана база данных путем извлечения признаков с помощью библиотеки TensorFlow из готовых изображений образцов. Разработана программа оценки содержания полифенолов в экстрактах на языке программирования Python. Описанная модель системы мониторинга качества экстрактов с помощью компьютерного зрения может облегчить в промышленных масштабах определение содержания биоактивных веществ, требующих значительных затрат времени и ресурсов.

Ключевые слова: вишневый экстракт, компьютерное зрение, колориметрические параметры, алгоритм, антиоксидантные свойства

Для цитирования: Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Ребезов М.Б. Разработка алгоритма оценки антиоксидантных свойств экстрактов вишни методами искусственного интеллекта. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 136–143.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-136-143>

Development of an algorithm for assessing the antioxidant properties of cherry extracts using artificial intelligence methods

ABSTRACT

Relevance. Artificial intelligence tools are playing an increasingly important role in food technology and biotechnology, significantly accelerating and improving various processes. Operational control of colorimetric parameters of cherry extracts using computer vision allows for a quick assessment of the content of bioactive substances without the cost of experimental studies.

Methods. The objects of the study are samples of cherry extracts. Dilutions from 2 to 0.25% were prepared to obtain images of the test samples. The color characteristics of the extracts were determined using an NR60CP colorimeter. Quantitative determination of the total content of polyphenols in solutions of extracts of different concentrations was carried out using the Folin — Ciocalteu method. RGB images from a digital camera (50 MP) were obtained as input data for classifying objects and compiling a database. The Python programming language, OpenCV library and TensorFlow were used to develop image processing software. TensorFlow extracts features from photographs and adds them to the database.

Results. The research results showed that with an increase in the content of bioactive substances — polyphenols — the color of the extracts changes and becomes darker, which is confirmed by the results of the evaluation of color characteristics with a colorimeter: with an increase in concentration, the redness increases and the lightness of the samples decreases. A database was created by extracting features using the TensorFlow library from ready-made sample images. A program for assessing the content of polyphenols in extracts was developed in the Python programming language. The described model of the system for monitoring the quality of extracts using computer vision can facilitate the determination of the content of bioactive substances on an industrial scale, which requires significant time and resources.

Key words: cherry extract, computer vision, colorimetric parameters, algorithm, antioxidant properties

For citation: Zinina O.V., Vishnyakova E.A., Rebezov M.B. Development of an algorithm for assessing the antioxidant properties of cherry extracts using artificial intelligence methods. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 136–143 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-136-143>

Введение/Introduction

Пищевая индустрия — одна из основных сфер, нуждающаяся в модернизации производства [1, 2]. От качества пищевых продуктов зависит качество жизни населения страны [3–6], а также пищевая безопасность [7, 8].

Обязанности, которые традиционно выполнял естественный (человеческий) интеллект, теперь выполняются с помощью современных компьютерных систем, которые называются искусственным интеллектом (ИИ). Эти высокотехнологичные вычислительные системы моделируют человеческий мозг и проводят анализ для решения задач. Другими словами, сначала рассматривается, как человек решает задачу, а затем его логика переводится на компьютерный язык с помощью кодов. Существует ряд направлений, которые классифицируются в зависимости от их применения, например распознавание образов и голоса, цифровая обработка сигналов, машинное обучение и обработка естественного языка. Часть функций человеческого мозга может быть имитирована или даже улучшена с помощью ИИ [9–11].

ИИ — это обширная область компьютерных технологий, которая имитирует процессы человеческого интеллекта с помощью машин и компьютеров и разрабатывает системы для выполнения задач, которые обычно требуют человеческого интеллекта. Фактически он позволяет использовать данные в реальном времени для повышения эффективности систем мониторинга, минимизации ошибок, повышения устойчивости производственного процесса и экономии затрат [12–15].

Компьютерное зрение — это технология, позволяющая извлекать, обрабатывать и интерпретировать визуальные данные из окружающей среды с высокой скоростью, точностью и без физического вмешательства. С применением современных методов обработки изображений, интеллектуальных алгоритмов и систем ИИ компьютерное зрение способно частично имитировать человеческое восприятие, выявляя даже трудноразличимые дефекты. Основные достоинства таких решений — высокая точность, быстрая обработка данных и стабильность результатов [16–19].

Системы автоматического контроля качества на базе компьютерного зрения могут использоваться на различных стадиях производственного цикла. Наиболее типичными примерами являются контроль исходного сырья, сортировка продукции, контроль технологических процессов и оценка качества упаковки [16, 20–22].

Благодаря своим функциональным возможностям компьютерное зрение оказывает заметное влияние на управление цепочками поставок в пищевой индустрии, способствуя стабильному качеству выпускаемой продукции и снижению уровня отходов за счет своевременного обнаружения брака. Это в свою очередь позволяет сократить количество рекламаций, предотвратить возможные отзывы продукции и снизить затраты на обслуживание, минимизируя риск перебоев в производстве [23, 24].

В таблице 1 представлены основные направления модернизации и использования ИИ в пищевой промышленности [25].

Таблица 1. Основные направления модернизации и использования искусственного интеллекта в пищевой промышленности [25]

Table 1. Main directions of modernization and use of artificial intelligence in the food industry [25]

Алгоритм (модель)	Применение
1	2
Сверточные нейронные сети	Обнаружение болезней сельскохозяйственных культур: классификация изображений для выявления болезней сельскохозяйственных культур и вредителей
Долгая краткосрочная память	Прогнозирование роста сельскохозяйственных культур: прогнозирование роста и урожайности сельскохозяйственных культур на основе исторических данных и факторов окружающей среды
Случайный лес	Обнаружение и управление сорняками: классификация для определения различий между сельскохозяйственными культурами и сорняками с помощью изображений, полученных с беспилотников или камер
Метод опорных векторов	Мониторинг домашнего скота: анализ данных датчиков домашнего скота для контроля состояния здоровья, поведения и продуктивности
Метод k-средних	Точное земледелие: сегментирование полей в зависимости от характеристик почвы для оптимизации стратегий орошения и внесения удобрений
Рекуррентная нейронная сеть	Прогнозирование климата: последовательное моделирование для прогнозирования погоды и климата
Анализ главных компонентов	Анализ питательных веществ в почве: снижение размерности и анализ данных о питательных веществах в почве для рекомендации стратегий внесения удобрений
Генетический алгоритм	Селекция сельскохозяйственных культур: генетические алгоритмы для оптимизации программ селекции сельскохозяйственных культур путем выбора желаемых генетических признаков
Марковский процесс принятия решений	Управление орошением: принятие решений по оптимизации графика орошения на основе потребностей культур в воде и уровня влажности почвы
Обучение с подкреплением	Навигация автономной машины: обучение автономной машины навигации по полям, избеганию препятствий и оптимизации планирования пути
Линейная регрессия	Прогнозирование рыночных цен: прогнозирование цен на сырьевые товары на основе рыночных данных и динамики спроса и предложения
Нечеткая логика	Системы управления орошением: принятие решений в автоматизированных системах орошения на основе уровней влажности почвы, прогнозов погоды и потребностей в воде
Деревья принятия решений	Борьба с вредителями: выявление моделей заражения вредителями и рекомендации по соответствующим стратегиям борьбы с ними в зависимости от факторов окружающей среды и культуры

Продолжение Таблицы 1. на стр. 138

(продолжение табл. 1, начало на стр. 137)

1	2
Байесовская сеть	Оценка риска для урожая: анализ множества факторов, таких как погодные условия, качество почвы и исторические данные, для оценки и прогнозирования рисков, связанных с неурожаем или вспышками болезней
Ансамблевое обучение	Прогнозирование урожайности: объединение прогнозов, полученных с помощью нескольких моделей, для повышения точности прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе множества параметров
Глубокая сеть доверия	Идентификация вредителей в растениях: анализ изображений и идентификация вредителей в растениях, включая хранящееся зерно, что помогает предотвратить послеуборочные потери
Наивный байесовский классификатор	Рекомендация сортов сельскохозяйственных культур: анализ данных о почве и климате для рекомендации подходящих сортов сельскохозяйственных культур, которые, вероятно, будут процветать в конкретных условиях окружающей среды
Самоорганизующаяся карта Кохонена	Картографирование урожайности: кластеризация и визуализация пространственных закономерностей в данных об урожайности, собранных с полей, что упрощает целевые вмешательства и методы управления
Глубокое обучение с подкреплением	Автономные дроны для опрыскивания сельскохозяйственных культур: обучение беспилотников автономному обнаружению и распылению гербицидов или пестицидов на целевых участках, что минимизирует использование химикатов и вредное воздействие на окружающую среду
Логистическая регрессия	Прогнозирование распространения заболеваний: моделирование вероятности вспышек заболеваний на основе таких факторов, как погодные условия, типы сельскохозяйственных культур и исторические данные о заболеваемости

Использование методов компьютерного зрения на различных этапах производства для контроля за качеством продукции находит всё более широкое применение [26–28]. За последние несколько лет технологии машинного зрения шагнули далеко вперед. Это обусловлено двумя факторами: во-первых, были разработаны новые алгоритмы обработки изображений, в том числе методы обработки изображений с применением сверточных нейронных сетей, что позволило сократить время обработки и нагрузку на компьютерную систему, занимающуюся обработкой; во-вторых, во много раз увеличилось качество оборудования для съемки видео, в том числе увеличались размеры матриц видеокамер в потребительски доступном сегменте рынка, а также были усовершенствованы и приобрели большее распространение камеры, захватывающие видео в диапазоне инфракрасного света.

Преимущества использования методов компьютерного зрения заключаются в возможности комплексного выполнения нескольких задач одной точкой установки камеры. Подразумевается, что одна и та же камера может как отслеживать качество продукции с точки зрения органолептических показателей, так и следить за отсутствием брака или возникновением нестандартных ситуаций. Комплексность подхода обусловлена тем, что большая часть логики работы камеры, в том числе комплекс обработки изображения, система принятия решений, расположена вне датчика (камеры), что позволяет упаковать программный комплекс в единое производственное решение, чем сократить экономические затраты [29–33].

Анализ компьютерным зрением полученных данных опирается на сложные алгоритмы и техники, включающие несколько ключевых этапов:

- обработку изображений (улучшение качества, изменение масштаба, цветокоррекцию);

- извлечение признаков (выделение характерных особенностей, таких как края и текстуры, часто с использованием фильтров Собеля¹, Хаара² или конволюционных нейронных сетей — CNN³);
- распознавание образов (классификацию изображений или объектов);
- сегментацию изображений (разделение изображения на отдельные области);
- 3D-реконструкцию (восстановление трехмерной модели из нескольких двумерных изображений).

Ниже приведены некоторые из существующих разработок систем мониторинга в пищевой промышленности: система анализа изображений и ИИ для выявления ошибок в соотношениях смесей, которые могут возникнуть во время непрерывных процессов нагревания массово производимых морепродуктов сурими [34]; система компьютерного зрения с использованием изображений смартфона для классификации нежности говяжьего и свиного стейка, прогнозирования усилия сдвига, содержания жира для проведения оценки качества мяса потребителями [35]; система прогнозирования физико-химических изменений черешни во время хранения [36]; алгоритм использования изображений и индексов RGB для точного прогнозирования содержания антоцианов в лепестках розы *R. chinensis* [37]; система прогнозирования и определения веса, длины, ширины и химических свойств (в том числе содержания антоцианов) в плодах винограда сорта *Flame Seedless* на основе колориметрических данных [38]; система отслеживания для обнаружения загрязнений свиных туш [39]; прогнозирование роста растений с использованием RGB-D-характеристик [40]; алгоритм классификации повреждений клубники от заморозков [41]; система прослеживаемости и контроля качества в мясной промышленности с

¹ <https://habr.com/ru/articles/645521/>

² <https://habr.com/ru/articles/198338/>

³ <https://www.ultralytics.com/ru/glossary/convolutional-neural-network-cnn>

помощью отслеживания физических характеристик мяса [42].

Анализ литературы показал, что использование методов ИИ, в частности компьютерного зрения, способствует совершенствованию технологического процесса, упрощению и повышению достоверности оценки качества продукции и полуфабрикатов. Актуальны разработки алгоритмов прогнозирования качества экстрактов с помощью метода ИИ — компьютерного зрения, поскольку проведение лабораторных исследований в данной области дорогостоящее и трудозатратное.

Цели работы — разработка и тестирование алгоритма прогнозирования содержания полифенолов в вишневых экстрактах по их колориметрическим характеристикам.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объект исследования — экстракты вишни, полученные по технологии, представленной на рисунке 1⁴.

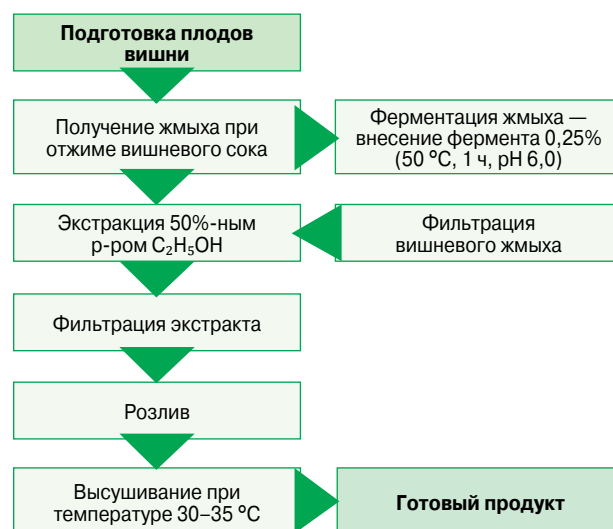
Важным показателем в экстрактах является содержание биоактивных веществ — полифенолов. Цвет экстрактов изменяется в зависимости от содержания полифенолов.

Для получения изображений опытных образцов вишневых экстрактов были подготовлены разведения от 2 до 0,25%.

Цветовые характеристики экстрактов определяли с помощью колориметра NR60CP (Китай). Перед измерениями проводили калибровку прибора с использованием белой стандартной пластинки ($L^* = 96,77$, $a^* = 0,11$, $b^* = -0,71$), которую применяли в качестве фона при измерении цветовых характеристик растворов экстрактов: светлоты (L^*), красноты (a^*) и желтизны (b^*).

Количественное определение суммарного содержания полифенолов в растворах экстрактов различной концентрации проводили методом Фолина — Чокальтеу⁵. 0,1 мл каждого образца экстракта смешивали с 0,1 мл реагента Фолина — Чокальтеу, 1 мл 20%-ного (мас/об) карбоната натрия и 8,8 мл дистиллированной воды, 30 мин. выдерживали в темноте и измеряли поглощение на спектрофотометре при 700 нм. В качестве стандарта использовали галловую кислоту (25–250 мг/л; $R^2 = 0,996$), результаты выражали в мг-эквивалентах галловой кислоты.

Рис. 1. Блок-схема «Технология получения экстракта»
Fig. 1. Block diagram “Technology for obtaining extract”



Как видно из описания, методика определения полифенолов требует дорогостоящих реактивов и оборудования, а также времени. Компьютерное зрение же является неразрушающей технологией для получения и анализа цифрового изображения для получения информации о продукте и считается ценным инструментом для улучшения автоматической оценки качества продуктов питания [43].

Следующий этап — получение изображений RGB с цифровой камеры (50 МП)⁶ в качестве входных данных для классификации объектов и составления базы данных. Для получения изображений растворы экстрактов помещали в прозрачные стеклянные кюветы.

Для разработки программного обеспечения по обработке изображений использовали язык программирования Python⁷, библиотеку OpenCV⁸ и TensorFlow⁹. TensorFlow извлекал признаки из фотографий и добавлял их в базу данных.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Исходные данные для написания программы и составления базы данных приведены в таблице 2.

Результаты исследований показали, что с увеличением содержания биоактивных веществ — полифенолов — цвет экстрактов изменяется, становится темнее, что подтверждают и результаты

⁴ Зинина О.В., Вишнякова Е.А., Науменко Н.В., Ребезов М.Б. Оптимизация процесса экстракции биоактивных веществ из вишневого жмыха. Пищевые системы. 2025 (статья в печати). https://www.fsjour.com/jour?locale=ru_RU

⁵ <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-modifitsirovannogo-metoda-folina-chokalteu-dlya-otsenki-antioksidantnoy-emkosti-emulsionnyh-rastitelnyh-napitkov-s>

⁶ Для получения RGB-изображений с цифровой камеры (50 МП) необходимо учитывать несколько аспектов: датчик изображения, процессор обработки и цветовую модель RGB. Датчик собирает свет, превращая его в электрические сигналы. Процессор интерпретирует эти сигналы, определяя цвет и яркость каждого пикселя. RGB (красный, зеленый, синий) — это модель, используемая для представления цветов в цифровых изображениях.

