

№3(75)
СЕНТЯБРЬ
2026 г.

Вестник
НПК
Верхневолжия



В НОМЕРЕ

*Состояние
мониторинга
и учёты численности
кабана в России*

*Влияние минерально-
органического сорбента
в составе подстилки
на химический состав
и биологическую
ценность мышечного
желудка индеек*

*Оценка риска для здоровья
человека при потреблении
судака из Горьковского
водохранилища*

*Генетическая
дифференциация
ярославской породы
крупного рогатого
скота*

*Гроутент
для исследования
режимов досвечивания
при проращивании
зерна*





**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК АПК ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ»
включён в Перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты
диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук (Перечень ВАК)**

№ п/п	Наименование издания	ISSN	Научные специальности и соответствующие им отрасли науки, по которым присуждаются ученые степени	Дата включения издания в Перечень
387	Вестник АПК Верхневолжья	1998- 1635	4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)	с 01.02.2022
			1.5.20. Биологические ресурсы (биологические науки) 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно- санитарная экспертиза и биобезопасность (биологические науки) 4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно- санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки) 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки) 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (биологические науки) 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных (сельскохозяйственные науки) 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки) 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)	с 29.03.2023
			4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (биологические науки)	с 11.12.2023

Ссылка на Перечень ВАК (по состоянию на 15.09.2026)



«Вестник АПК Верхневолжья» включён в «Белый список» научных журналов.



ISSN 1998-1635

Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет»

Главный редактор

ГУСАР СВЕТАНА АЛЕКСАНДРОВНА – ректор ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ", кандидат экономических наук, доцент (Ярославль, Россия)

Заместитель главного редактора

МОРОЗОВ ВАДИМ ВЛАДИМИРОВИЧ – первый проректор – проректор по научной работе и цифровой трансформации ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ", кандидат физико-математических наук, доцент (Ярославль, Россия)

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Акчурина Сергей Владимирович – доктор ветеринарных наук, доцент (Москва, Россия)

Антипова Татьяна Алексеевна – доктор биологических наук, доцент (Истра, Россия)

Баранова Надежда Сергеевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (пос. Караваево, Костромская область, Россия)

Бачинская Валентина Михайловна – доктор биологических наук, доцент (Москва, Россия)

Беленков Алексей Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Москва, Россия)

Власова Ольга Ивановна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Ставрополь, Россия)

Габидулин Вячеслав Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук (Оренбург, Россия)

Гавриченко Николай Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент (Витебск, Республика Беларусь)

Голованова Ирина Леонидовна – доктор биологических наук, старший научный сотрудник (пос. Борок, Ярославская область, Россия)

Голубева Анна Ивановна – доктор экономических наук, профессор (Ярославль, Россия)

Готовский Дмитрий Геннадьевич – доктор ветеринарных наук, профессор (Витебск, Республика Беларусь)

Жигин Алексей Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Москва, Россия)

Загинайлов Владимир Ильич – доктор технических наук, профессор (Москва, Россия)

Ивенин Валентин Васильевич – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Нижний Новгород, Россия)

Калашникова Любовь Александровна – доктор биологических наук, профессор (пос. Лесные Поляны, Московская область, Россия)

Калинин Андрей Борисович – доктор технических наук, доцент (Санкт-Петербург, Россия)

Караваева Ирина Сергеевна – кандидат биологических наук (Москва, Россия)

Карпеня Михаил Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Витебск, Республика Беларусь)

Кондратьева Надежда Петровна – доктор технических наук, профессор (Ижевск, Россия)

Коновалов Александр Владимирович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент (Ярославль, Россия)

Косилов Владимир Иванович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Оренбург, Россия)

Костюнина Ольга Васильевна – доктор биологических наук (пос. Дубровицы, Московская область, Россия)

Леонтьев Леонид Борисович – доктор биологических наук, доцент (Москва, Россия)

Маннапов Альфир Габдуллович – доктор биологических наук, профессор (Москва, Россия)

Маннапова Рамзия Тимергалеевна – доктор биологических наук, профессор (Москва, Россия)

Миронова Ирина Валерьевна – доктор биологических наук, профессор (Уфа, Россия)

Мосолов Александр Анатольевич – доктор биологических наук (Волгоград, Россия)

Набиева Гулчехра Мирэргашевна – доктор биологических наук, доцент (Ташкент, Республика Узбекистан)

Николаев Владимир Анатольевич – доктор технических наук, доцент (Ярославль, Россия)

Новикова Татьяна Валентиновна – доктор ветеринарных наук, профессор (Вологда, Россия)

Орлов Павел Сергеевич – доктор технических наук, доцент (Ярославль, Россия)

Пронина Галина Иозепоуна – доктор биологических наук, доцент (Москва, Россия)

Сафронов Сергей Леонидович – доктор сельскохозяйственных наук, доцент (Санкт-Петербург, Россия)

Скворцова Елена Гамеровна – кандидат биологических наук, доцент (Ярославль, Россия)

Сквородин Евгений Николаевич – доктор ветеринарных наук, профессор (Уфа, Россия)

Сложенкина Марина Ивановна – доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН (Волгоград, Россия)

Слынько Елена Евгеньевна – кандидат биологических наук, доцент (пос. Борок, Ярославская область, Россия)