⁷ <https://blog.skillfactory.ru/glossary/python/>

⁸ <https://blog.skillfactory.ru/glossary/opencv/>

⁹ <https://www.tensorflow.org/?hl=ru>

Таблица 2. Показатели растворов экстрактов

Table 2. Parameters of extract solutions

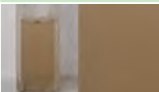
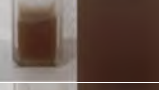
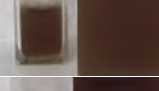
Концентрация экстракта, %	Изображение образца	Суммарное содержание полифенолов, мг экв. галловой кислоты	Показатель	Значение
0,25		0,819	L	42,10
			a	4,36
			b	13,9
0,5		1,325	L	34,37
			a	4,85
			b	11,49
0,75		1,832	L	32,03
			a	5,21
			b	10,81
1		2,338	L	30,72
			a	8,24
			b	9,84
1,25		2,844	L	28,10
			a	8,73
			b	7,91
1,5		3,351	L	28,01
			a	10,93
			b	6,89
1,75		3,857	L	22,00
			a	11,35
			b	4,43
2,0		4,364	L	21,02
			a	11,68
			b	3,39

Рис. 2. Пример базы данных

Fig. 2. Example of a database

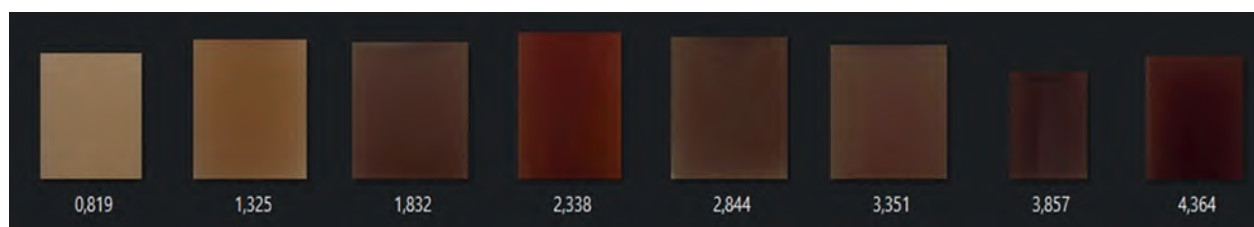
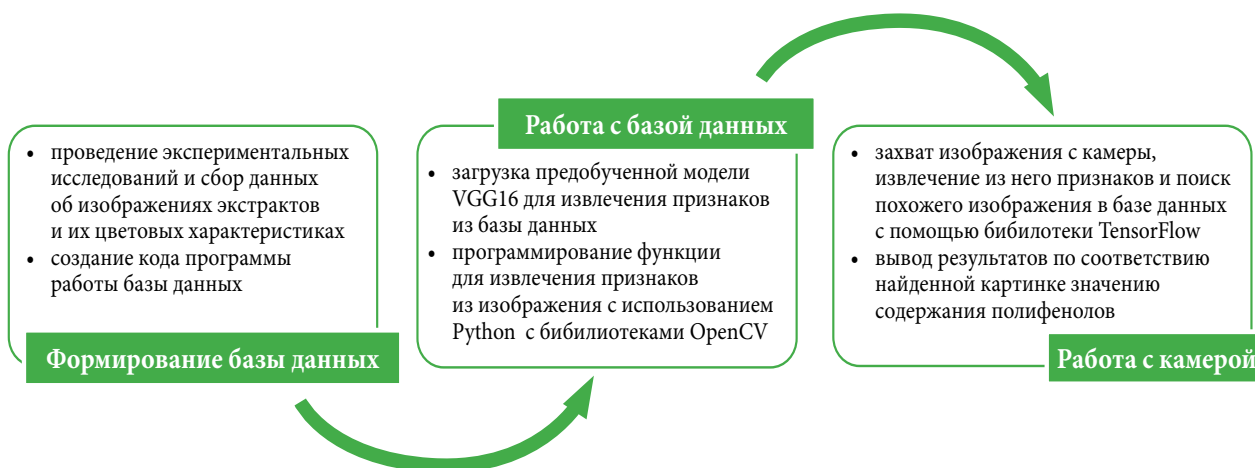


Рис. 3. Алгоритм оценки содержания полифенолов в экстрактах с помощью компьютерного зрения

Fig. 3. Algorithm for assessing the content of polyphenols in extracts using computer vision



¹⁰ <https://habr.com/ru/articles/678260/>

¹¹ https://www.nic.ru/help/biblioteka-dlya-mashinnogo-obucheniya-tensorflow-kak-ustanovit6-tensorflow_11703.html?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com

Выводы/Conclusions

В результате выполнения работы получены вишневые экстракты разной концентрации, установлены их антиоксидантные свойства, цветовые характеристики и сделаны изображения камерой. Из полученных данных созданы база данных и программа, сопоставляющая изображения исследуемых экстрактов с изображениями из базы данных с выводом соответствующего содержания полифенолов.

Предложен алгоритм оценки качественных характеристик экстрактов с помощью метода ИИ — компьютерного зрения.

Таким образом, результатом данной работы стала программа, позволяющая определить содержание полифенолов в экстракте по его цветовым характеристикам. Предлагаемая разработка может существенно упростить проведение лабораторного анализа по определению содержания полифенолов в различных источниках.

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. Sarkar T. *et al.* Application of bio-inspired optimization algorithms in food processing. *Current Research in Food Science*. 2022; 5: 432–450. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.02.006>
2. Sarkar T. *et al.* The Fuzzy Cognitive Map-Based Shelf-life Modelling for Food Storage. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(3): 579–597. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02147-5>
3. Дмитриев Н.Д., Rogozina E.A. Применение инновационных технологий на пищевых предприятиях. *Вестник университета*. 2020; (7): 36–44. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-7-36-44>
4. Meinert C. *et al.* Food safety and food security through predictive microbiology tools: a short review. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023; 17: 324–342. <https://doi.org/10.5219/1854>
5. Sarkar T. *et al.* Underutilized green leafy vegetables: frontier in fortified food development and nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(33): 11679–11733. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2095555>
6. Shafiq M. *et al.* Development and quality cum nutritional assessment based on physical properties for corn extruded snacks enriched with protein and carbohydrates: a remedy to malnutrition for society. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2024; 18: 633–653. <https://doi.org/10.5219/1942>
7. Abdel Salam S.G. *et al.* Bioactive components and antibacterial activity of raw and boiled Egyptian pepper. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2024; 14(3): e11878. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11878>
8. Smaoui S. *et al.* Beyond Conventional Meat Preservation: Saddling the Control of Bacteriocin and Lactic Acid Bacteria for Clean Label and Functional Meat Products. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2024; 196(6): 3604–3635. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04680-x>
9. Kalandarov P.I., Abdullaev Kh.Kh., Khaitov A.N., Sharifov Kh.S., Murodova G.F. Modeling of biotechnological objects. *BIO Web of Conferences*. 2024; 108: 25005. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410825005>
10. Кобринский Б.А. Доверие к технологиям искусственного интеллекта. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2024; (3): 3–17. <https://doi.org/10.14357/20718594240301>
11. Skuliabina O., Petrova K., Nass O., Bapiyev I., Vakhitova A., Baigubenova S. *et al.* An approach to creating a thinking process in systems empowered with intelligence using 3D environments. *E3S Web of Conferences*. 2023; 389: 07001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338907001>
12. Mukherjee A. *et al.* Development of Artificial Vision System for Quality Assessment of Oyster Mushrooms. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(6): 1663–1676. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02241-2>
13. Sarkar T. *et al.* Expert Knowledge-Based System for Shelf-Life Analysis of Dairy Cheese Ball (Rasgulla). *Food Analytical Methods*. 2022; 15(7): 1945–1960. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02261-y>
14. Mishra M. *et al.* Allergen30: Detecting Food Items with Possible Allergens Using Deep Learning-Based Computer Vision. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(11): 3045–3078. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02353-9>

REFERENCES

1. Sarkar T. *et al.* Application of bio-inspired optimization algorithms in food processing. *Current Research in Food Science*. 2022; 5: 432–450. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.02.006>
2. Sarkar T. *et al.* The Fuzzy Cognitive Map-Based Shelf-life Modelling for Food Storage. *Food Analytical Methods*. 2022; 14 (11). <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02147-5>
3. Dmitriev N.D., Rogozina E.A. Application of innovative technologies at food enterprises. *Vestnik Universiteta*. 2020; (7): 36–44 (in Russian). <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-7-36-44>
4. Meinert C. *et al.* Food safety and food security through predictive microbiology tools: a short review. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2023; 17: 324–342. <https://doi.org/10.5219/1854>
5. Sarkar T. *et al.* Underutilized green leafy vegetables: frontier in fortified food development and nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(33): 11679–11733. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2095555>
6. Shafiq M. *et al.* Development and quality cum nutritional assessment based on physical properties for corn extruded snacks enriched with protein and carbohydrates: a remedy to malnutrition for society. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2024; 18: 633–653. <https://doi.org/10.5219/1942>
7. Abdel Salam S.G. *et al.* Bioactive components and antibacterial activity of raw and boiled Egyptian pepper. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2024; 14(3): e11878. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.11878>
8. Smaoui S. *et al.* Beyond Conventional Meat Preservation: Saddling the Control of Bacteriocin and Lactic Acid Bacteria for Clean Label and Functional Meat Products. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2024; 196(6): 3604–3635. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04680-x>
9. Kalandarov P.I., Abdullaev Kh.Kh., Khaitov A.N., Sharifov Kh.S., Murodova G.F. Modeling of biotechnological objects. *BIO Web of Conferences*. 2024; 108: 25005. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410825005>
10. Kobrinsky B.A. Trust in artificial intelligence technologies. *Artificial intelligence and decision making*. 2024; (3): 3–17 (in Russian). <https://doi.org/10.14357/20718594240301>
11. Skuliabina O., Petrova K., Nass O., Bapiyev I., Vakhitova A., Baigubenova S. *et al.* An approach to creating a thinking process in systems empowered with intelligence using 3D environments. *E3S Web of Conferences*. 2023; 389: 07001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338907001>
12. Mukherjee A. *et al.* Development of Artificial Vision System for Quality Assessment of Oyster Mushrooms. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(6): 1663–1676. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02241-2>
13. Sarkar T. *et al.* Expert Knowledge-Based System for Shelf-Life Analysis of Dairy Cheese Ball (Rasgulla). *Food Analytical Methods*. 2022; 15(7): 1945–1960. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02261-y>
14. Mishra M. *et al.* Allergen30: Detecting Food Items with Possible Allergens Using Deep Learning-Based Computer Vision. *Food Analytical Methods*. 2022; 15(11): 3045–3078. <https://doi.org/10.1007/s12161-022-02353-9>

15. Zribi M., Pagliuca P., Pitolli F. A Computer Vision-Based Quality Assessment Technique for the automatic control of consumables for analytical laboratories. *Expert Systems with Applications*. 2024; 256: 124892. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124892>
16. Samoilova E.M. *et al.* Monitoring as an element of quality management system of technological systems. *AIP Conference Proceedings*. 2023; 2700(1): 020059. <https://doi.org/10.1063/5.0125186>
17. Gusynina Y.S., Shornikova T.A. Image processing and pattern recognition issues. *Proceedings of SPIE*. 2022; 12251: 122510B. <https://doi.org/10.1117/12.2631054>
18. Tikhonyuk N., Paytaeva K., Ivanova S. Digital Production and Biotechnology as a New Techno-Economic Paradigm. *BIO Web of Conferences*. 2023; 57: 01003. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20235701003>
19. Kovshov E., Kuvshinnikov V., Dolgov N. Digital twins creation based on discrete modelling of non-destructive evaluation objects. *E3S Web of Conferences*. 2023; 431: 05003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343105003>
20. Degtyareva K.V., Nikolaev S.V., Nelyub V.A., Tynchenko V.S., Borodulin A.S. Automatic monitoring system designed to detect defects in PET preforms. *E3S Web of Conferences*. 2023; 458: 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345802002>
21. Rogozhina I., Guseva M., Andreeva E. Garment Production Quality Evaluation Using Machine Vision. Solovyov D.B., Savalei V.V., Bekker A.T., Petukhov V.I. (eds.). *FarEastCon 2021. Proceeding of the International Science and Technology Conference*. Singapore: Springer. 2022; 309–318. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_27
22. Благовещенский И.Г. Использование системы компьютерного зрения для контроля в режиме онлайн качества сырья и готовой продукции пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*. 2015; (6): 9–13. <https://www.elibrary.ru/ulrkkx>
23. Lysova N., Solari F., Montanari R. Investigating Research Trends in Computer Vision for Food Quality Control: A Bibliometric Approach. *Procedia Computer Science*. 2025; 253: 1923–1932. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.254>
24. Костышина Е.Я. Цифровая экономика и компьютерное зрение: интеграция и практика применения в пищевой промышленности. *Вестник ИМСИТа*. 2024; (4): 27–33. <https://www.elibrary.ru/cxqamm>
25. Pandey D.K., Mishra R. Towards sustainable agriculture: Harnessing AI for global food security. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2024; 12: 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.04.003>
26. Бартенев Д.С., Илларионова Е.Е. Перспектива применения методов машинного зрения для контроля качества сухого молока. *Пищевая промышленность*. 2023; (12): 85–89. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.12.12.017>
27. Савостин С.Д., Бесфамильная Е.М., Вартанов Г.В., Василькин Д.П. Методология разработки программного обеспечения автоматизированного поиска сорной примеси в потоке с применением оборудования компьютерного зрения. *Пищевая промышленность*. 2024; (2): 68–71. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.2.2.013>
28. Миронченко В.И. Метод определения количества дефектных изделий в выборке по одному результату измерения. *Измерительная техника*. 2024; (2): 30–34. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2024-2-30-34>
29. Толстель О.В., Ширкин А.Е., Калабин А.Л. Построение системы технического зрения для выравнивания содержимого упаковок дельта-манипулятором на пищевом производстве. *Программные продукты и системы*. 2023; 36(2): 334–341. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.142.334-341>
30. Климачев С.А., Соловьев Н.А. Методика принятия решений на основе компьютерного зрения и выбора Парето-оптимальной альтернативы технологических параметров производства. *Информационные технологии*. 2023; 29(7): 382–388. <https://doi.org/10.17587/it.29.382-388>
31. Бобырь М.В., Емельянов С.Г., Милостная Н.А. Оптимизация числа проходов в задаче логической фильтрации изображений. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2023; (2): 98–107. <https://doi.org/10.14357/20718594230208>
32. Обухов А.Д., Назарова А.О. Метод управления на основе технологий компьютерного зрения и машинного обучения для адаптивных систем. *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2023; 24(1): 14–23. <https://doi.org/10.17587/mau.24.14-23>
33. Диязитдинова А.А. Критерии совмещения изображений в двухкамерной системе технического зрения. *Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии*. 2024; 16(2): 307–314. <https://doi.org/10.17725/rensit.2024.16.307>
15. Zribi M., Pagliuca P., Pitolli F. A Computer Vision-Based Quality Assessment Technique for the automatic control of consumables for analytical laboratories. *Expert Systems with Applications*. 2024; 256: 124892. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124892>
16. Samoilova E.M. *et al.* Monitoring as an element of quality management system of technological systems. *AIP Conference Proceedings*. 2023; 2700(1): 020059. <https://doi.org/10.1063/5.0125186>
17. Gusynina Y.S., Shornikova T.A. Image processing and pattern recognition issues. *Proceedings of SPIE*. 2022; 12251: 122510B. <https://doi.org/10.1117/12.2631054>
18. Tikhonyuk N., Paytaeva K., Ivanova S. Digital Production and Biotechnology as a New Techno-Economic Paradigm. *BIO Web of Conferences*. 2023; 57: 01003. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20235701003>
19. Kovshov E., Kuvshinnikov V., Dolgov N. Digital twins creation based on discrete modelling of non-destructive evaluation objects. *E3S Web of Conferences*. 2023; 431: 05003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343105003>
20. Degtyareva K.V., Nikolaev S.V., Nelyub V.A., Tynchenko V.S., Borodulin A.S. Automatic monitoring system designed to detect defects in PET preforms. *E3S Web of Conferences*. 2023; 458: 02002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345802002>
21. Rogozhina I., Guseva M., Andreeva E. Garment Production Quality Evaluation Using Machine Vision. Solovyov D.B., Savalei V.V., Bekker A.T., Petukhov V.I. (eds.). *FarEastCon 2021. Proceeding of the International Science and Technology Conference*. Singapore: Springer. 2022; 309–318. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_27
22. Blagoveshchensky I.G. The use of computer vision systems to control online the quality of raw materials and finished food industry products. *Food processing industry*. 2015; (6): 9–13 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ulrkkx>
23. Lysova N., Solari F., Montanari R. Investigating Research Trends in Computer Vision for Food Quality Control: A Bibliometric Approach. *Procedia Computer Science*. 2025; 253: 1923–1932. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.254>
24. Kostyshina E.Ya. Digital economy and computer vision: integration and application practice in the food industry. *Vestnik IMSIT*. 2024; (4): 27–33 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/cxqamm>
25. Pandey D.K., Mishra R. Towards sustainable agriculture: Harnessing AI for global food security. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2024; 12: 72–84. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.04.003>
26. Bartenev D.S., Illarionova E.E. The prospect of using machine vision methods for quality control of milk powder. *Food processing industry*. 2023; (12): 85–89 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.12.12.017>
27. Savostin S.D., Besfamilnaya E.M., Vartanov G.V., Vasilkin D.P. Methodology for developing software for automated search for trash in a stream using computer vision equipment. *Food processing industry*. 2024; (2): 68–71 (in Russian). <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.2.2.013>
28. Mironchenko V.I. Method for determining the number of defective products in a sample based on one measurement result. *Izmeritel'naya tekhnika*. 2024; (2): 30–34 (in Russian). <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2024-2-30-34>
29. Tolstel O.V., Shirkin A.E., Kalabin A.L. Constructing a computer vision system for aligning the contents of packages by a delta manipulator in food production. *Software & Systems*. 2023; 36(2): 334–341 (in Russian). <https://doi.org/10.15827/0236-235X.142.334-341>
30. Klimachev S.A., Solovyov N.A. The Decision-Making Technique Based on Computer Vision and Selection of Pareto-Optimal Alternative of Technological Production Parameters. *Information Technologies*. 2023; 29(7): 382–388 (in Russian). <https://doi.org/10.17587/it.29.382-388>
31. Bobyr M.V., Emelyanov S.G., Milostnaya N.A. Optimization of the number of passes in the problem of logical image filtering. *Artificial intelligence and decision making*. 2023; (2): 98–107 (in Russian). <https://doi.org/10.14357/20718594230208>
32. Obukhov A.D., Nazarova A.O. A Control Method Based on Computer Vision and Machine Learning Technologies for Adaptive Systems. *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*. 2023; 24(1): 14–23 (in Russian). <https://doi.org/10.17587/mau.24.14-23>
33. Diyazitdinova A.A. Criteria for image superposition in a two-camera technical vision system. *Radioelectronics. Nanosystems. Information technologies*. 2024; 16(2): 307–314 (in Russian). <https://doi.org/10.17725/rensit.2024.16.307>

34. Yoon W.B., An S., Oyinloye T.M., Kim J. Developing a Quality Control System in a Continuous Hot Air Heating Process in Surimi Seafood Processing Using Image Analysis and Artificial Intelligence. *Processes*. 2023; 11(11): 3187. <https://doi.org/10.3390/pr11113187>
35. Menezes G.L. *et al.* Empowering informed choices: How computer vision can assist consumers in making decisions about meat quality. *Meat Science*. 2025; 219: 109675. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109675>
36. Shahedi Y., Zandi M., Bimakr M. A computer vision system and machine learning algorithms for prediction of physicochemical changes and classification of coated sweet cherry. *Heliyon*. 2024; 10(20): e39484. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39484>
37. Liu X.-Y., Yu J.-R., Deng H.-N. Non-Destructive Prediction of Anthocyanin Content of *Rosa chinensis* Petals Using Digital Images and Machine Learning Algorithms. *Horticulturae*. 2024; 10(5): 503. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050503>
38. Al-Saif A.M., Abdel-Sattar M., Aboukarima A.M., Eshra D.H., Górník K. Physico-Chemical Properties Prediction of Flame Seedless Grape Berries Using an Artificial Neural Network Model. *Foods*. 2022; 11(18): 2766. <https://doi.org/10.3390/foods11182766>
39. Lund D.H., Alban L., Hansen C., Dalsgaard A., Denwood M., Olsen A. Using latent class modelling to evaluate the performance of a computer vision system for pig carcass contamination. *Preventive Veterinary Medicine*. 2025; 241: 106556. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106556>
40. Kang Z., Zhou B., Fei S., Wang N. Predicting the greenhouse crop morphological parameters based on RGB-D Computer Vision. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 11: 100968. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100968>
41. Sunil G.C., Khan A., Horvath D., Sun X. Evaluation of multispectral imaging for freeze damage assessment in strawberries using AI-based computer vision technology. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 10: 100851. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100851>
42. Liao Q. *et al.* Improving traceability and quality control in the red-meat industry through computer vision-driven physical meat feature tracking. *Food Chemistry*. 2025; 480: 143830. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143830>
43. Anjali *et al.* State-of-the-art non-destructive approaches for maturity index determination in fruits and vegetables: principles, applications, and future directions. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2024; 6: 56. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00205-5>

ОБ АВТОРАХ

Оксана Владимировна Зинина¹

доктор технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий
zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

Елена Александровна Вишнякова¹

аспирант
l_vishny@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8557-9239>

Максим Борисович Ребезов²

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

¹ Южно-Уральский государственный университет, пр-т им. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

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

ул. им. Талалихина, 26, Москва, 109316, Россия

34. Yoon W.B., An S., Oyinloye T.M., Kim J. Developing a Quality Control System in a Continuous Hot Air Heating Process in Surimi Seafood Processing Using Image Analysis and Artificial Intelligence. *Processes*. 2023; 11(11): 3187. <https://doi.org/10.3390/pr11113187>

35. Menezes G.L. *et al.* Empowering informed choices: How computer vision can assist consumers in making decisions about meat quality. *Meat Science*. 2025; 219: 109675. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109675>

36. Shahedi Y., Zandi M., Bimakr M. A computer vision system and machine learning algorithms for prediction of physicochemical changes and classification of coated sweet cherry. *Heliyon*. 2024; 10(20): e39484. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39484>

37. Liu X.-Y., Yu J.-R., Deng H.-N. Non-Destructive Prediction of Anthocyanin Content of *Rosa chinensis* Petals Using Digital Images and Machine Learning Algorithms. *Horticulturae*. 2024; 10(5): 503. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050503>

38. Al-Saif A.M., Abdel-Sattar M., Aboukarima A.M., Eshra D.H., Górník K. Physico-Chemical Properties Prediction of Flame Seedless Grape Berries Using an Artificial Neural Network Model. *Foods*. 2022; 11(18): 2766. <https://doi.org/10.3390/foods11182766>

39. Lund D.H., Alban L., Hansen C., Dalsgaard A., Denwood M., Olsen A. Using latent class modelling to evaluate the performance of a computer vision system for pig carcass contamination. *Preventive Veterinary Medicine*. 2025; 241: 106556. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106556>

40. Kang Z., Zhou B., Fei S., Wang N. Predicting the greenhouse crop morphological parameters based on RGB-D Computer Vision. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 11: 100968. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100968>

41. Sunil G.C., Khan A., Horvath D., Sun X. Evaluation of multispectral imaging for freeze damage assessment in strawberries using AI-based computer vision technology. *Smart Agricultural Technology*. 2025; 10: 100851. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100851>

42. Liao Q. *et al.* Improving traceability and quality control in the red-meat industry through computer vision-driven physical meat feature tracking. *Food Chemistry*. 2025; 480: 143830. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143830>

43. Anjali *et al.* State-of-the-art non-destructive approaches for maturity index determination in fruits and vegetables: principles, applications, and future directions. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2024; 6: 56. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00205-5>

ABOUT THE AUTHORS

Oksana Vladimirovna Zinina¹

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology
zininaov@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4817-1645>

Elena Aleksandrovna Vishnyakova¹

Postgraduate
l_vishny@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8557-9239>

Maksim Borisovich Rebezov²

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

¹ South Ural State University, 76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

² All-Russian Research Institute of Confectionery Industry – branch of the V.M. Gorbatoev Federal Scientific Center for Food Systems Russian Academy of Sciences, 26 Talalikhin Str., Moscow, 109316, Russia

Е.В. Казанцев ✉

Н.Б. Кондратьев

М.В. Осипов

А.Е. Баженова

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия

✉ conditerprom_lab@mail.ru

Поступила в редакцию: 27.05.2025

Одобрена после рецензирования: 13.07.2025

Принята к публикации: 28.07.2025

© Казанцев Е.В., Кондратьев Н.Б., Осипов М.В., Баженова А.Е.

Research article



Open access

Egor V. Kazantsev ✉

Nikolay B. Kondratiev

Maxim V. Osipov

Alla E. Bazhenova

All-Russian Research Institute of Confectionery Industry – branch of the Gorbato Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ conditerprom_lab@mail.ru

Received by the editorial office: 27.05.2025

Accepted in revised: 13.07.2025

Accepted for publication: 28.07.2025

© Kazantsev E.V., Kondratiev N.B., Osipov M.V., Bazhenova A.E.

Влияние сухого яичного белка на качество сбивных конфетных масс

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Цель исследований — изучить влияние свойств сухого яичного белка (СЯБ) с повышенной пенообразующей способностью и гелеобразованием на качественные характеристики сбивных конфетных масс, используемых для получения конфет типа суфле.

Задачи исследования: провести качественный анализ образцов белков методом ИК-спектроскопии; определить пенообразующую способность и стойкость пены образцов; изготовить модельные образцы конфет на основе сбивной конфетной массы; оценить структурно-механические характеристики конфет; провести сравнительный анализ органолептических показателей качества образцов.

Объекты исследования — образцы СЯБ различных стран производителей и изготовленные на их основе образцы конфет. Показатели качества образцов, включая пенообразующую способность и стойкость пены, определяли аналитическими и физико-химическими методами. Проведена сравнительная оценка полученных ИК-спектров СЯБ в ИК-области 1700–1600 см⁻¹, характеризующая вторичную структуру белка. Установлена взаимосвязь между pH СЯБ и их пенообразующей способностью. Определены структурно-механические характеристики конфет на основе сбивных конфетных масс, содержащих СЯБ. Цвет поверхности конфет определяли с помощью шкалы CIELab непосредственно после структурообразования массы. Математическая обработка результатов проведена с помощью программы Excel. Комплекс аналитических, физико-химических и структурно-механических методов оценки качества СЯБ и конфет на их основе может быть использован для научного обоснования выбора СЯБ для изготовления кондитерских изделий пенообразной консистенции и повышения их конкурентоспособности.

Результаты работы могут быть использованы в аналитических лабораториях и на предприятиях кондитерской отрасли для повышения качества продукции.

Ключевые слова: сухой яичный белок, качественный анализ, сбивные конфетные массы, структура, прочность, органолептические показатели

Для цитирования: Казанцев Е.В., Кондратьев Н.Б., Осипов М.В., Баженова А.Е. Влияние сухого яичного белка на качество сбивных конфетных масс. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 144–149.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-144-149>

The influence of dry egg white on the quality of whipped candy masses

ABSTRACT

Relevance. The purpose of the research is to study the effect of the properties of dry egg white (SNB) with increased foaming ability and gelation on the qualitative characteristics of whipped candy masses used to produce sweets of the soufflé type.

Research objectives: to conduct a qualitative analysis of protein samples using IR spectroscopy; to determine the foaming capacity and foam stability of the samples; to make model candy samples based on whipped candy mass; to evaluate the structural and mechanical characteristics of the candies; to conduct a comparative analysis of the organoleptic quality indicators of the samples.

The objects of the study are EWP samples from different manufacturing countries and candy samples made on their basis. The quality indicators of the samples, including foaming capacity and foam stability, were determined by analytical and physicochemical methods. A comparative evaluation of the obtained IR spectra of EWP in the IR region of 1700–1600 cm⁻¹, which characterizes the secondary structure of the protein, was carried out. A relationship was established between the pH of EWP and their foaming capacity. Structural and mechanical characteristics of sweets based on whipped candy masses containing EWP were determined. The color of the candy surface was determined using the CIELab scale immediately after the mass structure formation. Mathematical processing of the results was carried out using the Excel program. A set of analytical, physicochemical and structural-mechanical methods for assessing the quality of СЯБ and sweets based on them can be used for scientific substantiation of the choice of EWP for the manufacture of confectionery products of foamy consistency and increasing their competitiveness.

The results of the work can be used in analytical laboratories and confectionery industry enterprises to improve product quality.

Key words: dry egg white, qualitative analysis, whipped candy masses, structure, strength, organoleptic properties

For citation: Kazantsev E.V., Kondratiev N.B., Osipov M.V., Bazhenova A.E. The influence of dry egg white on the quality of whipped candy masses. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 144–149 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-144-149>

Введение/Introduction

Спрос на кондитерскую продукцию с высокими качественными характеристиками со стороны отечественного потребителя постоянно растет. Кондитерские изделия, такие как зефир, нуга, шоколадные батончики с начинкой из сбивной конфетной массы и конфеты, обладают мягкой консистенцией, пенообразной структурой и приятным вкусом [1].

Изготовление сбивной конфетной массы для получения конфет на их основе требует использования различных видов дорогостоящего сырья, такого как какао тертое, какао масло, орехи, молочный жир, яичный белок, с заданными показателями качества. Важнейшим рецептурным компонентом при получении сбивных конфетных масс является СЯБ, ценный химический состав и свойства которого формируют качественные характеристики полуфабрикатов и готовых кондитерских изделий [2–4]. Так, объем взбитой массы, ее плотность и структурно-механические свойства значительно зависят от химического состава и пенообразующей способности СЯБ [5, 6]. При большом многообразии предлагаемых иностранными производителями СЯБ существует проблема обоснования выбора этого сырьевого компонента для обеспечения заданных потребительских характеристик кондитерских изделий на их основе [7, 8]. Поэтому исследования, направленные на обоснование выбора СЯБ для обеспечения качества сбивных полуфабрикатов, включая конфетные массы для кондитерских изделий, особенно актуальны.

Исследования структуры и химического строения СЯБ проводят с использованием современных аналитических методов, таких как масс-спектрометрия, спектроскопия ядерного магнитного резонанса, инфракрасная спектроскопия и др. [9, 10].

Метод ИК-спектроскопии используют для оценки вторичной структуры компонентов в белке путем измерения длины волны и интенсивности поглощения инфракрасного излучения образцом белка. Эффективность метода заключается в высоком разрешении, чувствительности, точности, простоте и скорости работы. При исследовании структуры СЯБ диапазон поглощения ИК-спектра белка при $1700\text{--}1600\text{ см}^{-1}$ (амид I) наиболее чувствителен к прочности образованных водородных связей, поэтому представляет интерес для изучения вторичной структуры белка [11].

В исследовании T. Tang и др. описано моделирование химического состава белков с целью повысить их функциональные и технологические свойства. Пенообразующая способность СЯБ и стабильность пены улучшены с помощью добавления 9% и 12% соевых пептидов, что привело к повышению эластичности пенной пленки [12].

В работе S. Sultana и др. показано влияние температуры агаро-сахаро-паточного сиропа, вносимого при взбивании пенообразной массы на ее структурно-механические характеристики. Массы получали сбиванием СЯБ с агаро-сахаро-паточным сиропом при температуре $60\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Установлено, что повышение температуры сиропа позволило увеличить срок годности конфет [13].

Цель работы — изучить влияние свойств СЯБ с повышенной пенообразующей способностью и гелеобразованием на качественные характеристики сбивных конфетных масс, используемых для получения конфет типа суфле.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проведены в лаборатории ВНИИ КП — филиале ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН в 2025 году.

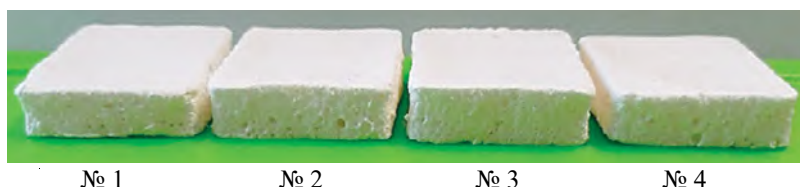
Образцы СЯБ № 1 (Индия), № 2 (Индия) с высокой взбиваемостью, № 3 (Индия) с высокой гелеобразующей способностью и № 4 (РФ) с высокой взбиваемостью. На основе образцов СЯБ, полученных из различных источников с документами, подтверждающими их надлежащее качество, в лабораторных условиях провели моделирование технологического процесса изготовления конфет с корпусами на основе сбивной конфетной массы с максимально возможным соответствием условиям промышленного производства, изготовлены сбивные конфетные массы¹ № 1–4, содержащие сахар белый кристаллический, патоку крахмальную, СЯБ № 1–4, молоко сгущенное, заменитель молочного жира, агар, кислоту лимонную. Образцы конфет, изготовленные на основе сбивных конфетных масс, содержащих различные СЯБ (№ 1–4), представлены на рисунке 1.

Конфетные массы получают сбиванием растворов СЯБ с агаро-сахаро-паточным сиропом в сбивальной машине с планетарным движением венчика.

СЯБ предварительно замачивают в воде с температурой $35\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (на одну часть СЯБ добавляют 5,5 части воды) и дают выстояться 1,5–2 ч. Раствор белка загружают в сбивальную машину и сбивают в течение 15–20 мин. при скорости вращения венчика 300–350 об/мин, вносят агаро-сахаро-паточный сироп с температурой $65\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Рис. 1. Модельные образцы конфет № 1–4 на основе сбивной конфетной массы, содержащей различные СЯБ

Fig. 1. Model samples No. 1–4 (from left to right) of candies based on whipped candy mass containing various EWP



¹ ГОСТ 53041-2008 Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения.

и сбивают до образования однородной массы с массовой долей влаги от 18 до 22%.

Формование конфетных пластов проводят размазкой в прямоугольную форму. Выстаивание проводят в помещении при температуре 20–25 °С в течение 12–16 ч. Происходит процесс желирования массы, на поверхности образуется кристаллическая корочка сахарозы, предохраняющая от прилипания к ножам при резке.

Образцы конфет, изготовленные на основе сбивных конфетных масс, соответствовали требованиям ГОСТ 53041-2008 по органолептическим и физико-химическим показателям.

Показатель pH СЯБ измеряли с использованием ионометрического преобразователя «Аквилон» И-500 (Россия). ИК-спектры водных растворов образцов СЯБ получены с использованием ИК-спектрофотометра IR-Affinity (Shimadzu, Япония).

Пенообразующую способность образцов СЯБ в % рассчитывали по формуле:

$$П = \frac{H_{п2}}{H_{п1}} \times 100\%, \quad (1)$$

где: $H_{п2}$ — высота столба пены (в мм) после 4 мин. сбивания при 150 об/мин миксером Polaris 700 Вт (Китай) и 5 сек выстаивания; $H_{п1}$ — высота столба пены (в мм) после 4 мин. сбивания при 150 об/мин.

Стабильность пены определяли по формуле:

$$C = \frac{H_{п15}}{H_{п2}} \times 100\%, \quad (2)$$

где $H_{п15}$ — высота столба пены (в мм) после 15 мин. выстаивания.

Массовая доля влаги W образцов на основе сбивной массы определена по ГОСТ 5900², активность воды a_w — по ГОСТ ISO 21807³.

Структурно-механические характеристики образцов определяли по усилиям нагружения образцов сбивной массы, характеризующих пластическую прочность конфет при деформации поверхности 3 мм с использованием прибора «Структурометр СТ-2» (Россия) с индентором «Валента» согласно инструкции к прибору.

Плотность образцов сбивной массы ρ (кг/м³) рассчитывали по формуле:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (3)$$

где: m — масса образца, кг; V — объем образца, м³.