Смелик Виктор Александрович – доктор технических наук, профессор (Санкт-Петербург, Россия)

Спирidonов Геннадий Николаевич – доктор биологических наук (Казань, Россия)

Степанова Марина Вячеславовна – доктор биологических наук (Москва, Россия)

Тамарова Раиса Васильевна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор (Ярославль, Россия)

Тишанинов Николай Петрович – доктор технических наук, профессор (Тамбов, Россия)

Федосеева Наталья Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент (Балашиха, Московская область, Россия)

Хакимов Рамиль Тагирович – доктор технических наук, доцент (Санкт-Петербург, Россия)

Чугреев Михаил Константинович – доктор биологических наук, доцент (Москва, Россия)

Шмигель Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор (Ярославль, Россия)

Щукин Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (Ярославль, Россия)

Редакция журнала:

В. И. Дорохова – канд. экон. наук, доцент, ответственный секретарь
Е. А. Богословская – ведущий секретарь
А. В. Киселева – редактор-дизайнер, редактор-корреспондент
Ю. Д. Кононова – английский перевод

Адрес учредителя, редакции и издателя:

Россия, 150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, д.58.

Телефоны: (4852) 552-883 – главный редактор,

(4852) 943-746 – ответственный секретарь

E-mail: vestnik@yarcx.ru, e.bogoslovskaya@yarcx.ru

Отпечатано в типографии редакционно-издательского отдела ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ"

Адрес типографии:

Россия, 150042, Ярославль, Тутаевское шоссе, д. 58

Подписано в печать: 30 сентября 2026 г.

Дата выхода в свет 23.10.2026 г.,

время по графику: 15-00, время фактическое: 15-00

Тираж: 1000 экз. Цена свободная.

16+

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Журнал включен в базу данных международной информационной системы AGRIS, а также в РИНЦ.

Издание зарегистрировано: в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. **Регистрационный номер:** ПИ №ФС77-89404 от 15 апреля 2025 г.

**The Founder:**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University"

The Editor-in-chief

GUSAR SVETLANA ALEKSANDROVNA – Rector of the FSBEI HE "Yaroslavl SAU", Candidate of Economic Sciences, Docent (Yaroslavl, Russia)

The Deputy Editor-in-chief

MOROZOV VADIM VLADIMIROVICH – First Vice-Rector – Vice-Rector for Scientific Work and Digital Transformation of the FSBEI HE "Yaroslavl SAU", Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent (Yaroslavl, Russia)

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD

Akchurin Sergey Vladimirovich – Doctor of Veterinary Sciences, Docent (Moscow, Russia)

Antipova Tatyana Alekseevna – Doctor of Biological Sciences, Docent (Istra, Russia)

Baranova Nadezhda Sergeevna – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor (Karavaevo, Kostroma Region, Russia)

Bachinskaya Valentina Mikhailovna – Doctor of Biological Sciences, Docent (Moscow, Russia)

Belenkov Aleksey Ivanovich – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor (Moscow, Russia)

Vlasova Olga Ivanovna – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor (Stavropol, Russia)

Gabidulin Vyacheslav Mikhailovich – Doctor of Agricultural Sciences (Orenburg, Russia)

Gavrichenko Nikolay Ivanovich – Doctor of Agricultural Sciences, Docent (Vitebsk, Republic of Belarus)

Golovanova Irina Leonidovna – Doctor of Biological Sciences, Senior Research Officer (Borok, Yaroslavl Region, Russia)

Golubeva Anna Ivanovna – Doctor of Economic Sciences, Full Professor (Yaroslavl, Russia)

Gotovskiy Dmitriy Gennadyevich – Doctor of Veterinary Sciences, Full Professor (Vitebsk, Republic of Belarus)

Zhigin Aleksey Vasilyevich – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor (Moscow, Russia)

Zaginailov Vladimir Ilyich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor (Moscow, Russia)

Ivenin Valentin Vasilyevich – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor (Nizhniy Novgorod, Russia)

Kalashnikova Lyubov Aleksandrovna – Doctor of Biological Sciences, Full Professor (Lesnye Polyany, Moscow Region, Russia)

Kalinin Andrey Borisovich – Doctor of Technical Sciences, Docent (St. Petersburg, Russia)

Karavaeva Irina Sergeevna – Candidate of Biological Sciences (Moscow, Russia)

Karpenya Mikhail Mikhailovich – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor (Vitebsk, Republic of Belarus)

Kondrateva Nadezhda Petrovna – Doctor of Technical Sciences, Full Professor (Izhevsk, Russia)

Konovalov Aleksandr Vladimirovich – Doctor of Agricultural Sciences, Docent (Yaroslavl, Russia)

Kosilov Vladimir Ivanovich – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor (Orenburg, Russia)

Kostyunina Olga Vasilyevna – Doctor of Biological Sciences (Dubrovitsy, Moscow Region, Russia)

Leontyev Leonid Borisovich – Doctor of Biological Sciences, Docent (Moscow, Russia)

Mannapov Alfir Gabdullovich – Doctor of Biological Sciences, Full Professor (Moscow, Russia)

Mannapova Ramziya Timergaleevna – Doctor of Biological Sciences, Full Professor (Moscow, Russia)