Оценка цветового градиента поверхности

конфет проведена по цветовой шкале CIEL*a*b* с использованием колориметра LS173 (Китай). Определение органолептических показателей проводили группой из 7 аттестованных экспертов в соответствии с ГОСТ 5897⁴ и ГОСТ 4570⁵.

Математическая обработка экспериментальных данных проведена с помощью программы Excel 2019 (США). Результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($X_{cp} \pm \Delta$) при доверительной вероятности $p = 0,95$.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Вторичная структура белка оказывает существенное влияние на пенообразную структуру сбивных масс, используемых для изготовления конфет типа суфле.

Для сравнения физико-химических свойств различных партий СЯБ исследованы ИК-спектры 5%-ных водных растворов в средней инфракрасной области (рис. 2).

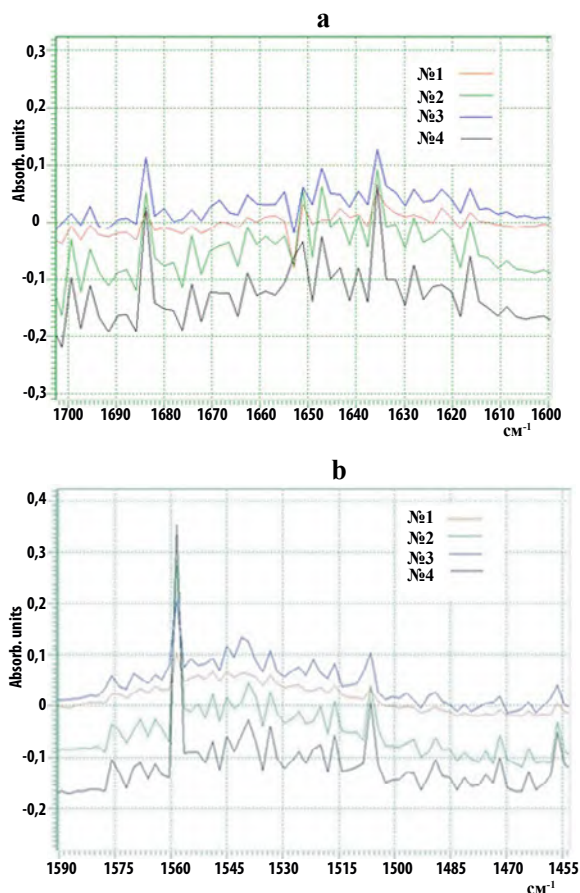
Площади пиков образцов № 4 и № 1 значительно

Рис. 2. Диапазоны ИК-спектров растворов СЯБ:

а — 1700–1600 см⁻¹ (амид I); б — 1590–1455 см⁻¹ (амид II)

Fig. 2. IR spectral ranges EWP solutions:

а — 1700–1600 cm⁻¹ (amide I); б — 1590–1455 cm⁻¹ (amide II)



² ГОСТ 5900-2014 Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли влаги и сухих веществ.

³ ГОСТ ISO 21807-2015 Микробиология пищевой продукции и кормов. Определение активности воды.

⁴ ГОСТ 5897-90 Изделия кондитерские. Методы определения органолептических показателей качества, размеров, массы нетто и составных частей.

⁵ ГОСТ 4570-2014 Конфеты. Общие технические условия.

различались между собой, в то время как интенсивность пиков образцов № 2 и № 3 была сопоставимой в диапазоне 1700–1600 см⁻¹, характерном для поглощения валентных групп атомов –C = O. В этом диапазоне оценивают вторичную структуру белка, включающую конформации α -спиралей, β -складчатого слоя, β -изгибов цепи при 180° и случайных завитков аминокислот [14].

В области 1575–1480 см⁻¹ установлены различия площадей пиков поглощения при 1560 см⁻¹, обусловленные деформационными колебаниями групп –NH и валентными –N–C = O, что подтверждает различия в конформациях молекул исследованных образцов СЯБ и, следовательно, их физико-химических свойствах при получении сбивных конфетных масс.

Полученные данные хорошо коррелируют с результатами работы [15]. Научное обоснование выбора СЯБ на основе метода ИК-спектроскопии требует составления библиотек спектров с предварительной деконволюцией пиков поглощения [16].

Таким образом, использованный в работе метод ИК-спектроскопии позволяет осуществлять выбор образцов СЯБ на стадии входного контроля сырья для формирования заданной пенообразной структуры в процессе изготовления конфет со сбивными корпусами.

Определены физико-химические показатели качества исследованных образцов СЯБ (табл. 1).

Наибольшая пенообразующая способность и стойкость пены образцов СЯБ № 1о и № 2о обусловлены слабокислой средой растворов этих образцов. Низкая пенообразующая способность образца № 3 может быть объяснена высоким рН и увеличенным (на 3,5%) количеством углеводов относительно других образцов.

Проведены исследования физико-химических и структурно-механических показателей качества конфет на основе сбивных масс, содержащих образцы СЯБ, результаты которых представлены в таблице 2.

Массовая доля влаги и активность воды образцов соответствовали требованиям ГОСТ 4570. Наибольшие плотность 1170 кг/м³ и прочность 205 г установлены для образца конфет № 3. Это может быть объяснено не только повышенным количеством углеводов в химическом составе СЯБ, но и значительным изменением его конформации с дальнейшей денатурацией белковых молекул в результате ионизации частично «заглубленных» карбоксильных, фенольных и сульфгидрильных групп, а также гидролиза пептидных связей при щелочных значениях рН.

Исследованы органолептические показатели качества конфет на основе сбивных масс (рис. 3).

Все образцы имели правильную форму с сухой, гладкой, нелипкой, глянцевой поверхностью корпуса. Проведены исследования цвета сбивных конфет в координатах шкалы CIElab. Цвет конфет визуально отличался незначительно, при этом

Таблица 1. Показатели качества образцов СЯБ

Table 1. Quality indicators of EWP samples

Образец	Исследованные показатели			
	рН	массовая доля белка, %	пенообразующая способность, %	стойкость пены, %
№ 1о	5,80 ± 0,01	86,4 ± 4,3	380 ± 9	86 ± 2
№ 2о	6,00 ± 0,01	86,4 ± 4,3	372 ± 9	86 ± 2
№ 3о	7,40 ± 0,01	81,5 ± 4,1	356 ± 8	84 ± 2
№ 4о	6,50 ± 0,01	82,4 ± 4,1	365 ± 8	85 ± 2

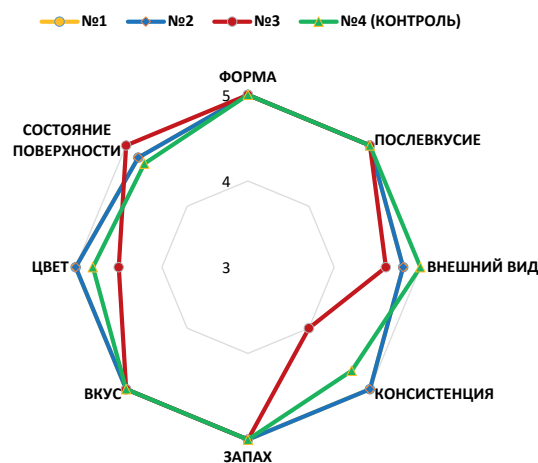
Таблица 2. Показатели качества образцов конфет на основе сбивных масс

Table 2. Quality indicators of candy samples based on whipped masses

Образец	Исследованные показатели			
	W, %	a _w	Плотность, кг/м ³	Прочность, г
№ 1	10,3 ± 0,4	0,760 ± 0,001	1040 ± 52	180,0 ± 3,6
№ 2	10,5 ± 0,4	0,780 ± 0,001	1060 ± 53	195,0 ± 3,9
№ 3	9,6 ± 0,4	0,770 ± 0,001	1170 ± 58	205,0 ± 4,1
№ 4	9,8 ± 0,4	0,760 ± 0,001	930 ± 46	175,0 ± 3,5

Рис. 3. Органолептический профиль образцов конфет на основе сбивных масс

Fig. 3. Organoleptic profile of candy samples based on whipped masses



значение L образца № 3 составило 96,7, что выше на 3 единицы относительно других образцов и, вероятно, обусловлено реакциями меланоидинообразования между молекулами углеводов и аминокислот. Вкус и запах образцов № 1, № 2, № 4 были ясно выражены, свойственны основному составу использованных компонентов и не имели салитого, прогорклого или иного неприятного привкуса и послевкусия.

Образцы конфет № 3 обладали мягкой, слегка затяжистой консистенцией и более плотной пенообразной структурой, обусловленной индивидуальной вторичной структурой белковых молекул используемого СЯБ № 3о, его химическим составом, условиями термической обработки и относительно низкой пенообразующей способностью, что может быть причиной снижения хранимостпособности сбивных конфет на его основе. Наилучшая мелкопористая однородная пенообразная структура и мягкая разламывающаяся консистенция

установлены для образцов № 1 и № 4, что способствует более длительному сроку хранения конфет по причине устойчивости к процессам синерезиса и миграции влаги.

Выводы/Conclusions

Показано, что применение метода ИК-спектроскопии в диапазонах 1700–1600 см⁻¹ и 1575–1480 см⁻¹ средней ИК-области для сравнительного анализа вторичной структуры СЯБ позволяет выявить качественные различия, обуславливающие их индивидуальные физико-химические свойства, и может использоваться на стадии входного контроля рецептурных компонентов для формирования заданной пенообразной структуры в процессе изготовления конфет со сбивными корпусами.

Установлено влияние важнейших

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

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках госзадания, № темы FGUS-2022-0007 «Научные основы формирования кондитерских изделий с заданным нутриентным составом как многофазных гетерогенных дисперсных систем, в том числе с использованием кавитационных воздействий, и обоснование принципов обеспечения их сохранности».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журавлев Р.А., Барашкина Е.В., Джум Т.А., Тамова М.Ю. Использование нетрадиционных рецептурных компонентов для расширения ассортимента пастильных изделий функционального назначения. *Новые технологии*. 2023; 19(4): 80–90. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-80-90>
2. Razi S.M., Fahim H., Amirabadi S., Rashidinejad A. An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocolloids*. 2023; 135: 108183. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108183>
3. Куликов Д.С., Королев А.А. Аспекты ферментативной модификации растительных белков. *Пищевые системы*. 2025; 8(1): 22–28. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-22-28>
4. Sari B.W., Hayuningtyas A., Jitphongsaiikul P., Chherti V., Hamad A. Effects of Emulsifier Type and Ingredient on the Foam Stability of Meringue. *Research in Chemical Engineering*. 2022; 1(2): 64–69. <https://doi.org/10.30595/rice.v1i2.23>
5. Казанцев Е.В., Кондратьев Н.Б., Руденко О.С., Петрова Н.А., Белова И.А. Формирование пенообразной структуры кондитерских изделий. *Пищевые системы*. 2022; 5(1): 64–69. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-64-69>
6. Artamonova M., Piliugina I., Aksonov O. Improvement of the technology of marshmallow with the addition of plant raw materials. *Acta Innovations*. 2023; 48: 38–47. <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.47.3>
7. Herrero-Galindo A., López-Monterrubio D.I., Lobato-Calleros C., Vernon-Carter E.J. Modifying huauzontle protein by heat, ultrasonication and pH shifting: Evaluation of structural/physicochemical/digestibility properties, and effect on emulsion and foam stability. *Applied Food Research*. 2025; 5: 100667. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100667>
8. Kubbutat P., Leitão L., Kulozik U. Stability of Foams in Vacuum Drying Processes. Effects of Interactions between Sugars, Proteins, and Surfactants on Foam Stability and Dried Foam Properties. *Foods*. 2021; 10(8): 1876. <https://doi.org/10.3390/foods10081876>
9. Lechevalier V., Romain J., bdellah Arhaliass A., Legrand J., Nau F. Egg white drying: Influence of industrial processing steps on protein structure and functionalities. *Journal of Food Engineering*. 2007; 83: 404–413. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.033>
10. Kai Sze W., Huda N., Dewi M., Hashim H. Physicochemical Properties of Egg White Powder from Eggs of Different Types of Bird. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*. 2018; 8(2): 384–389. DOI: 10.18517/ijaseit.8.2.4087

физико-химических свойств СЯБ повышенной сбиваемости с различным химическим составом, включая пенообразующую способность, стойкость пены, массовую долю белка, pH, используемых при получении сбивных конфетных масс, на плотность, прочность и органолептические характеристики конфет со сбивными корпусами.

Совместное использование предложенных методов оценки СЯБ и конфет на их основе позволяет повысить качество выпускаемой продукции.

Результаты работы могут быть использованы при обосновании выбора СЯБ, применяемых в качестве пенообразователей для изготовления сбивных конфетных масс и кондитерских изделий пенообразной структуры.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

FUNDING

The research was carried out within the framework of a state assignment, topic No. FGUS-2022-0007 “Scientific foundations for the formation of confectionery products with a given nutrient composition as multiphase heterogeneous dispersed systems, including using cavitation effects, and substantiation of the principles of ensuring their safety”.

REFERENCES

1. Zhuravlev R.A., Barashkina E.V., Dzhum T.A., Tamova M.Yu. The use of non-traditional prescription components to expand the range of functional pastille products. *New Technologies*. 2023; 19(4): 80–90 (in Russian). <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-80-90>
2. Razi S.M., Fahim H., Amirabadi S., Rashidinejad A. An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocolloids*. 2023; 135: 108183. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108183>
3. Kulikov D.S., Korolev A.A. Aspects of enzymatic modification of plant proteins. *Food systems*. 2025; 8(1): 22–28 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-22-28>
4. Sari B.W., Hayuningtyas A., Jitphongsaiikul P., Chherti V., Hamad A. Effects of Emulsifier Type and Ingredient on the Foam Stability of Meringue. *Research in Chemical Engineering*. 2022; 1(2): 64–69. <https://doi.org/10.30595/rice.v1i2.23>
5. Kazantsev E.V., Kondratiev N.B., Rudenko O.S., Petrova N.A., Belova I.A. Formation of a foamy structure of confectionery pastille products. *Food systems*. 2022; 5(1): 64–69 (in Russian). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-64-69>
6. Artamonova M., Piliugina I., Aksonov O. Improvement of the technology of marshmallow with the addition of plant raw materials. *Acta Innovations*. 2023; 48: 38–47. <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.47.3>
7. Herrero-Galindo A., López-Monterrubio D.I., Lobato-Calleros C., Vernon-Carter E.J. Modifying huauzontle protein by heat, ultrasonication and pH shifting: Evaluation of structural/physicochemical/digestibility properties, and effect on emulsion and foam stability. *Applied Food Research*. 2025; 5: 100667. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100667>
8. Kubbutat P., Leitão L., Kulozik U. Stability of Foams in Vacuum Drying Processes. Effects of Interactions between Sugars, Proteins, and Surfactants on Foam Stability and Dried Foam Properties. *Foods*. 2021; 10(8): 1876. <https://doi.org/10.3390/foods10081876>
9. Lechevalier V., Romain J., bdellah Arhaliass A., Legrand J., Nau F. Egg white drying: Influence of industrial processing steps on protein structure and functionalities. *Journal of Food Engineering*. 2007; 83: 404–413. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.03.033>
10. Kai Sze W., Huda N., Dewi M., Hashim H. Physicochemical Properties of Egg White Powder from Eggs of Different Types of Bird. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*. 2018; 8(2): 384–389. DOI: 10.18517/ijaseit.8.2.4087

11. Меликова А.Я. ИК-спектроскопические методы для определения протеинов. *Вестник Башкирского университета*. 2023; 28(1): 87–93.
<https://doi.org/10.33184/bulletin-bsu-2023.1.13>
12. Tang T. *et al.* Effects of soy peptides and pH on foaming and physicochemical properties of egg white powder. *LWT*. 2022; 153: 112503.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112503>
13. Sultana S. *et al.* Impacts of nutritive and bioactive compounds on cancer development and therapy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(28): 9187–9216.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2062699>
14. Ткешелашвили М.Е., Бобохонова Г.А. Обоснование эффективности использования сухого яичного белка повышенной взбиваемости при производстве сбивных конфет. *Пищевая промышленность*. 2018; (3): 23–25.
<https://www.elibrary.ru/yrhsqc>
15. Li D., Zhu Z., Sun D. Visualization of the *in situ* distribution of contents and hydrogen bonding states of cellular level water in apple tissues by confocal Raman microscopy. *Analyst*. 2020; 145(3): 897–907.
<https://doi.org/10.1039/C9AN01743G>
16. Li L., Ren S., Yang H., Liu J., Zhang J. Study of the Molecular Structure of Proteins in Eggs under Different Storage Conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2023; 2023: 4754074.
<https://doi.org/10.1155/2023/4754074>

ОБ АВТОРАХ

Егор Валерьевич Казанцев

научный сотрудник
conditerprom_lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8923-0029>

Николай Борисович Кондратьев

доктор технических наук, главный научный сотрудник
conditerprom_lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

Максим Владимирович Осипов

кандидат технических наук, заведующий отделом
conditerprom_lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1316-259X>

Алла Евгеньевна Баженова

научный сотрудник
a.bazhenova@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6994-8524>

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, ул. Электрозаводская, 20, Москва, 107023, Россия

11. Melikova A.Ya. IR spectroscopic methods for the determination of proteins. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*. 2023; 28(1): 87–93 (in Russian).
<https://doi.org/10.33184/bulletin-bsu-2023.1.13>

12. Tang T. *et al.* Effects of soy peptides and pH on foaming and physicochemical properties of egg white powder. *LWT*. 2022; 153: 112503.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112503>

13. Sultana S. *et al.* Impacts of nutritive and bioactive compounds on cancer development and therapy. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023; 63(28): 9187–9216.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2062699>

14. Tkeshelashvili M.E., Bobozhonova G.A. Substantiation of the efficiency of the use of high whip egg white powder during the production of whipped sweets. *Food processing industry*. 2018; (3): 23–25 (in Russian).
<https://www.elibrary.ru/yrhsqc>

15. Li D., Zhu Z., Sun D. Visualization of the *in situ* distribution of contents and hydrogen bonding states of cellular level water in apple tissues by confocal Raman microscopy. *Analyst*. 2020; 145(3): 897–907.
<https://doi.org/10.1039/C9AN01743G>

16. Li L., Ren S., Yang H., Liu J., Zhang J. Study of the Molecular Structure of Proteins in Eggs under Different Storage Conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2023; 2023: 4754074.
<https://doi.org/10.1155/2023/4754074>

ABOUT THE AUTHORS

Egor Valerievich Kazantsev

Research Associate
conditerprom_lab@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8923-0029>

Nikolay Borisovich Kondratiev

Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher
n.kondratiev@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3322-9621>

Maxim Vladimirovich Osipov

Candidate of Technical Sciences Head of Department
m.osipov@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1316-259X>

Alla Evgenievna Bazhenova

Research Associate
a.bazhenova@fncps.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6994-8524>

All-Russian Research Institute of Confectionery Industry – branch of the Gorbатов Research Center for Food Systems,

20 Elektrozavodskaya Str., Moscow, 107023, Russia

Подпишитесь на печатные выпуски «АГРАРНОЙ НАУКИ» с любого месяца и на любой срок

» В РЕДАКЦИИ по тел. +7 (495) 777-67-67, доб. 1453, по agrovetpress@inbox.ru

» В АГЕНТСТВЕ ПОДПИСКИ
ООО «Урал-Пресс Округ»
<https://www.ural-press.ru/catalog/>

» БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА
НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
на отраслевом портале
<https://agrarnayanauka.ru/rassylka-zhurnala/>

» ПОДПИСКА НА АРХИВНЫЕ НОМЕРА
И ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ
на сайте Научной электронной библиотеки
www.elibrary.ru



УДК: 372.881.161.1

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-150-154

С.Ю. Гуров ✉

Т.Ю. Гурова

Т.В. Насалевич

Т.В. Тарасенко

А.В. Юрченко

Мелитопольский государственный
университет, Мелитополь,
Запорожская обл., Россия

✉ serggurov@mail.ru

Поступила в редакцию: 15.06.2025

Одобрена после рецензирования: 14.07.2025

Принята к публикации: 29.07.2025

© Гуров С.Ю., Гурова Т.Ю., Насалевич Т.В.,
Тарасенко Т.В., Юрченко А.В.

Short communications



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-150-154

Sergey Yu. Gurov ✉

Tatyana Yu. Gurova

Tamara V. Nasalevich

Tatyana V. Tarasenko

Alexander V. Yurchenko

Melitopol State University, Melitopol,
Zaporizhia Region, Russia

✉ serggurov@mail.ru

Received by the editorial office: 15.06.2025

Accepted in revised: 14.07.2025

Accepted for publication: 29.07.2025

© Gurov S.Yu., Gurova T.Yu., Nasalevich T.V.,
Tarasenko T.V., Yurchenko A.V.

Готовность будущих специалистов аграрного профиля к формированию языковой культуры в профессиональной деятельности

РЕЗЮМЕ

Современное аграрное образование сталкивается с необходимостью подготовки высококвалифицированных специалистов, владеющих не только профессиональными компетенциями, но и развитой языковой культурой, необходимой для эффективной коммуникации в мультикультурной профессиональной среде. Исследование направлено на изучение готовности будущих агрономов и специалистов сельского хозяйства к формированию языковой культуры в условиях модернизации аграрного сектора. Проведен комплексный анализ языковой подготовки студентов аграрных университетов, выявлены основные проблемы и противоречия в формировании коммуникативной компетентности будущих специалистов АПК. Эмпирическое исследование включало анкетирование 280 студентов трех аграрных университетов России в 2023 году, использованы методы статистического анализа, контент-анализа и экспертной оценки. Результаты показали, что 67% респондентов демонстрируют средний уровень готовности к языковой деятельности, 23% — высокий уровень, 10% — низкий. Выявлена прямая корреляция ($r = 0,74$) между уровнем языковой подготовки и успешностью профессиональной адаптации выпускников. Установлено, что коммуникативная компетентность специалистов АПК определяется интеграцией мотивационно-ценностного, когнитивно-лингвистического, операционно-деятельностного и рефлексивно-оценочного компонентов. Результаты исследования имеют практическую значимость для совершенствования образовательных программ аграрных вузов и формирования эффективной языковой политики в системе агропромышленного образования.

Ключевые слова: аграрное образование, языковая культура, коммуникативная компетентность, профессиональная подготовка, сельскохозяйственные науки, межкультурная коммуникация

Для цитирования: Гуров С.Ю., Гурова Т.Ю., Насалевич Т.В., Тарасенко Т.В., Юрченко А.В. Готовность будущих специалистов аграрного профиля к формированию языковой культуры в профессиональной деятельности. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 150–154. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-150-154>

Readiness of future agricultural specialists to develop a language culture in their professional activities

ABSTRACT

Modern agricultural education faces the need to train highly qualified specialists who possess not only professional competencies, but also a developed language culture necessary for effective communication in a multicultural professional environment. The study is aimed at studying the readiness of future agronomists and agricultural specialists to develop a language culture in the context of modernization of the agricultural sector. A comprehensive analysis of the language training of students of agricultural universities was carried out, the main problems and contradictions in the formation of communicative competence of future specialists in the agro-industrial complex were identified. The empirical study included a survey of 280 students of three leading agricultural universities in Russia in 2023, using methods of statistical analysis, content analysis and expert assessment. The results showed that 67% of respondents demonstrate an average level of readiness for language activities, 23% — a high level, 10% — a low level. A direct correlation ($r = 0.74$) was found between the level of language training and the success of professional adaptation of graduates. It was established that the communicative competence of specialists in the agro-industrial complex is determined by the integration of motivational-value, cognitive-linguistic, operational-activity and reflexive-evaluative components. The results of the study are of practical importance for improving the educational programs of agricultural universities and forming an effective language policy in the system of agro-industrial education.

Keywords: agricultural education, language culture, communicative competence, professional training, agricultural sciences, intercultural communication

For citation: Gurov S.Yu., Gurova T.Yu., Nasalevich T.V., Tarasenko T.V., Yurchenko A.V. Readiness of future agricultural specialists to develop a language culture in their professional activities. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 150–154 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-150-154>

Введение/Introduction

Языковая компетентность специалистов АПК становится критически важным фактором успешной профессиональной деятельности, особенно в контексте развития экспортного потенциала российского сельского хозяйства и необходимости технологического обмена с зарубежными партнерами [1].

Анализ современных исследований в области профессиональной подготовки кадров для АПК показывает растущее внимание к проблемам формирования коммуникативных компетенций будущих агрономов, зоотехников, ветеринарных врачей и других специалистов сельскохозяйственного профиля. Особую актуальность приобретает изучение готовности студентов аграрных вузов к освоению языковой культуры как неотъемлемого компонента профессиональной деятельности в условиях цифровизации сельского хозяйства и международной кооперации в аграрной сфере [2].

Исследования последних лет демонстрируют противоречие между возрастающими требованиями к языковой подготовке специалистов АПК и недостаточной разработанностью теоретико-методологических основ формирования языковой культуры в системе аграрного образования [3].

Концептуальные подходы к формированию языковой культуры в профессиональном образовании получили развитие в работах ряда отечественных исследователей, однако специфика аграрного профиля обучения остается недостаточно изученной. Современные теории коммуникативной компетентности акцентируют внимание на интегративном характере языковой подготовки, включающей овладение профессиональной терминологией, развитие навыков межкультурного общения и формирование готовности к использованию языка как инструмента профессиональной деятельности [4].

Анализ зарубежного опыта подготовки специалистов для сельского хозяйства показывает высокую эффективность интегрированных программ, сочетающих профессиональное и языковое образование, что подтверждает актуальность исследований в данной области [5]. Терминологический анализ показывает неоднозначность трактовки понятия «языковая культура» в контексте профессионального образования. Коммуникативная компетентность рассматривается как способность эффективно осуществлять профессиональное общение с учетом культурных особенностей партнеров по коммуникации и специфики аграрной деятельности. Готовность к формированию языковой культуры определяется как устойчивое интегративное качество будущего специалиста, характеризующее его мотивационную, когнитивную и деятельностную готовность к освоению и использованию языковых средств в профессиональной сфере.

Анализ современного состояния проблемы выявляет ряд нерешенных вопросов в области

формирования языковой культуры специалистов АПК. Недостаточно изучены психолого-педагогические механизмы формирования готовности студентов аграрных вузов к языковой деятельности, не разработаны критерии и показатели оценки уровня языковой культуры будущих специалистов сельского хозяйства, отсутствует системное представление о структуре и содержании языковой подготовки в контексте современных требований к кадрам АПК [6].

Особую актуальность приобретает исследование влияния региональных факторов на формирование языковой культуры студентов аграрных вузов, а также разработка эффективных педагогических технологий интеграции языкового и профессионального образования в аграрной сфере [7].

Цели исследования — изучить уровень готовности будущих специалистов аграрного профиля к формированию языковой культуры в профессиональной деятельности, выявить структурные компоненты этой готовности и разработать научно-методические основы ее совершенствования в системе аграрного образования.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Методологической основой исследования выступил системно-деятельностный подход к анализу процесса формирования языковой культуры в профессиональном образовании, позволяющий рассматривать готовность студентов аграрных вузов к языковой деятельности как сложную интегративную систему взаимосвязанных компонентов. Комплексный характер исследования потребовал применения методов теоретического анализа научной литературы, эмпирических методов сбора данных и статистических методов обработки результатов.

Выбор методов исследования обусловлен спецификой изучаемого объекта и необходимостью получения объективных данных о состоянии языковой подготовки студентов аграрного профиля в современных условиях. Исследование осуществляли в три этапа с января по декабрь 2023 года. На первом этапе проводили теоретический анализ проблемы формирования языковой культуры в системе профессионального образования, изучали нормативные документы, регламентирующие подготовку кадров для АПК, анализировали образовательные программы аграрных университетов из открытых источников. Второй этап включал разработку диагностического инструментария и проведение эмпирического исследования готовности студентов к формированию языковой культуры. Третий этап предполагал обработку и интерпретацию полученных данных, формулирование выводов и практических рекомендаций.

Эмпирическая база исследования включала студентов трех аграрных университетов России: Российского государственного аграрного

университета — МСХА им. К.А. Тимирязева, Воронежского государственного аграрного университета им. императора Петра I и Алтайского государственного аграрного университета. Общая выборка составила 280 респондентов, обучающихся по направлениям подготовки «Агрономия», «Зоотехния», «Ветеринария», «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции». Выборку формировали по принципу стратифицированного отбора с учетом курса обучения, направления подготовки и региональной принадлежности образовательной организации без уточнения пола респондентов. В исследовании приняли участие студенты 2–4-х курсов бакалавриата (средний возраст 20,3 года), что обусловлено необходимостью изучения готовности к языковой деятельности на этапе активного профессионального становления.

Основным инструментом сбора данных выступила специально разработанная авторами анкета «Готовность к формированию языковой культуры в профессиональной деятельности», включающая 45 вопросов, сгруппированных в четыре блока в соответствии с выделенными компонентами готовности: мотивационно-ценностным, когнитивно-лингвистическим, операционно-деятельностным и рефлексивно-оценочным.

Валидность инструмента обеспечивали экспертной оценкой со стороны специалистов в области аграрного образования и прикладной лингвистики нашего университета, надежность подтверждена расчетом коэффициента альфа Кронбаха ($\alpha = 0,89$). Дополнительно использовали методы включенного наблюдения за учебным процессом, контент-анализа документов и экспертного интервьюирования преподавателей профильных дисциплин.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализ мотивационно-ценностного компонента готовности показал, что подавляющее большинство респондентов (82,5%) осознают важность языковой культуры для успешной профессиональной деятельности в сфере АПК. Однако детальное изучение мотивационных установок выявило существенные различия в понимании роли языковой компетентности среди студентов различных направлений подготовки. Будущие ветеринары демонстрируют наиболее высокий уровень мотивации к освоению языковой культуры (средний балл 4,2 по пятибалльной шкале), что обусловлено пониманием необходимости изучения международной ветеринарной терминологии и участия в научно-исследовательской деятельности. Студенты-агрономы показали средний уровень мотивации (3,8 балла), тогда как будущие зоотехники продемонстрировали наименьшую заинтересованность в языковой подготовке (3,4 балла).

Исследование когнитивно-лингвистического компонента готовности выявило критические

пробелы в теоретических знаниях студентов о сущности языковой культуры и ее роли в профессиональной коммуникации. Только 34% респондентов смогли дать корректное определение понятия «профессиональная языковая культура», при этом 41% студентов не различают понятия «языковая компетентность» и «коммуникативные навыки». Особенно тревожными представляются результаты оценки знаний профессиональной терминологии: среднее количество правильно объясненных терминов составило 12,3 из 25 предложенных, что свидетельствует о недостаточном внимании к терминологической подготовке в рамках изучения профильных дисциплин.

Таблица 1. Распределение респондентов по уровням готовности к формированию языковой культуры
Table 1. Distribution of respondents by levels of readiness for the formation of language culture

Компонент готовности	Высокий уровень, %	Средний уровень, %	Низкий уровень, %
Мотивационно-ценностный	45,7	42,1	12,2
Когнитивно-лингвистический	18,9	56,8	24,3
Операционно-деятельностный	23,2	61,4	15,4
Рефлексивно-оценочный	31,8	52,5	15,7
Интегральный показатель	23,0	67,0	10,0

Операционно-деятельностный компонент готовности характеризуется преобладанием среднего уровня сформированности практических навыков языковой деятельности. Студенты аграрных вузов демонстрируют достаточно высокий уровень владения базовыми коммуникативными навыками (68% респондентов), однако испытывают значительные затруднения при необходимости использования профессиональной терминологии в ситуациях межкультурного общения. Корреляционный анализ выявил сильную положительную связь между уровнем владения иностранным языком и готовностью к профессиональной коммуникации ($r = 0,73$, $p < 0,001$), что подтверждает важность интеграции языковой и профессиональной подготовки в аграрном образовании.

Рефлексивно-оценочный компонент готовности показал наиболее противоречивые результаты. С одной стороны, 68% студентов способны адекватно оценивать собственный уровень языковой культуры и выявлять проблемные зоны в языковой подготовке, с другой — только 29% респондентов демонстрируют способность к самостоятельному планированию и осуществлению деятельности по совершенствованию языковых навыков.

Особую тревогу вызывает тот факт, что лишь 22% будущих специалистов АПК считают необходимым продолжение языкового образования после завершения обучения в вузе. Региональный анализ результатов исследования выявил существенные различия в уровне готовности студентов к формированию языковой культуры. Наиболее высокие показатели демонстрируют студенты

столичного региона (РГАУ — МСХА), что обусловлено более развитой языковой средой и доступностью дополнительных образовательных ресурсов. Студенты региональных аграрных университетов показали средние результаты, однако их мотивация к языковому развитию оказалась выше в связи с пониманием необходимости конкурентоспособности на межрегиональном рынке труда.

Таблица 2. Корреляционные связи между компонентами готовности к формированию языковой культуры

Table 2. Correlation links between the components of readiness for the formation of language culture

Компоненты	1	2	3	4
1. Мотивационно-ценностный	1,00	–	–	–
2. Когнитивно-лингвистический	0,58**	1,00	–	–
3. Операционно-деятельностный	0,61**	0,74**	1,00	–
4. Рефлексивно-оценочный	0,52**	0,67**	0,71**	1,00

Примечание: ** корреляция значима на уровне $p < 0,01$.

Гендерный анализ показал отсутствие статистически значимых различий в общем уровне готовности к формированию языковой культуры между юношами и девушками ($p > 0,05$). Однако выявлены различия в структуре готовности: девушки демонстрируют более высокие показатели по мотивационно-ценностному компоненту (4,1 против 3,7 балла у юношей), тогда как юноши показывают лучшие результаты в операционно-деятельностном компоненте (3,9 против 3,6 балла соответственно).

Выводы/Conclusions

Эмпирическое исследование готовности будущих специалистов аграрного профиля к формированию языковой культуры выявило преобладание среднего уровня готовности у 67% респондентов, при этом только 23% студентов демонстрируют

высокий уровень готовности к языковой деятельности в профессиональной сфере. Установлена прямая корреляционная связь ($r = 0,74$) между уровнем языковой подготовки и последующей профессиональной успешностью выпускников аграрных вузов.

Наиболее проблемным компонентом готовности является когнитивно-лингвистический, характеризующийся недостаточными теоретическими знаниями о сущности языковой культуры и ограниченным владением профессиональной терминологией. Количественные показатели исследования демонстрируют положительную динамику в развитии мотивационного компонента готовности (82,5% студентов осознают важность языковой культуры), однако выявляют критические недостатки в практической подготовке (только 34% респондентов владеют профессиональной терминологией на достаточном уровне).

Региональные различия в готовности к языковой деятельности подчеркивают необходимость дифференцированного подхода к организации языковой подготовки в аграрных вузах различных субъектов Российской Федерации. Общая тенденция развития аграрного образования характеризуется возрастанием требований к языковой компетентности специалистов АПК в контексте интернационализации сельскохозяйственного производства, развития экспортного потенциала российского агропромышленного комплекса и необходимости технологического обмена с зарубежными партнерами. Формирование языковой культуры будущих специалистов аграрного профиля становится стратегическим приоритетом модернизации системы сельскохозяйственного образования и обеспечения конкурентоспособности отечественного АПК на международном уровне.