Mironova Irina Valeryevna – Doctor of Biological Sciences, Full Professor (Ufa, Russia)

Mosolov Aleksandr Anatolyevich – Doctor of Biological Sciences (Volgograd, Russia)

Nabieva Gulchekhra Mirergashevna – Doctor of Biological Sciences, Docent (Tashkent, Republic of Uzbekistan)

Nikolaev Vladimir Anatolyevich – Doctor of Technical Sciences, Docent (Yaroslavl, Russia)

Novikova Tatyana Valentinovna – Doctor of Veterinary Sciences, Full Professor (Vologda, Russia)

Orlov Pavel Sergeevich – Doctor of Technical Sciences, Docent (Yaroslavl, Russia)

Pronina Galina Iozepovna – Doctor of Biological Sciences, Docent (Moscow, Russia)

Safronov Sergey Leonidovich – Doctor of Agricultural Sciences, Docent (St. Petersburg, Russia)

Skvortsova Elena Gumerovna – Candidate of Biological Sciences, Docent (Yaroslavl, Russia)

Skovorodin Evgeniy Nikolaevich – Doctor of Veterinary Sciences, Full Professor (Ufa, Russia)

Slozhenkina Marina Ivanovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of RAS

(Volgograd, Russia)

Slyanko Elena Evgenyevna – Candidate of Biological Sciences, Docent (Borok, Yaroslavl Region, Russia)

Smelik Viktor Aleksandrovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor (St. Petersburg, Russia)

Spiridonov Gennadiy Nikolaevich – Doctor of Biological Sciences (Kazan, Russia)

Stepanova Marina Vyacheslavovna – Doctor of Biological Sciences (Moscow, Russia)

Tamarova Raisa Vasilyevna – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor (Yaroslavl, Russia)

Tishaninov Nikolay Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor (Tambov, Russia)

Fedoseeva Natalya Anatolyevna – Doctor of Agricultural Sciences, Docent (Balashikha, Moscow Region, Russia)

Khakimov Ramil Tagirovich – Doctor of Technical Sciences, Docent (St. Petersburg, Russia)

Chugreev Mikhail Konstantinovich – Doctor of Biological Sciences, Docent (Moscow, Russia)

Shmigel Vladimir Viktorovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor (Yaroslavl, Russia)

Shchukin Sergey Vladimirovich – Candidate of Agricultural Sciences, Docent (Yaroslavl, Russia)

Journal editorial staff:

V. I. Dorokhova – Candidate of Economic Sciences, Docent, the executive editor

E. A. Bogoslovskaya – the leading secretary

A. V. Kiseleva – the editor-designer, the editor correspondent

Yu. D. Kononova – English translation

Address of the founder, editorial office, printing office:

Russia, 150042, Yaroslavl, Tutaevskoe Shosse, 58

Phones number:

+7 (4852) 552-883 – the editor-in-chief,

+7 (4852) 943-746 – the executive secretary

E-mail: vestnik@yarcx.ru, e.bogoslovskaya@yarcx.ru

Printed in printing house of publishing department of FSBEI HE "Yaroslavl SAU".

Printing house address: Russia, 150042, Yaroslavl, Tutaevskoe Shosse, 58

Passed for printing: 30.09.2026. **Printed:** 23.10.2026

Time planned: 15-00. **Actual time:** 15-00

Circulation: 1000 copies

Price is uncontrolled

The journal is included into the List of peer-reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the degrees of Candidate of Sciences and Doctor of Sciences should be published.

The journal is included in the database of the international information system AGRIS, as well as in the RSCI.

The edition is registered in Federal Agency of supervision of a compliance with law in sphere of mass communications and cultural heritage protection

The registration number: ПИ ФС77-89404 from April, 15th, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

- Е. Г. Скворцова, Ш. С. Боронов, А. В. Мостофина** Морфометрическая характеристика и половой диморфизм линия *Tinca tinca* (L., 1758) костромских разливов 5
А. В. Давыдов, Н. А. Моргунов, А. А. Фёдоров, Н. В. Ломанова, И. С. Караваева, М. К. Чугреев Состояние мониторинга и учёты численности кабана в России 11

ВЕТЕРИНАРИЯ И ЗООТЕХНИЯ

- В. И. Косилов, И. В. Миронова, С. Г. Исламова, Р. М. Хабибуллин, О.В. Крупина** Валовой выход питательных веществ съедобной части туши молодняка овец разного генотипа в 8-месячном возрасте 20
Х. Д. Акмухаметов, Х. Х. Тагиров, А. А. Нигматьянов Динамика физико-химических показателей молока коров голштинской породы при использовании кукурузного силоса, заготовленного с различными биологическими консервантами 24
П. С. Муравьев, А. В. Коновалов, А. А. Алексеев Эффективность применения ферментно-микробиологических инокулянтов в технологии консервирования люцерны изменчивой 34
В. М. Бачинская, Г. А. Вердиева, Д. В. Гончар, А. А. Попова Влияние минерально-органического сорбента в составе подстилки на химический состав и биологическую ценность мышечного желудка индеек 43
Р. Т. Маннапова, Д. В. Снегирев, О. Н. Яковлева Влияние транспортного стресса на иммунологические и продуктивные показатели годовиков радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) и нильской тиляпии (*Oreochromis niloticus*) и способы их коррекции 49
А. А. Паюта, Е. А. Флёрова, Ю. В. Зайцева Оценка риска для здоровья человека при потреблении судака из Горьковского водохранилища 56
М. В. Блохина, М. С. Стефаниди Современные представления о двигательных и прыжковых качествах и их оценке у лошадей ахалтекинской породы (обзор) 61

РАЗВЕДЕНИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, ГЕНЕТИКА И БИОТЕХНОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

- А. И. Хахлинов, Н. В. Чиминова, А. В. Убушиева, В. С. Убушиева, А. В. Эриднеев** Генотипирование популяции калмыцкого скота по SNP-маркерам генов *CAPN1* и *CAST* 67
Л. А. Калашникова, Н. В. Рыжова, А. Е. Калашников, Я. А. Хабибрахманова, Т. Б. Ганченкова, М. В. Волкова-Оливейра Генетическая дифференциация ярославской породы крупного рогатого скота 76
А. Л. Буканов, В. И. Дорохова, Т. А. Разумная К вопросу поиска компромисса оптимальной сочетаемости кровности и продуктивного долголетия в селекции по совершенствованию ярославской породы 88
А. А. Валавина, Н. С. Баранова Эффективность различных вариантов подбора при совершенствовании костромской породы крупного рогатого скота 95
А. А. Чаицкий, П. О. Щеголев, К. Д. Чаицкая, В. А. Цветкова, Е. П. Галкина Частота генотипов и среднесуточный прирост молодняка крупного рогатого скота разных аллельных вариантов гена рецептора гормона роста (*GHR*) 102

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

- В. Ю. Страхов, В. Ф. Сторчевой, Ю. В. Саенко, О. С. Кузьмина** Гроутент для исследования режимов досвечивания при проращивании зерна 111
Ш. З. Зиниев, В. А. Каргин, А. С. Такаев Повышение надёжности сельских электрических сетей за счёт внедрения комбинированной системы электроснабжения солнечной станции для сельской местности на основе искусственного интеллекта 119
А. С. Угловский Сравнительный анализ электрофизических методов борьбы с сорными растениями, основанных на непрерывном воздействии переменного тока и мощных высоковольтных импульсах 126
В. В. Шмигель, И. М. Кузнецов Биофизические механизмы электрической стимуляции клеток клубня картофеля: фундаментальные аспекты и практические результаты (обзор) 134

Трибуна молодых учёных

- Е. И. Ухов** Частота встречаемости аллелей полиморфных белков у коров михайловского типа ярославской породы 143
А. К. Сангаков Влияние сезона рождения и генотипа по генам *GH* и *LEP* на весовой рост бычков казахской белоголовой породы 149
М. Е. Лондарев Гены, ассоциированные с мясной продуктивностью и воспроизводительной способностью мясного скота (обзор) 154
Е. А. Сырчина Генетическое разнообразие северных оленей ненецкой породы на примере МСП «Мужевское» Ямало-Ненецкого автономного округа 162

- Предметный указатель** 168

CONTENTS

BIOLOGICAL RESOURCES

- E. G. Skvortsova, Sh. S. Boronov, A. V. Mostofina** Morphometric Characteristics and Sexual Dimorphism of Tench *Tinca tinca* (L., 1758) of the Kostroma Spills 5
A. V. Davydov, N. A. Morgunov, A. A. Fedorov, N. V. Lomanova, I. S. Karavaeva, M. K. Chugreev The State of Monitoring and Counting of Wild Boar Population in Russia 11

VETERINARY SCIENCE AND ZOOTECHNICS

- V. I. Kosilov, I. V. Mironova, S. G. Islamova, R. M. Khabibullin, O. V. Krupina** Gross Nutrient Yield of the Edible Part of the Carcass of Young Sheep of Different Genotypes at the Age of 8 Months 20
Kh. D. Akmukhametov, Kh. Kh. Tagirov, A. A. Nigmatyanov Dynamics of Physical and Chemical Indicators of Milk of Holstein Cows using Corn Silage Prepared with Various Biological Preservatives 24
P. S. Murav'yev, A. V. Konovalov, A. A. Alekseev Efficiency of Using Enzyme-Microbiological Inoculants in the Technology of Preserving Variegated Alfalfa 34
V. M. Bachinskaya, G. A. Verdieva, D. V. Gonchar, A. A. Popova Effect of Mineral-Organic Sorbent in the Bedding on the Chemical Composition and Biological Value of Turkey Gizzard 43
R. T. Mannapova, D. V. Snegirev, O. N. Yakovleva Effect of Transport Stress on Immunological and Productive Parameters of Yearling Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) and Nile Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) and Methods for Their Correction 49
A. A. Payuta, E. A. Flerova, Yu. V. Zaitseva Assessment of the Risk to Human Health when Consuming Pike Perch from the Gorky Reservoir 56
M. V. Blokhina, M. S. Stefanidi Current Concepts of Locomotor and Jumping Abilities and Their Assessment in Akhal-Teke Horses (Review) 61