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. Степанова Э.В. Профессиональная подготовка кадров для АПК региона. *Образование и проблемы развития общества*. 2020; (1): 174–181. <https://www.elibrary.ru/iorqwu>
2. Самарханов Т.Г., Демишкевич Г.М. Пути повышения роли дополнительного аграрного образования в условиях цифровизации и инновационного развития АПК. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2022; (12): 58–64. <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2022-0-12-58-64>
3. Дедова О.Ю. Особенности исследования коммуникативной компетентности педагога в рамках инновационной деятельности. *Нижегородское образование*. 2020; (1): 59–65. <https://www.elibrary.ru/kzbvde>
4. Нарыкова О.Н. Цифровизация как средство межкультурной адаптации студентов и фактор развития диалога культур в контексте профессионального языкового образования. *Ученые записки Курского государственного университета*. 2023; (2): 150–157. <https://www.elibrary.ru/fbrwyb>
5. Брежнева Е.Ю., Золотарева О.И. Необходимость компетентного подхода в образовании для формирования модели востребованных специалистов АПК. *Современные проблемы АПК и их решение. Материалы VII Национальной конференции*. Белгород: Белгородский ГАУ. 2024; 2: 11–16. <https://www.elibrary.ru/bzvjkj>

REFERENCES

1. Stepanova E.V. Professional staff training for the agro-industrial sector of the region. *Образование и проблемы развития общества*. 2020; (1): 174–181 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/iorqwu>
2. Samarkhanov T.G., Demishkevich G.M. Ways to increase the role of additional agricultural education in the conditions of digitalization and innovative development of the agro-industrial complex. *Economy of agricultural and processing enterprises*. 2022; (12): 58–64 (in Russian). <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2022-0-12-58-64>
3. Dedova O.Yu. Features of the study of the pedagogue communicative competence in the framework of innovative activities. *Nizhegorodskoye obrazovaniye*. 2020; (1): 59–65 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/kzbvde>
4. Narykova O.N. Digitalization as a tool of students' multicultural adaptation and a factor of cultural dialogue development within the context of professional language education. *Uchenyye zapiski Kurskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2023; (2): 150–157 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/fbrwyb>
5. Brezhneva E.Yu., Zolotareva O.I. The need for a competency-based approach in education to form a model of in-demand specialists in the agro-industrial complex. *Modern problems of the agro-industrial complex and their solutions. Proceedings of the VII National Conference*. Belgorod: Belgorod State Agricultural University. 2024; 2: 11–16 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/bzvjkj>

6. Тарханова Е.Р. Роль образования в кадровом обеспечении АПК. В фокусе достижений молодежной науки. Материалы ежегодной итоговой научно-практической конференции. Оренбург. 2022; 363–366. <https://www.elibrary.ru/wrjvar>

7. Карпова И.Г., Цыбикова М.Г. Обучение иностранным языкам в дистанционной форме в неязыковом вузе (на примере Бурятской государственной сельскохозяйственной академии). Аграрное образование в условиях модернизации и инновационного развития АПК России. Материалы II Всероссийской (национальной) научно-методической конференции, посвященной 90-летию Бурятской ГСХА. Улан-Удэ: Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова. 2021; 144–148. <https://www.elibrary.ru/dqjfof>

8. Петровская Л.А. Компетентность в общении. Социально-психологический тренинг. М.: МГУ. 1989; 216.

9. Ульяницкая Л.А. Языковая политика и сохранение национальных культур. Информация — Коммуникация — Общество. Труды Всероссийской научной конференции с международным участием. Санкт-Петербург. 2021; 286–291. <https://www.elibrary.ru/vtwsbb>

10. Пушкарёва Л.Г. Проблемы формирования языковой компетенции специалистов в сфере физической культуры и спорта. Вестник Сибирского государственного университета физической культуры и спорта. 2023; (1): 56–61. <https://www.elibrary.ru/mgafyq>

ОБ АВТОРАХ

Сергей Юрьевич Гуров

доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой иностранных языков serggurov@mail.ru

Татьяна Юрьевна Гурова

кандидат педагогических наук, доцент tatianagurova2017@mail.ru

Тамара Васильевна Насалевич

кандидат филологических наук, доцент nasalevich.73@mail.ru

Татьяна Владимировна Тарасенко

кандидат педагогических наук, доцент tanyta3003@mail.ru

Александр Витальевич Юрченко

кандидат филологических наук, доцент docent-1981@mail.ru

Мелитопольский государственный университет, пр-т им. Богдана Хмельницкого, 18, Мелитополь, Запорожская обл., 727312, Россия

6. Tarkhanova E.R. The role of education in providing the agro-industrial complex with personnel. In focus on the achievements of youth science. *Proceedings of the annual final scientific and practical conference*. Orenburg. 2022; 363–366 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wrjvar>

7. Karpova I.G., Tsybykova M.G. Teaching foreign languages with the usage of the distance form of education in the nonlinguistic school of higher education (using the Buryat State Academy of Agriculture as an example). *Agricultural education in the context of modernization and innovative development of the Russian agro-industrial complex. Proceedings of the II All-Russian (national) Scientific and Methodological Conference dedicated to the 90th anniversary of the Buryat State Agricultural Academy*. Ulan-Ude: Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov. 2021; 144–148 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/dqjfof>

8. Petrovskaya L.A. Communication competence. Social and psychological training. Moscow: *Moscow State University*. 1989; 216 (in Russian).

9. Ulyanitskaya L.A. Language policy and preservation of national cultures. *Information — Communication — Society. Proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation*. St. Petersburg. 2021; 286–291 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vtwsbb>

10. Pushkareva L.G. Problems of forming the language competence of specialists in the field of physical education and sport. *Bulletin of the Siberian State University of Physical Education and Sports*. 2023; (1): 56–61 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mgafyq>

ABOUT THE AUTHORS

Sergey Yuryevich Gurov

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Head of the Department of Foreign Languages serggurov@mail.ru

Tatiana Yuryevna Gurova

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor tatianagurova2017@mail.ru

Tamara Vasilyevna Nasalevich

Candidate of Philological Sciences, Associate Professor nasalevich.73@mail.ru

Tatiana Vladimirovna Tarasenko

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor tanyta3003@mail.ru

Alexander Vitalievich Yurchenko

Candidate of Philological Sciences, Associate Professor docent-1981@mail.ru

Melitopol State University, 18 Bohdan Khmelnytsky Ave., Melitopol, Zaporizhia Region, 727312, Russia

УДК 631.1:004.9

Краткое сообщение



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-155-159

П.И. Чувахин

Финансовый университет при
Правительстве Российской
Федерации, Москва, Россия

✉ Chuvakhin.petr@yandex.ru

Поступила в редакцию: 01.06.2025

Одобрена после рецензирования: 14.07.2025

Принята к публикации: 29.07.2025

© Чувахин П.И.

Short communications



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2025-397-08-155-159

Peter I. Chuvakhin

Financial University under the
Government of the Russian Federation,
Moscow, Russia

✉ Chuvakhin.petr@yandex.ru

Received by the editorial office: 01.06.2025

Accepted in revised: 14.07.2025

Accepted for publication: 29.07.2025

© Chuvakhin P.I.

Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: экономическая эффективность внедрения информационных технологий

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Цифровая трансформация российского АПК является ключевым фактором повышения конкурентоспособности и экономической эффективности сельскохозяйственного производства в условиях импортозамещения. Современные вызовы продовольственной безопасности требуют научного обоснования экономических эффектов от внедрения информационных технологий в аграрном секторе.

Цель исследования заключается в определении экономической эффективности внедрения цифровых технологий в сельском хозяйстве РФ и выявлении приоритетных направлений цифровизации.

Методы. Методологическую основу составили экономико-математическое моделирование, корреляционный и регрессионный анализ данных 450 предприятий АПК различных форм собственности за 2022–2024 гг.

Результаты. Результаты показали, что цифровизация обеспечивает рост производительности труда на 24,8%, снижение операционных издержек на 18,6%, увеличение рентабельности производства на 16,9%. Коэффициент корреляции между уровнем цифровизации и экономическими показателями составляет $r = 0,776$. Наибольший экономический эффект дают технологии точного земледелия (окупаемость 2,7 года) и автоматизированные системы управления животноводством (3,2 года).

Теоретическая значимость работы состоит в разработке методологии комплексной оценки эффективности цифровой трансформации АПК.

Практическая ценность заключается в обосновании приоритетных направлений государственной поддержки и инвестирования в цифровые технологии для различных типов сельхозпредприятий.

Ключевые слова: цифровая трансформация, агропромышленный комплекс, экономическая эффективность, информационные технологии, точное земледелие, автоматизация производства, продуктивность

Для цитирования: Чувахин П.И. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: экономическая эффективность внедрения информационных технологий. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 155–159.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-155-159>

Digital transformation of the agro-industrial complex: economic efficiency of introducing information technologies

ABSTRACT

Relevance. The digital transformation of the Russian agro-industrial complex is a key factor in increasing the competitiveness and economic efficiency of agricultural production in the context of import substitution. Modern challenges to food security require scientific substantiation of the economic effects of introducing information technologies in the agricultural sector.

The purpose of the study is to determine the economic efficiency of introducing digital technologies in Russian agriculture and identifying priority areas of digitalization.

Methods. The methodological basis was economic and mathematical modeling, correlation and regression analysis of data from 450 agro-industrial enterprises of various types of ownership for the period 2022–2024.

Results. The results showed that digitalization provides an increase in labor productivity by 24.8%, a decrease in operating costs by 18.6%, an increase in production profitability by 16.9%. The correlation coefficient between the level of digitalization and economic indicators is $r = 0.776$. The greatest economic effect is provided by precision farming technologies (payback period of 2.7 years) and automated livestock management systems (3.2 years).

The theoretical significance of the work lies in the development of a methodology for a comprehensive assessment of the effectiveness of digital transformation of the agro-industrial complex.

The practical value lies in substantiating priority areas of state support and investment in digital technologies for various types of agricultural enterprises.

Key words: digital transformation, agro-industrial complex, economic efficiency, information technology, precision farming, automation of production, productivity

For citation: Chuvakhin P.I. Digital transformation of the agro-industrial complex: economic efficiency of introducing information technologies. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 155–159 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-155-159>

Введение/Introduction

Цифровая трансформация агропромышленного комплекса России представляет собой стратегический приоритет развития отрасли в условиях необходимости обеспечения продовольственной безопасности и импортозамещения [1].

К концу 2024 года доля предприятий АПК с высоким уровнем цифровизации достигла 32,4% против 16,8% в 2022-м, что свидетельствует об ускорении процессов технологической модернизации. Современные информационные технологии кардинально изменяют структуру и методы ведения сельскохозяйственного производства, обеспечивая переход от традиционных к высокотехнологичным системам земледелия и животноводства.

Анализ зарубежного опыта цифровизации сельского хозяйства показывает значительный потенциал современных технологических решений для повышения конкурентоспособности аграрного производства [2]. В странах Европейского союза внедрение систем точного земледелия обеспечивает рост урожайности основных культур на 18–28% при одновременном сокращении расхода минеральных удобрений на 12–22%.

Опыт Германии и Нидерландов демонстрирует эффективность комплексного подхода к цифровизации, включающего автоматизацию технологических процессов, системы мониторинга состояния посевов и животных, интеллектуальные системы управления. Российская специфика цифровой трансформации АПК характеризуется существенной дифференциацией технологического развития предприятий различных форм собственности и масштабов деятельности.

Крупные агрохолдинги демонстрируют активное внедрение передовых цифровых решений, в то время как малые и средние хозяйства зачастую ограничены в доступе к современным технологиям из-за высокой стоимости оборудования и недостатка квалифицированных кадров. Цифровая трансформация АПК включает комплексное внедрение систем точного земледелия, автоматизированного управления сельскохозяйственной техникой, геоинформационных технологий мониторинга земельных ресурсов, роботизированных комплексов в животноводстве и интеллектуальных систем управления производством [3].

Экономическая эффективность цифровизации определяется соотношением получаемых экономических результатов к совокупным затратам на приобретение, внедрение и эксплуатацию цифровых технологий в расчете на полный жизненный цикл. Ключевыми показателями эффективности выступают производительность труда, рентабельность производства, фондоотдача, сроки окупаемости инвестиций в цифровые решения.

Цель исследования заключается в определении экономической эффективности внедрения цифровых технологий в сельском хозяйстве РФ и выявлении приоритетных направлений цифровизации.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Методологическую основу исследования составляет системный подход к анализу экономической эффективности цифровой трансформации агропромышленного комплекса, предполагающий комплексное изучение взаимосвязей между технологическими, экономическими и организационными аспектами внедрения информационных технологий. Выбор системного подхода обусловлен сложностью и многофакторностью процессов цифровизации АПК, требующих учета синергетических эффектов от одновременного внедрения различных типов цифровых решений.

Эмпирическая база исследования сформирована на основе данных 450 сельскохозяйственных предприятий различных организационно-правовых форм, расположенных в 16 субъектах Российской Федерации за 2022–2024 гг. (Московская область, Воронежская область, Алтайский край, Краснодарский край, Ростовская область, Белгородская область, Курская область, Тамбовская область, Липецкая область, Орловская область, Саратовская область, Волгоградская область, Омская область, Новосибирская область, Республика Башкортостан, Республика Татарстан). Выборка структурирована по размерам деятельности: 142 крупных предприятия (свыше 10 тыс. га сельскохозяйственных угодий), 198 средних хозяйств (от 1000 до 10 тыс. га) и 110 малых форм хозяйствования (до 1000 га).

Критериями включения в выборку служили ведение производственной деятельности в сфере растениеводства и животноводства, наличие достоверной финансовой отчетности, согласие руководства на участие в исследовании. Для обеспечения репрезентативности выборка экспертов ($n = 25$) формируется с учетом их профессионального бэкграунда (представители бизнеса, науки, органов власти)¹. Источником данных выступила: официальная финансовая отчетность компаний (данные системы СПАРК²).

Методология структурированного анкетирования разработана на основе подходов Ядова В.А.³ и адаптирована для исследования языковой компетентности согласно методике Девятко И.Ф.⁴ Сбор первичных данных осуществляли методом структурированного анкетирования руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий с использованием анкеты из 96 вопросов по направлениям: техническое оснащение и

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].

² <https://spark-interfax.ru/>

³ Ядов В.А. Стратегия социологического исследования. Описание, объяснение, понимание социальной реальности / В.А. Ядов. — 3-е изд., испр. — Москва: Омега-Л, 2007. — 567 с. Источник: <https://www.isras.ru/publ.html?id=585>

⁴ Девятко И. Ф. Методы социологического исследования. — Екатеринбург: Изд-во Урал, унта, 1998. — 208 с.

материально-техническая база, уровень внедрения цифровых технологий, экономические результаты деятельности, планы развития цифровизации. Дополнительно проведены углубленные полуструктурированные интервью с 48 руководителями наиболее успешных в области цифровизации предприятий для выявления качественных факторов, определяющих эффективность внедрения информационных технологий. Вторичные данные включали официальную финансовую отчетность предприятий, статистические данные о развитии АПК регионов, информацию о мерах государственной поддержки цифровизации сельского хозяйства.

Результаты и обсуждения / Results and discussion

Комплексный анализ эмпирических данных выявил значительную дифференциацию уровня цифровой трансформации сельскохозяйственных предприятий в зависимости от их размера, отраслевой специализации и региональной принадлежности [4]. Высокий уровень цифровизации (более 70% технологических процессов охвачены автоматизированными системами) демонстрируют 26,8% крупных предприятий, 11,1% средних и только 4,5% малых форм хозяйствования. Средний уровень цифровизации (40–70% процессов) характерен для 49,3% крупных, 35,4% средних и 18,2% малых предприятий соответственно. Данные различия объясняют не только финансовыми возможностями предприятий, но и различиями в организационной культуре, квалификации персонала и стратегических приоритетах развития.

Анализ структуры инвестиций в цифровые технологии показал, что наибольшую долю составляют затраты на приобретение программно-аппаратного обеспечения (42,6% от общих инвестиций), обучение персонала (25,8%), консультационные услуги по внедрению систем (19,4%) и техническую поддержку (12,2%). При этом предприятия с высоким уровнем цифровизации характеризуются более сбалансированной структурой инвестиций, уделяя значительное внимание развитию человеческого капитала и организационным изменениям.

Таблица 1. Экономические эффекты цифровизации по категориям предприятий (данные 2024 г.)

Table 1. Economic effects of digitalization by category of enterprises (data from 2024)

Показатель	Крупные предприятия	Средние предприятия	Малые предприятия
Рост производительности труда, %	29,6	23,2	16,7
Снижение операционных затрат, %	21,8	17,4	13,1
Увеличение рентабельности, %	19,7	15,8	11,2
Срок окупаемости инвестиций, лет	2,2	2,9	3,8

Корреляционно-регрессионный анализ подтвердил наличие статистически значимой положительной связи между уровнем цифровизации предприятий и их экономическими показателями. Коэффициент множественной корреляции составил $r = 0,776$ ($p < 0,001$), что свидетельствует о сильной взаимосвязи между исследуемыми переменными. Построенная регрессионная модель объясняет 60,2% вариации производительности труда на основе показателей цифровизации, размера предприятий и отраслевой специализации.