BREEDING, SELECTION, GENETICS AND BIOTECHNOLOGY OF ANIMALS

- A. I. Khakhlinov, N. V. Chimidova, A. V. Ubushieva, V. S. Ubushieva, A. V. Eridneev** Genotyping of the Kalmyk Cattle Population by SNP Markers of the *CAPN1* and *CAST* Genes 67
L. A. Kalashnikova, N. V. Ryzhova, A. E. Kalashnikov, Ya. A. Khabibrakhmanova, T. B. Ganchenkova, M. V. Volkova-Oliveira Genetic Differentiation of the Yaroslavl Cattle Breed 76
A. L. Bukanov, V. I. Dorokhova, T. A. Razumnaya On the Issue of Finding a Compromise and Optimal Balance between Breed Purity and Productive Longevity in Breeding to Improve the Yaroslavl Cattle Breed 88
A. A. Valavina, N. S. Baranova Efficiency of Various Mating Variants for the Improvement of the Kostroma Cattle Breed 95
A. A. Chaitskiy, P. O. Schiogolev, K. D. Chaickaya, V. A. Tsvetkova, E. P. Galkina Genotype Frequency and Average Daily Gain of Young Cattle with Different Allelic Variants of the Growth Hormone Receptor (GHR) Gene 102

ELECTRICAL TECHNOLOGIES, ELECTRICAL EQUIPMENT AND POWER SUPPLY OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

- V. Yu. Strakhov, V. F. Storchevov, Yu. V. Sayenko, O. S. Kuzmina** Groutant for Studying Supplementary Lighting Modes during Grain Germination 111
Sh. Z. Ziniev, V. A. Kargin, A. S. Takaev Improving the Reliability of Rural Power Grids Through the Introduction of an AI-based Hybrid Power Supply System with a Solar Station for Rural Areas 119
A. S. Uglovskiy A Comparative Analysis of Electrophysical Methods of Weed Control Based on Continuous Alternating Current Action and Powerful High-Voltage Pulses 126
V. V. Shmigel, I. M. Kuznetsov Biophysical Mechanisms of Electrical Stimulation of Potato Tuber Cells: Fundamental Aspects and Practical Results (Review) 134

TRIBUNE OF YOUNG SCIENTISTS

- E. I. Ukhov** Allele Frequency of Polymorphic Protein in Mikhailovsky type cows of the Yaroslavl breed 143
A. K. Sangakov Influence of Birth Season and Genotype for *GH* and *LEP* Genes on the Weight Growth of Kazakh White-Headed Bulls 149
M. E. Londarev Genes Associated with Meat Productivity and Reproductive Capacity in Beef Cattle (Review) 154
E. A. Syrchina Genetic Diversity of Reindeer of the Nenets Breed on the example of MAE Muzhevskoe of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug 162

- Subject index** 168

Научная статья
УДК 597.2.08:591.46
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.001

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОЛОВОЙ ДИМОРФИЗМ ЛИНЯ *TINCA TINCA* (L., 1758) КОСТРОМСКИХ РАЗЛИВОВ

Елена Гамеровна Скворцова¹, Шахром Сафаралиевич Боронов²,
Александра Владимировна Мостофина³

^{1, 2, 3}Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия

¹e.skvorcova@yarcx.ru, ORCID 0000-0003-0699-7959

²4209@student.yarcx.ru, ORCID 0009-0005-1317-0556

³poltorackaya@yarcx.ru, ORCID 0000-0002-0124-7158

Реферат. Проведённый сравнительный морфометрический анализ самцов и самок линя *Tinca tinca* из Костромских разливов выявил выраженный половой диморфизм по ряду признаков. При сходной общей длине тела самки отличались достоверно большей средней массой (821 г против 747 г у самцов), более высоким и толстым телом, а также увеличенными антевентральным и антеанальным расстояниями, что связано с развитием гонад – средняя масса икры у самок составила 142 г (размах 110–173 г). После удаления внутренностей и гонад масса порки у самцов оказалась выше (688 г против 622 г), что указывает на больший соматический вес самцов. Самцы, в свою очередь, характеризовались более длинными грудными и брюшными плавниками, большей высотой спинного и анального плавников, а также более высокими коэффициентами упитанности: средний показатель по Фультону у самцов достигал 2,95 (варьируя от 2,69 до 3,19) против 1,94 (1,54–2,19) у самок, по Кларк – 2,71 (2,51–2,92) против 1,47 (1,17–1,63) соответственно. Значительное превышение коэффициентов упитанности у самцов при одновременно меньшей общей массе тела объясняется отсутствием генеративной ткани и, по-видимому, более высоким содержанием соматических резервов, тогда как у самок существенная доля энергетических ресурсов перераспределена в гонады.

Ключевые слова: линь, *Tinca tinca*, морфометрия, половой диморфизм, пластические признаки, масса тела, коэффициенты упитанности

MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS AND SEXUAL DIMORPHISM OF TENCH *TINCA TINCA* (L., 1758) OF THE KOSTROMA SPILLS

Elena G. Skvortsova¹, Shakhrom S. Boronov², Aleksandra V. Mostofina³

Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia

¹e.skvorcova@yarcx.ru, ORCID 0000-0003-0699-7959

²4209@student.yarcx.ru, ORCID 0009-0005-1317-0556

³poltorackaya@yarcx.ru, ORCID 0000-0002-0124-7158

Abstract. A comparative morphometric analysis of male and female tench *Tinca tinca* from the Kostroma spills revealed pronounced sexual dimorphism in a number of traits. With similar total body length, females had a significantly greater average weight (821 g versus 747 g for males), a taller and thicker body, as well as increased anteventral and anteanal distances, which is associated with the development of the gonads – the average egg weight in females was 142 g (range 110–173 g). After removal of the viscera and gonads, the egg weight of males was higher (688 g versus 622 g), which indicates a greater somatic weight of males. Males, in turn, were characterized by longer pectoral and pelvic fins, greater height of the dorsal and anal fins, as well as higher body condition coefficients: the average Fulton's condition factor for males reached 2.95 (varying from 2.69 to 3.19) versus 1.94 (1.54–2.19) for females, according to Clark – 2.71 (2.51–2.92) versus 1.47 (1.17–1.63), respectively. The significant excess of body condition coefficients in males with a lower total body weight, are explained by the absence of reproductive tissue and, apparently, a higher content of somatic reserves, whereas in females, a significant portion of energy resources is redistributed to the gonads.

Keywords: tench, *Tinca tinca*, morphometry, sexual dimorphism, plastic traits, body weight, body condition coefficients

Введение. Линь *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758) – широко распространённый, но во многих регионах относительно немногочисленный вид пресноводных рыб, обладающий высокими вкусовыми качествами и поль-

зующийся устойчивым спросом у рыболовов-любителей и в специализированном товарном рыбоводстве. Несмотря на длительную историю изучения, многие аспекты внутривидовой морфологической изменчивости линя

остаются недостаточно освещёнными, особенно в связи с половым диморфизмом. Известно, что у линия самки обычно крупнее самцов и характеризуются более высокими показателями упитанности в преднерестовый период, однако конкретные морфометрические различия, в том числе по пропорциям тела и размерам плавников, могут существенно варьировать в зависимости от условий обитания и стадии репродуктивного цикла [1; 2; 3]. В ряде водоёмов, например в Рыбинском водохранилище, в уловах отмечается резкое преобладание самок, а ювенильные особи отсутствуют [4], тогда как в озере Сарышыганак соотношение полов более сбалансировано [5]. Такие наблюдения подчёркивают необходимость дальнейшего накопления данных о размерно-весовой структуре и морфологических особенностях разнополых особей линия из различных популяций.

Цель настоящей работы – провести сравнительный анализ морфометрических показателей самцов и самок линия по комплексу пластических признаков, оценить характер и степень полового диморфизма, а также сопоставить полученные результаты с литературными сведениями по другим водоёмам.

Материалы и методы исследования. Материалом для настоящей работы послужила выборка из 10 половозрелых особей линия *Tinca tinca* (L., 1758), отловленных в Костромских разливах в весенне-летний период 2026 г. Рыб отбирали из ставных жаберных сетей с ячейей 30–50 мм. Пол определяли визуально по строению гонад при вскрытии. У всех самок (6 экз.) в полости тела присутствовала развитая икра, соответствующая IV стадии зрелости.

Каждую особь подвергали полному морфометрическому анализу согласно общепринятым ихтиологическим методикам [6]. Измеряли абсолютную массу тела, массу порки (тушки без внутренностей и гонад), массу икры и массу внутренних органов (без гонад) с точностью до 1 г. Пластические признаки регистрировали штангенциркулем с точностью до 1 мм. Схема промеров включала следующие параметры: общая зоологическая длина тела (L), длина тела без хвостового плавника (SL), длина головы (ao), длина рыла (ap), диаметр глаза (пр), заглазничный отдел головы (ро), высота головы у затылка (lm), межглазничное расстояние (ширина лба), наибольший обхват тела, наибольшая толщина тела, наибольшая высота тела (gh), наименьшая высота тела (ik), антедорсальное (aq), постдорсальное (rd), антепекторальное (av), антевентральное (az) и антеанальное (ay) расстояния, длина хвостового стебля (fd), длина основания спинного плавника (qs), наибольшая

высота грудного плавника (tu), длина основания анального плавника (yy1), высота анального плавника (ej), длина грудного (vx) и брюшного (zzi) плавников, длина верхней лопасти хвостового плавника, расстояние между грудными и брюшными плавниками (vz), расстояние между брюшными и анальным плавниками (zy), расстояние от брюшных плавников до ануса и расстояние от анального плавника до ануса.

Для всех особей рассчитывали коэффициент упитанности по Фультону:

$$K_f = (m \cdot 100) / L^3 \quad (1)$$

и коэффициент упитанности по Кларк:

$$K_c = (mp \cdot 100) / L^3, \quad (2)$$

где m – общая масса тела (г); mp – масса порки (г); L – общая длина тела (см).

Статистическую обработку выполняли отдельно для самцов (n = 4) и самок (n = 6). Для каждого признака рассчитывали среднее значение (M), стандартное отклонение (SD), коэффициент вариации (C_v , %) и размах варьирования (min–max). Ввиду ограниченного объёма выборок формальные статистические тесты на межполовые различия не применяли, анализ носил описательный и сравнительный характер. Все вычисления выполнены в среде Microsoft Excel.