Наиболее значимые экономические эффекты получены от внедрения технологий точного земледелия, включающих системы GPS-навигации сельскохозяйственной техники, дифференцированного внесения удобрений и автоматического контроля качества полевых работ. Предприятия, использующие комплексные решения точного земледелия, продемонстрировали рост урожайности основных культур на 21,3% при одновременном снижении затрат на семена на 13,7% и минеральные удобрения на 16,8%. Экономический эффект от внедрения составил в среднем 9200 рублей на 1 га при инвестиционных затратах 34,8 тыс. рублей на 1 га, что обеспечивает окупаемость инвестиций в течение 3,8 лет.

Таблица 2. Эффективность различных направлений цифровизации АПК (данные 2024 г.)

Table 2. The effectiveness of various directions of digitalization of the agro-industrial complex (data for 2024)

Направление цифровизации	Рост продуктивности, %	Снижение затрат, %	Срок окупаемости, лет
Точное земледелие	21,3	15,2	2,7
Автоматизация животноводства	18,6	19,8	3,2
Мониторинг техники	13,4	24,7	2,4
Управление складами	10,8	27,3	3,1

В секторе животноводства наибольшую эффективность продемонстрировали автоматизированные системы управления стадом, включающие электронную идентификацию животных, автоматические системы кормления и доения, мониторинг состояния здоровья скота [5, 6]. Внедрение комплексных цифровых решений в молочном скотоводстве обеспечило увеличение надоев на 18,6% при снижении расхода кормов на единицу продукции на 12,9% и сокращении затрат труда на 26,4%.

Средний срок окупаемости инвестиций в автоматизацию молочных ферм составил 3,2 года при инвестиционных затратах от 210 тыс. рублей до 480 тыс. рублей на ското-место в зависимости от уровня технологического оснащения. Особенно высокую эффективность продемонстрировали системы мониторинга и управления сельскохозяйственной техникой, обеспечивающие оперативный контроль расхода топлива, планирование

оптимальных маршрутов движения, мониторинг технического состояния машин и агрегатов. Данные системы характеризуются относительно низкими инвестиционными затратами (в среднем 52–87 тыс. рублей на единицу техники) и быстрой окупаемостью (2,4 года) за счет существенного снижения эксплуатационных расходов на 24,7%.

Региональный анализ выявил значительные различия в темпах и эффективности цифровой трансформации АПК. Наиболее высокие показатели цифровизации характерны для предприятий Центрального (44,8% предприятий с высоким уровнем цифровизации) и Южного (41,2%) федеральных округов, что объясняется близостью к крупным научным центрам, развитой информационной инфраструктурой и более активной государственной поддержкой инновационных проектов.

Предприятия Сибирского (24,3%) и Дальневосточного (19,8%) федеральных округов демонстрируют более медленные темпы цифровизации, но при этом характеризуются высокой эффективностью внедряемых решений за счет более селективного подхода к выбору приоритетных направлений автоматизации. Прогнозные расчеты показывают, что при сохранении текущих темпов цифровой трансформации к 2030 году доля предприятий АПК с высоким уровнем цифровизации может составить 48–54%, что обеспечит рост производительности труда в отрасли на 36–41% и снижение ресурсоемкости производства на 26–31%. Достижение данных показателей потребует совокупных инвестиций в цифровизацию АПК в объеме 2,6–3,1 трлн рублей в период до 2030 года при условии сохранения государственной поддержки инновационных проектов.

Полученные результаты расширяют теоретические представления о механизмах воздействия цифровых технологий на экономическую эффективность АПК и подтверждают применимость современных концепций технологического развития к анализу инновационных процессов в сельском хозяйстве [7–10].

Выводы/Conclusions

Исследование подтвердило высокую экономическую эффективность цифровой трансформации агропромышленного комплекса России в современных условиях. Внедрение современных информационных технологий обеспечивает значительный рост производительности труда на 24,8%, снижение операционных издержек на 18,6% и увеличение рентабельности производства на 16,9% при среднем сроке окупаемости инвестиций 2,9 года.

Наиболее эффективными направлениями цифровизации определены технологии точного земледелия, автоматизированные системы управления поголовьем в животноводстве и технологии мониторинга сельскохозяйственной техники. Установлена прямая корреляционная связь между уровнем цифровизации предприятий и их экономическими показателями ($r = 0,776$), что подтверждает научную гипотезу о позитивном воздействии информационных технологий на эффективность сельскохозяйственного производства. Выявлена значительная дифференциация экономических эффектов в зависимости от размера предприятий: крупные организации демонстрируют более высокую отдачу от инвестиций в цифровизацию благодаря эффекту масштаба и лучшим возможностям для системной модернизации.

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. Вартанова М.Л., Дробот Е.В. Перспективы цифровизации сельского хозяйства как приоритетного направления импортозамещения. *Экономические отношения*. 2018; 8(1): 1–18. <https://doi.org/10.18334/eo.8.1.38881>
2. Скворцов Е.А., Скворцова Е.Г., Санду И.С., Иовлев Г.А. Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям. *Экономика региона*. 2018; 14(3): 1014–1028. <https://doi.org/10.17059/2018-3-23>
3. Бутырин В.В., Бутырина Ю.А. Использование геоинформационных технологий в управлении региональным агрокомплексом. *Аграрный научный журнал*. 2016; (4): 75–78. <https://www.elibrary.ru/vvzhhn>
4. Власов С.Д. Зарубежный опыт и проблемы инновационного развития сельского хозяйства России. *Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета*. 2014; (2): 124–127. <https://www.elibrary.ru/thhhnb>
5. Огневцев С.Б. Концепция цифровой платформы агропромышленного комплекса. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2018; (2): 16–22. <https://www.elibrary.ru/yveznm>
6. Меденников В.И., Горбачев М.И., Муратова Л.Г., Сальников С.Г. Концепция развития информатизации АПК при переходе к цифровой экономике. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2017; (5): 49–53. <https://www.elibrary.ru/ziovx>

REFERENCES

1. Vartanova M.L., Drobot E.V. Prospects for digitalization of agriculture as a priority direction of import substitution. *Journal of International Economic Affairs*. 2018; 8(1): 1–18 (in Russian). <https://doi.org/10.18334/eo.8.1.38881>
2. Skvortsov E.A., Skvortsova E.G., Sandu I.S., Iovlev G.A. Transition of Agriculture to Digital, Intellectual and Robotics. *Economy of Region*. 2018; 14(3): 1014–1028 (in Russian). <https://doi.org/10.17059/2018-3-23>
3. Butyrin V.V., Butyrina Yu.A. Use of geoinformation technologies in the management of regional agrocomplex. *Agrarian scientific journal*. 2016; (4): 75–78 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vvzhhn>
4. Vlasov S.D. Foreign experience and problems of innovative agriculture development in Russia. *Vestnik Saratov State Socio-Economic University*. 2014; (2): 124–127 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/thhhnb>
5. Ognitsev S.B. The conception of the digital platform of the agricultural complex. *International agricultural journal*. 2018; (2): 16–22 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yveznm>
6. Medennikov V.I., Gorbachev M.I., Muratova L.G., Salnikov S.G. The concept of development of informatization of the agro-industrial complex at the transition to the digital economy. *International agricultural journal*. 2017; (5): 49–53 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ziovx>

7. Санду И.С., Полухин А.А., Бурак П.И. Технико-технологическая модернизация АПК Орловской области — приоритет развития. *Экономика сельского хозяйства России*. 2016; (8): 9–12. <https://www.elibrary.ru/wkgqlj>

8. Щербина Т.А. Цифровая трансформация сельского хозяйства РФ: опыт и перспективы. *Россия: тенденции и перспективы развития*. М.: Институт научной информации по общественным наукам РАН. 2019; 14(1): 450–453. <https://www.elibrary.ru/ugbyzt>

9. Юрина Н.Н. Направления цифровизации сельского хозяйства России. *Вестник Института экономики и управления НовГУ*. 2018; (2): 92–97. <https://www.elibrary.ru/yvqpit>

10. Пецух Н.И. Информационный капитал как составляющая организационно-экономического потенциала развития сельских территорий. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015; (3): 163–169. <https://www.elibrary.ru/tnhfcx>

7. Sandu I.S., Polukhin A.A., Burak P.I. Technical and technological modernization of agrarian and industrial complex of the Oryol region is a priority of development. *Economics of Agriculture of Russia*. 2016; (8): 9–12 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wkgqlj>

8. Shcherbina T.A. Digital transformation of agriculture in the Russian Federation: experience and prospects. *Russia: Trends and Development Prospects*. Moscow: Institute of Scientific Information on Social Sciences of the Russian Academy of Sciences. 2019; 14(1): 450–453 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ugbyzt>

9. Yurina N.N. Directions of digitalization of Russian agriculture. *Vestnik Instituta ekonomiki i upravleniya NovGU*. 2018; (2): 92–97 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yvqpit>

10. Petsukh N.I. Information capital as a part of the organizational and economic potential of rural area development. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015; (3): 163–169 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tnhfcx>

ОБ АВТОРАХ

Пётр Игоревич Чувахин

кандидат юридических наук, старший преподаватель
Chuvakhin.petr@yandex.ru

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
пр-т Ленинградский, 49/2, Москва, 125167, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Peter Igorevich Chuvakhin

Candidate of Law, Senior Lecturer
Chuvakhin.petr@yandex.ru

Financial University under the Government of the Russian Federation,
49/2 Leningradsky Ave., Moscow, 125167, 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

О.Т. Ергунова

А.Г. Сомов ✉

А.А. Седякина

А.А. Иващенко

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого (национальный
исследовательский университет),
Санкт-Петербург, Россия

✉ somovspb@yandex.ru

Поступила в редакцию: 20.06.2025

Одобрена после рецензирования: 14.07.2025

Принята к публикации: 29.07.2025

© Ергунова О.Т., Сомов А.Г., Седякина А.А.,
Иващенко А.А.

Olga T. Ergunova

Andrey G. Somov ✉

Anna A. Sedyakina

Artyom A. Ivashchenko

Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University, St. Petersburg,
Russia

✉ somovspb@yandex.ru

Received by the editorial office: 20.06.2025

Accepted in revised: 14.07.2025

Accepted for publication: 29.07.2025

© Ergunova O.T., Somov A.G., Sedyakina A.A.,
Ivashchenko A.A.

Искусственный интеллект в управлении кадрами агропромышленного комплекса: нейросетевая методика динамического сопоставления требований работодателя и компетенций специалистов

РЕЗЮМЕ

Цифровая трансформация агропромышленного комплекса формирует новые требования к управлению кадрами, создавая острую потребность в интеллектуальных инструментах подбора персонала. Исследование направлено на разработку нейросетевой модели для автоматизированного сопоставления компетенций специалистов АПК с требованиями работодателей. Методологическая база включает анализ данных Росстата и Минсельхоза за 2020–2024 годы, анкетирование 847 специалистов АПК, экспертные интервью с 38 руководителями агропредприятий, применение методов машинного обучения. Результаты показали рост спроса на цифровые компетенции на 52% за 2020–2024 годы, дефицит специалистов по точному земледелию составляет 34%. Разработанная нейросетевая модель демонстрирует точность сопоставления 87%, превышая традиционные методы на 31%. Выявлена корреляция между уровнем цифровизации предприятий и трансформацией кадровых потребностей ($r = 0.78$). Система снижает время обработки резюме с 45 до 2,8 минуты, обеспечивает прогнозирование кадровых потребностей с точностью 82%.

Ключевые слова: искусственный интеллект, агропромышленный комплекс, управление персоналом, нейронные сети, цифровизация сельского хозяйства, кадровое планирование

Для цитирования: Ергунова О.Т., Сомов А.Г., Седякина А.А., Иващенко А.А. Искусственный интеллект в управлении кадрами агропромышленного комплекса: нейросетевая методика динамического сопоставления требований работодателя и компетенций специалистов. *Аграрная наука*. 2025; 397(08): 160–163.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-160-163>

Artificial intelligence in human resources management in the agro-industrial complex: a neural network method of dynamic comparison of employer requirements and specialist competencies

ABSTRACT

The digital transformation of the agro-industrial complex creates new requirements for human resources management, creating an urgent need for intelligent personnel selection tools. The study is aimed at developing a neural network model for automated comparison of the competencies of agricultural specialists with employers' requirements. The methodological base includes analysis of Rosstat and the Ministry of Agriculture data for 2020–2024, a survey of 847 agricultural specialists, expert interviews with 38 heads of agricultural enterprises, and the use of machine learning methods. The results showed a 52% increase in demand for digital competencies over the period 2020–2024, the shortage of precision farming specialists is 34%. The developed neural network model demonstrates a matching accuracy of 87%, exceeding traditional methods by 31%. A correlation was found between the level of digitalization of enterprises and the transformation of personnel needs ($r = 0.78$). The system reduces the resume processing time from 45 to 2.8 minutes, provides forecasting of personnel needs with an accuracy of 82%.

Key words: artificial intelligence, agro-industrial complex, personnel management, neural networks, digitalization of agriculture, personnel planning

For citation: Ergunova O.T., Somov A.G., Sedyakina A.A., Ivashchenko A.A. Artificial intelligence in human resources management in the agro-industrial complex: a neural network method of dynamic comparison of employer requirements and specialist competencies. *Agrarian science*. 2025; 397(08): 160–163 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-397-08-160-163>

Введение/Introduction

Стремительная цифровизация агропромышленного комплекса в условиях технологических трансформаций формирует принципиально новые требования к системе управления кадрами отрасли [1]. Внедрение технологий точного земледелия, роботизированных систем и интернета вещей радикально изменяет структуру профессиональных компетенций, создавая дефицит специалистов, способных эффективно функционировать в цифровой агроэкосистеме. Современные исследования подчеркивают критическую важность человеческого фактора для успешной цифровой трансформации сельского хозяйства [2].

Страны с развитыми системами аграрного образования демонстрируют более высокие темпы внедрения цифровых технологий и роста производительности в АПК. Ключевым барьером выступает дефицит специалистов, обладающих комплексом технических, аналитических и управленческих компетенций [3].

В научной литературе активно развивается концепция применения искусственного интеллекта для оптимизации управления персоналом. Исследования демонстрируют потенциал машинного обучения для автоматизации скрининга резюме, оценки компетенций, прогнозирования успешности трудоустройства [4]. Однако применительно к АПК подобные разработки носят фрагментарный характер и не учитывают специфику отрасли: сезонность производства, территориальную распределенность, многоукладность экономики [5].

Анализ существующих подходов выявляет принципиальные ограничения их применимости в агропромышленном контексте. Большинство решений ориентированы на офисные профессии, не учитывают специфику производственных процессов, требования к физической подготовке, необходимость совмещения технических и биологических знаний [6]. Терминологический анализ показывает отсутствие единого понимания цифровых компетенций для аграрных специалистов, что затрудняет создание унифицированных систем оценки персонала [7].

Критический анализ выделяет ключевые проблемы: недостаточно изучены факторы эффективности применения ИИ-технологий в кадровом менеджменте агропредприятий; отсутствуют валидированные модели оценки цифровых компетенций аграрных специалистов; не разработаны методики адаптации машинного обучения к прогнозированию кадровых потребностей в условиях сезонности производства. Особенность исследования заключается в разработке специализированной нейросетевой архитектуры, адаптированной к особенностям АПК и учитывающей многомерность агротехнологических компетенций.

Цели исследования — разработать и апробировать нейросетевую модель динамического сопоставления компетенций специалистов АПК с требованиями работодателей, оценить ее эффективность в сравнении с традиционными методами подбора кадров и выявить факторы успешного внедрения ИИ-технологий в HR-практику агропредприятий.

Материалы и методы исследований / Materials and methods

Исследование реализовывали в четыре этапа в 2021–2024 годах: анализ статистических данных Росстата¹ и Минсельхоза² из открытых источников интернета; массовый опрос специалистов АПК без учета пола; экспертные интервью с руководителями агропредприятий; разработка и валидация нейросетевой модели.

Методологическая основа базируется на интегративном подходе, сочетающем количественные и качественные методы с применением технологий машинного обучения. Эмпирическая база включала стратифицированную выборку 847 специалистов из 12 регионов России, представляющих различные природно-климатические зоны: Центральный федеральный округ (Московская, Воронежская, Белгородская, Курская области), Южный федеральный округ (Краснодарский край, Ростовская область), Приволжский федеральный округ (Саратовская область, Республики Башкортостан и Татарстан), Сибирский федеральный округ (Алтайский край, Омская, Новосибирская области). Критерии включения: аграрное образование, стаж работы не менее трех лет, участие в технологической модернизации. Структура: 34% агрономов и зоотехников, 28% инженеров, 22% технологов, 16% специалистов агрологистики.

Дополнительно сформирована выборка 38 руководителей агропредприятий различных форм собственности. Инструментарий включал структурированную анкету из 73 вопросов, специализированную шкалу цифровых компетенций (24 индикатора, α Кронбаха = 0,87), полуструктурированные интервью продолжительностью 45–60 минут. Валидность обеспечивалась конформаторным факторным анализом, репрезентативность контролировали сравнением с официальной статистикой. Комплексный анализ включал: факторный анализ методом главных компонент (метод вращения Varimax) для выделения латентных факторов языковой культуры; дисперсионный анализ ANOVA для сравнения групп по специальностям; корреляционный анализ Пирсона для установления взаимосвязей между компонентами готовности. Программная обработка: SPSS 28.0.

Множественный регрессионный анализ осуществляли методом пошагового включения переменных (*stepwise regression*) для построения

¹ https://ssstat.gov.ru/enterprise_economy (раздел «Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство», обращение 15.03.2023); статистические бюллетени: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (обращение 20.03.2023).

² <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-nauchno-tekhnologicheskoy-politiki-i-obrazovaniya/> (обращение 22.03.2023).