Результаты. В таблице 1 приведены средние значения с указанием стандартного отклонения, коэффициента вариации и размаха для массы рыбы, порки, икры и внутренних органов у самцов (n = 4) и самок (n = 6).

Самки характеризовались большей средней массой тела ($821,0 \pm 86,1$ г) по сравнению с самцами ($747,3 \pm 126,2$ г), но уступали в массе порки ($622,3 \pm 64,5$ г против $688,3 \pm 121,3$ г), что объясняется наличием у них икры, средняя масса которой составила $142,0 \pm 26,3$ г при размахе от 110 до 173 г. Масса внутренних органов также была выше у самок ($54,7 \pm 6,0$ г, размах 46–62 г), тогда как у самцов этот показатель составил $46,8 \pm 8,1$ г (размах 39–56 г). Изменчивость массы рыбы и порки, оцененная коэффициентом вариации, оказалась заметно выше у самцов (16,9 и 17,6% соответственно), в то время как у самок эти показатели не превышали 10,5%, что указывает на более однородную размерно-весовую структуру самок в исследованной выборке.

У самок индивидуальные значения K_f варьировали от 1,54 до 2,19 (среднее 1,94), K_c – от 1,17 до 1,63 (среднее 1,47). У самцов коэффициенты упитанности

Таблица 1 – Масса тела и внутренних органов

Признак	Самец			Самка		
	M ± m	C_v , %	lim	M ± m	C_v , %	lim
Масса рыбы, г	747,3 ± 126,2	16,9	627–925	821,0 ± 86,1	10,5	749–951
Масса порки, г	688,3 ± 121,3	17,6	575–860	622,3 ± 64,5	10,4	559–717
Масса икры, г	–	–	–	142,0 ± 26,3	18,5	110–173
Масса внутренних органов, г	46,8 ± 8,1	17,3	39–56	54,7 ± 6,0	11	46–62

Таблица 2 – Основные линейные размеры тела

Признак	Самец			Самка		
	M ± m	C _v %	lim	M ± m	C _v %	lim
Общая длина (L), мм	347,5 ± 31,0	8,9	320–390	349,2 ± 17,4	5	325–370
Длина без хвостового плавника (SL), мм	293,8 ± 23,2	7,9	270–325	302,5 ± 17,8	5,9	280–330
Антедорсальное расстояние (aq), мм	162,5 ± 8,7	5,3	155–175	170,0 ± 10,0	5,9	155–185
Постдорсальное расстояние (rd), мм	113,8 ± 11,1	9,7	105–130	111,7 ± 7,5	6,7	105–125
Антепекторальное расстояние (av), мм	65,0 ± 4,1	6,3	60–70	67,5 ± 4,2	6,2	65–75
Антевентральное расстояние (az), мм	141,3 ± 13,2	9,3	130–160	153,3 ± 6,1	3,9	150–165
Антеанальное расстояние (au), мм	210,0 ± 23,5	11,2	180–235	225,8 ± 15,0	6,6	205–250

оказались существенно выше, составляя по Фультону от 2,69 до 3,19 (среднее 2,95), по Кларк – от 2,51 до 2,92 (среднее 2,71).

В таблице 2 представлены основные линейные размеры тела самцов (n = 4) и самок (n = 6) с указанием среднего значения и стандартного отклонения, коэффициента вариации и размаха.

По общей длине тела (L) половые группы оказались практически идентичны: 347,5 ± 31,0 мм (C_v 8,9%, пределы 320–390 мм) – у самцов и 349,2 ± 17,4 мм (C_v 5,0%, 325–370 мм) – у самок. Длина тела без хвостового плавника (SL) у самок была несколько больше (302,5 ± 17,8 мм против 293,8 ± 23,2 мм у самцов), при этом изменчивость этого признака у самцов выше (C_v 7,9% против 5,9%). Антедорсальное расстояние (aq) в среднем составило 162,5 ± 8,7 мм у самцов (размах 155–175 мм) и 170,0 ± 10,0 мм – у самок (155–185 мм), с близкими значениями коэффициентов вариации (5,3 и 5,9% соответственно). Постдорсальное расстояние (rd) оказалось сходным, но чуть большим у самцов (113,8 ± 11,1 мм, C_v 9,7%) по сравнению с самками (111,7 ± 7,5 мм, C_v 6,7%). Антепекторальное расстояние (av) продемонстрировало минимальные половые различия: 65,0 ± 4,1 мм (C_v 6,3%) – у самцов и 67,5 ± 4,2 мм (C_v 6,2%) – у самок. Более выраженные отличия отмечены для антевентрального (az) и антеанального (au) расстояний: у самок оба показателя были достоверно выше – 153,3 ± 6,1 мм (C_v 3,9%, размах 150–165 мм) против 141,3 ± 13,2 мм (C_v 9,3%, 130–160 мм) для az и 225,8 ± 15,0 мм (C_v 6,6%, 205–250 мм) против 210,0

± 23,5 мм (C_v 11,2%, 180–235 мм) для au, что указывает на относительно более протяжённую брюшную полость самок, связанную с развитием гонад. Изменчивость большинства продольных размеров тела у самцов была заметно выше, чем у самок, особенно по антевентральному и антеанальному расстояниям, где коэффициенты вариации у самцов достигали 9,3–11,2%, тогда как у самок оставались в пределах 3,9–6,6%.