прогностической модели профессиональной успешности. Зависимая переменная — индекс профессиональной адаптации выпускников, независимые переменные — четыре компонента языковой готовности ($R^2 = 0,67$, $F = 89,34$, $p < 0,001$).

Кластерный анализ выполняли методом k-средних (k-means) с предварительной стандартизацией переменных по z-критерию. Оптимальное количество кластеров ($k=4$) определено методом «локтя» и силуэтным анализом (силуэтный коэффициент 0,68). Выделенные кластеры: «высокомотивированные лингвисты» ($n=64$, 22,9%), «технически ориентированные прагматики» ($n=89$, 31,8%), «традиционалисты-консерваторы» ($n=76$, 27,1%), «адаптивные полилингвы» ($n=51$, 18,2%).

Нейросетевую модель разрабатывали на базе многослойного перцептрона с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Входные параметры: результаты анкетирования по 45 вопросам, академическая успеваемость, данные языкового тестирования. Обучающая выборка составила 200 респондентов, тестовая — 80. Программная реализация базировалась на языке Python 3.8, библиотека TensorFlow 2.9 (США). Основные уравнения нейросетевой модели динамического сопоставления компетенций специалистов АПК представлены формулами 1–5:

$$\varphi_i = \frac{(c_i * r_i)}{\sqrt{(c_i^2 + r_i^2 + \varepsilon)}} \times \alpha_i + \beta_i \times \exp\left(-\frac{(c_i - r_i)^2}{(2 \times \sigma_i^2)}\right), \quad (1)$$

$$h1_j = \text{ReLU}(\Sigma(w1_{ij} \times \varphi_i) + b1_j), \quad (2)$$

$$h2_k = \tanh(\Sigma(w2_{jk} \times h1_j) + b2_k), \quad (3)$$

$$S_{match} = \sigma(\Sigma(w3_k \times h2_k) + b3), \quad (4)$$

$$L = -\left(\frac{1}{N}\right) \times \Sigma(y_n \times \log(S_{match_n}) + (1 - y_n) \times \log(1 - S_{match_n})), \quad (5)$$

где: S_{match} — итоговый скор соответствия кандидата вакансии (0–1); c_i — уровень i-й компетенции кандидата (технические, аналитические, коммуникативные, адаптивность); r_i — требуемый уровень i-й компетенции для вакансии; φ_i — нормализованная функция соответствия для i-й компетенции; $h1_j$ — активации первого скрытого слоя (j нейронов); $h2_k$ — активации второго скрытого слоя (k нейронов); $w1_{ij}$, $w2_{jk}$, $w3_k$ — весовые коэффициенты слоев; $b1_j$, $b2_k$, $b3$ — смещения (bias) слоев; α_i , β_i , σ_i — параметры адаптации для аграрной специфики; ε — малая константа для избежания деления на ноль (0,001); σ — сигмовидная функция активации; L — функция потерь (бинарная кросс-энтропия); y_n — истинная метка соответствия (0 или 1); N — размер обучающей выборки.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Комплексный анализ выявил системные трансформации кадрового потенциала АПК. За 2020–2024 годы спрос на специалистов по точному

Таблица 1. Цифровые компетенции специалистов АПК по профессиональным группам
Table 1. Digital competencies of agricultural specialists by professional groups

Группа	Технические	Аналитические	Коммуникация	Адаптивность	Индекс
Агрономы	7,2	7,5	6,8	8,1	7,4
Зоотехники	6,5	7,1	7,2	7,6	7,1
Инженеры	8,7	8,2	6,4	7,9	7,8
Технологи	7,4	8,5	7,7	8,4	8,0
Логисты	7,9	9,0	9,2	8,6	8,7

Таблица 2. Эффективность каналов подбора персонала в АПК
Table 2. Efficiency of recruitment channels in the agro-industrial complex

Канал	Доля, %	Время, дн.	Качество, балл	Стоимость, руб.	Удержание
Профильные сайты	44,1	22,3	7,1	16,8 тыс.	0,74
Рекомендации	31,2	16,8	8,2	9,1 тыс.	0,91
Вузы	17,3	42,1	8,7	28,4 тыс.	0,93
ИИ-платформы	7,4	11,2	9,1	25,6 тыс.	0,96

земледелию возрос на 72%, агроинженеров по автоматизированным системам — на 58%, аналитиков данных — на 94%. Корреляционный анализ подтвердил связь между технологическим развитием предприятий и изменением кадровых потребностей ($r = 0,78$, $p < 0,001$). Факторный анализ цифровых компетенций выделил четыре компонента (78,4% дисперсии): технические навыки (34,2%), аналитические способности (21,8%), цифровая коммуникация (12,7%), адаптивность к обучению (9,7%). Молодые специалисты до 30 лет показали средний балл 8,1 против 4,4 у работников старше 50 лет ($F = 52,7$, $p < 0,001$).

Регрессионный анализ предикторов внедрения ИИ-технологий ($R^2 = 0,79$) выявил значимые факторы: размер предприятия ($\beta = 0,37$), образование руководства ($\beta = 0,31$), инвестиции в цифровизацию ($\beta = 0,44$), средний возраст персонала ($\beta = -0,26$).

Кластерный анализ выделил четыре типа предприятий: «Технологические лидеры» (21%, инвестиции 3,2 млн руб.), «Умеренные адаптеры» (36%, 1,4 млн руб.), «Консерваторы» (28%, 0,4 млн руб.), «Вынужденные последователи» (15%).

Нейросетевая модель продемонстрировала точность классификации 87,2% ($AUC = 0,94$), превысив экспертную оценку на 31%. Время обработки резюме сократилось с 45 до 2,8 минуты. Лонгитюдный анализ показал: специалисты с высокими цифровыми компетенциями работают в среднем 4,9 года против 7,4 у традиционных кадров, но демонстрируют прирост зарплаты 38,2% против 19,7%. Качественный анализ интервью выявил противоречивое отношение к автоматизации: 76% экспертов ожидают объективизации оценки, но 85% выражают опасения относительно учета специфики аграрного производства.

Выводы/Conclusions

Исследование выявило глубокие структурные изменения кадрового потенциала АПК: за 2020–2024 годы спрос на специалистов точного земледелия вырос на 72%, агроинженеров — на 58%, аналитиков данных — на 94%. Разработанная нейросетевая модель показала точность сопоставления компетенций 87,2%, превысив традиционные методы на 31% при сокращении времени обработки с 45 до 2,8 минуты. Результаты расширяют понимание механизмов цифровой трансформации кадровых процессов в условиях отраслевой специфики АПК.

Подтверждена тенденция глобальной цифровизации сельского хозяйства с усилением роли данных в производственных решениях и повышением требований к технологической грамотности персонала. Выявленная динамика свидетельствует о формировании нового технологического уклада в АПК, требующего кардинального пересмотра подходов к подготовке и развитию кадров.

Прогностические модели указывают на углубление цифровой трансформации, актуализируя необходимость системных изменений в кадровой политике и совершенствования инструментария управления человеческими ресурсами отрасли.

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. Субаева А.К., Авхадиев Ф.Н. Подготовка кадров для сельского хозяйства в условиях цифровой экономики. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021; 16(2): 133–137. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-133-137>
2. Пашкевич О. Кадровое обеспечение процессов цифровизации в сельском хозяйстве. Наука и инновации. 2022; (6): 31–35. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-6-31-35>
3. Ройтблат О.В., Виноградова М.В., Куликова С.В. Современные требования к кадровому потенциалу аграрного сектора экономики. АПК: инновационные технологии. 2021; (3): 56–60. <https://elibrary.ru/wcrrmw>
4. Оборин М.С. Проблемы развития цифровых компетенций сотрудников экспериментального цифрового опытного хозяйства. Вестник НГИЭИ. 2022; (10): 107–119. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-10-107-119>
5. Перцев С.Н., Муравьев К.Е. Организация учебного процесса подготовки кадров для цифрового сельского хозяйства. Известия Международной академии аграрного образования. 2023; 67: 201–206. <https://elibrary.ru/mcqcqj>
6. Буреаева Е.В. Система подготовки кадров для цифрового сельского хозяйства: основные перспективы и ограничения. Вестник аграрной науки. 2023; (4): 132–139. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.4.132>
7. Шарипов С.А., Титов Н.Л., Харисов Г.А. Обеспечение конкурентных преимуществ сельскохозяйственных формирований АПК Республики Татарстан в условиях инновационного развития экономики. АПК: экономика, управление. 2023; (2): 52–58. <https://doi.org/10.33305/232-52>
8. Дульзон С.В., Костомыхин М.Н. Мероприятия по закреплению кадров АПК в условиях цифровой экономики. Главный зоотехник. 2023; (7): 15–25. <https://doi.org/10.33920/sel-03-2307-02>
9. Погонышева Д.А., Савин А.В., Серая Г.В., Тасоева Е.В. Цифровые технологии в кадровом менеджменте в сельском хозяйстве. Вестник Брянской ГСХА. 2021; (3): 60–66. <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-85-3-60-66>
10. Пашкевич О.А. Методические подходы к оценке параметров кадрового обеспечения в условиях цифровизации аграрного производства. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2024; (3): 21–24. <https://elibrary.ru/zjfenx>

ОБ АВТОРАХ

Ольга Титовна Ергунова

кандидат экономических наук, доцент
ergunova-olga@yandex.ru

Андрей Георгиевич Сомов

кандидат экономических наук, старший преподаватель
somovspb@yandex.ru

Анна Александровна Седякина

кандидат экономических наук, старший преподаватель
sedyakina_aa@spbstu.ru

Артём Александрович Иващенко

аспирант, старший преподаватель
ivatshenko_aa@spbstu.ru
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (национальный исследовательский университет), ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия

REFERENCES

1. Subaeva A.K., Avhadiev F.N. Training of personnel for agriculture in the digital economy. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2021; 16(2): 133–137 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-133-137>
2. Pashkevich O. Staffing for digitalization processes in agriculture. *Science and Innovations*. 2022; (6): 31–35 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2022-6-31-35>
3. Roitblat O.V., Vinogradova M.V., Kulikova S.V. Modern requirements for the personnel potential of the agricultural sector of the economy. *AIC: innovative technologies*. 2021; (3): 56–60 (in Russian). <https://elibrary.ru/wcrrmw>
4. Oborin M.S. Problems of development of digital competencies of employees of the experimental digital experimental farm. *Bulletin NGIEI*. 2022; (10): 107–119 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-10-107-119>
5. Pertsev S.N., Muravyev K.E. Organization of the educational process of personnel training for digital agriculture. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2023; 67: 201–206 (in Russian). <https://elibrary.ru/mcqcqj>
6. Buraeva E.V. Personnel training system for digital agricultural economy: main perspectives and limitations. *Bulletin of agrarian science*. 2023; (4): 132–139 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.4.132>
7. Sharipov S.A., Titov N.L., Kharisov G.A. Ensuring competitive advantages of agricultural formations of the agro-industrial complex of the Republic of Tatarstan in the conditions of innovative economic development. *AIC: economics, management*. 2023; (2): 52–58 (in Russian). <https://doi.org/10.33305/232-52>
8. Dulzon S.V., Kostomakhin M.N. Actions to consolidate the personnel of the agro-industrial complex in the digital economy. *Head of Animal Breeding*. 2023; (7): 15–25 (in Russian). <https://doi.org/10.33920/sel-03-2307-02>
9. Pogonyshcheva D.A., Savin A.V., Seraya G.V., Tasoeva E.V. Digital technologies in human resources management in agriculture. *Vestnik Bryansk State Agricultural Academy*. 2021; (3): 60–66 (in Russian). <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-85-3-60-66>
10. Pashkevich O.A. Methodical approaches to the estimation of staffing parameters in the conditions of digitalization of agricultural production. *Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*. 2024; (3): 21–24 (in Russian). <https://elibrary.ru/zjfenx>

ABOUT THE AUTHORS

Olga Titovna Ergunova

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor
ergunova-olga@yandex.ru

Andrey Georgievich Somov

Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer
somovspb@yandex.ru

Anna Alexandrovna Sedyakina

Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer
sedyakina_aa@spbstu.ru

Artyom Alexandrovich Ivaschenko

Postgraduate Student, Senior Lecturer
ivatshenko_aa@spbstu.ru
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
29 Politekhnikeskaya Str., St. Petersburg, 195251, Russia

ЭФФЕКТИВНАЯ САНАЦИЯ ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ



ГАРАНТИРУЕТ ВЫСОКУЮ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
ПРИ ОБРАБОТКЕ БОЛЬШИХ
ПЛОЩАДЕЙ И ОБЪЕМОВ



ДОСТУПНАЯ СТОИМОСТЬ
ОТНОСИТЕЛЬНО АНАЛОГОВ
НА РЫНКЕ



ДОЛГИЙ СРОК
ЭКСПЛУАТАЦИИ



ОБЕСПЕЧИВАЕТ ОТЛИЧНУЮ
ПРОНИКАЕМОСТЬ
ДЕЗИНФЕКЦИОННОГО
РАСТВОРА



УСТОЙЧИВЫЙ
К ИЗНОСУ
И КОРРОЗИИ



МОЖЕТ
УПРАВЛЯТЬСЯ ОТ
ДИСТАНЦИОННОГО
ПУЛЬТА

ИСПОЛЬЗУЕТСЯ
С ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИМИ
СРЕДСТВАМИ, ДЕЗОДОРАНТАМИ,
ГЕРБИЦИДАМИ И ИНСЕКТИЦИДАМИ

ГЕНЕРАТОР ГОРЯЧЕГО ТУМАНА

LONGRAY TS-95



ГРУППА КОМПАНИЙ ВИК
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР
+7 (495) 777-67-67 WWW.VETPRIBOR.RU



21-23
ЯНВАРЯ
2026

Москва /
Крокус Экспо



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ИННОВАЦИЙ И ВЫСОКИХ
ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

iagri

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ДЛЯ ВАШЕГО БИЗНЕСА

СОВМЕСТНО
с ключевой выставкой
АПК в России

agravia
tech & pro expo

Ранее
Agros expo
картофель
овощи, плоды
AgroTech expo

30 000+

посетителей - ваших потенциальных партнеров
со всех регионов России и стран ближнего зарубежья

1000+

компаний с современными
решениями и технологиями
для АПК

200+

мероприятий деловой
программы с участием
800+ спикеров



iagri-expo.com

МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ
ПРОИЗВОДСТВА
И ПЕРЕРАБОТКИ
ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ
АПК

Ранее:

Agros
expo

AgroTech
КАРТОФЕЛЬ
ОВОЩИ, ПЛОДЫ expo

agravia
tech & pro expo

21-23 ЯНВАРЯ 2026

Москва | Крокус Экспо

НОВЫЙ ГЛОБАЛЬНЫЙ ФОРМАТ ОТ ПОЛЯ И ФЕРМЫ ДО ПЕРЕРАБОТКИ: ВСЕ КЛЮЧЕВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АГРОПРОМА ТЕПЕРЬ НА ОДНОЙ ПЛОЩАДКЕ! РЕШАЙТЕ ЗАДАЧИ
ВО ВСЕХ СФЕРАХ ВАШЕГО АГРОБИЗНЕСА КОМПЛЕКСНО В НАЧАЛЕ ГОДА НА AGRAVIA

ЖИВОТНОВОДСТВО И ПЕРЕРАБОТКА

a:livestock & poultry

Племенное дело и Технологии для Молочного и Мясного
Скотоводства, Свиноводства, Птицеводства и др. видов
Животноводства, Кормопроизводства, Мясопереработки

ГЕНЕТИКА • ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ И КОРМЛЕНИЯ •
ДОИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ • УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ • СТРОИТЕЛЬСТВО •
КОРМОПРОИЗВОДСТВО И КОРМОЗАГОТОВКА • ПЕРЕРАБОТКА ЖИВОТНОГО
БЕЛКА • СБЫТ

a:feed & health

Кормовые решения, Продукты Ветеринарии,
Комбикормовое Оборудование

КОРМА, КОМПОНЕНТЫ КОРМОВ • КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ • КОНЦЕНТРАТЫ •
ПРЕМИКСЫ • РАЦИОНЫ И ТЕХНОЛОГИИ КОРМЛЕНИЯ • ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ
И ВАКЦИНЫ • ВЕТЕРИНАРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ • ОБОРУДОВАНИЕ
И ПРОДУКТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ДЕЗИНФЕКЦИИ • СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ
ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ • КОМБИКОРМОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

РАСТЕНИЕВОДСТВО И ПЕРЕРАБОТКА

a:field crops

Технологии Производства и Переработки Зерновых,
Зернобобовых, Масличных, Кормовых, Технических
и Специальных Полевых Культур

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ • СЕЛЕКЦИЯ,
СЕМЕНОВОДСТВО • СЗР, УДОБРЕНИЯ • ПОСТУБОРОЧНАЯ ОБРАБОТКА •
ХРАНЕНИЕ И ЛОГИСТИКА • ЗАПЧАСТИ, РАСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ГСМ •
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ • СТРОИТЕЛЬСТВО • СБЫТ

a:potato & horti

Технологии Производства и Переработки Картофеля,
Овощей Открытого и Закрытого Грунта, Фруктов и Ягод

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА, ОБОРУДОВАНИЕ • СЕЛЕКЦИЯ,
СЕМЕНОВОДСТВО • СЗР, УДОБРЕНИЯ • ПОСТУБОРОЧНАЯ ОБРАБОТКА •
ХРАНЕНИЕ И ЛОГИСТИКА • ЗАПЧАСТИ, РАСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ГСМ •
СТРОИТЕЛЬСТВО И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕПЛИЦ • ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ • СТРОИТЕЛЬСТВО • СБЫТ