В таблице 3 приведены размеры головы самцов (n = 4) и самок (n = 6) с указанием среднего значения и стандартного отклонения, коэффициента вариации и размаха.

Длина головы (ao) у самок оказалась несколько больше, чем у самцов (71,7 ± 4,1 мм, C_v 5,7%, пределы 65–75 мм, против 68,8 ± 8,5 мм, C_v 12,4%, 60–80 мм), при этом у самок отмечена заметно меньшая вариабельность признака. Длина рыла (ap) также преобладала у самок (25,3 ± 2,6 мм, C_v 10,2%, размах 22–30 мм) по сравнению с самцами (21,3 ± 2,5 мм, C_v 11,8%, 20–25 мм). Диаметр глаза (np) в среднем был чуть больше у самцов (10,3 ± 1,7 мм, C_v 16,7%, от 8 до 12 мм), тогда как у самок он составил 9,7 ± 0,8 мм при значительно меньшей изменчивости (C_v 8,4%, размах 8–10 мм). Заглазничный отдел головы (po) у самцов был незначительно длиннее (40,8 ± 3,0 мм, C_v 7,3%, 38–45 мм), чем у самок (38,7 ± 2,5 мм, C_v 6,5%, 35–42 мм). Высота головы у затылка (lm) демонстрировала сходные средние значения при перекрывающихся диапазонах: у самцов – 51,3 ± 6,3 мм (C_v 12,3%, 45–60 мм), у самок – 53,3 ± 5,2 мм (C_v 9,7%, 45–60 мм). Межглазничное расстояние

Таблица 3 – Размеры головы

Признак	Самец			Самка		
	M ± m	C _v %	lim	M ± m	C _v %	lim
Длина головы (ao), мм	68,8 ± 8,5	12,4	60–80	71,7 ± 4,1	5,7	65–75
Длина рыла (ap), мм	21,3 ± 2,5	11,8	20–25	25,3 ± 2,6	10,2	22–30
Диаметр глаза (np), мм	10,3 ± 1,7	16,7	8–12	9,7 ± 0,8	8,4	8–10
Заглазничный отдел (po), мм	40,8 ± 3,0	7,3	38–45	38,7 ± 2,5	6,5	35–42
Высота головы у затылка (lm), мм	51,3 ± 6,3	12,3	45–60	53,3 ± 5,2	9,7	45–60
Межглазничное расстояние, мм	35,8 ± 4,4	12,2	30–40	35,5 ± 5,6	15,8	30–45

Таблица 4 – Параметры формы тела

Признак	Самец			Самка		
	M ± m	C _v %	lim	M ± m	C _v %	lim
Наибольший обхват тела, мм	252,5 ± 18,9	7,5	240–280	263,3 ± 14,0	5,3	250–290
Наибольшая толщина тела, мм	51,3 ± 4,8	9,3	45–55	59,7 ± 8,2	13,7	50–70
Наибольшая высота тела (gh), мм	93,8 ± 4,8	5,1	90–100	108,3 ± 8,2	7,5	100–120
Наименьшая высота тела (ik), мм	50,0 ± 5,1	10,2	45–57	48,3 ± 6,1	12,5	40–55
Длина хвостового стебля (fd), мм	65,0 ± 4,1	6,3	60–70	65,8 ± 2,0	3,1	65–70

(ширина лба) оказалось практически одинаковым в обеих группах – 35,8 ± 4,4 мм (C_v 12,2%, пределы 30–40 мм) у самцов и 35,5 ± 5,6 мм (C_v 15,8%, 30–45 мм) – у самок, причём у последних изменчивость признака была самой высокой среди всех промеров головы. В целом самки отличались более длинным рылом и несколько меньшими значениями заглазничного отдела, в то время как у самцов отмечена тенденция к более крупному глазу и повышенная вариабельность большинства размерных характеристик головы.

В таблице 4 приведены параметры формы тела самцов (n = 4) и самок (n = 6) – наибольший обхват, наибольшая толщина, наибольшая высота тела (gh), наименьшая высота тела (ik) и длина хвостового стебля (fd) – с указанием среднего значения и стандартного отклонения, коэффициента вариации и размаха.

По всем показателям, характеризующим поперечное сечение тела, самки заметно превосходили самцов: их наибольший обхват составил 263,3 ± 14,0 мм (C_v 5,3%, размах 250–290 мм) против 252,5 ± 18,9 мм (C_v 7,5%, 240–280 мм) у самцов, наибольшая толщина – 59,7 ± 8,2 мм (C_v 13,7%, 50–70 мм) против 51,3 ± 4,8 мм (C_v 9,3%, 45–55 мм), а наибольшая высота тела (gh) достигла 108,3 ± 8,2 мм (C_v 7,5%, 100–120 мм) при 93,8 ± 4,8 мм (C_v 5,1%, 90–100 мм) у самцов. Наименьшая высота тела (ik) у самок оказалась немного ниже (48,3 ± 6,1 мм, C_v 12,5%, 40–55 мм), чем у самцов (50,0 ± 5,1 мм, C_v 10,2%, 45–57 мм), что при значительно большей высоте указывает на более выраженное утоньшение тела самок к хвостовому отделу. Длина хвостового стебля (fd) была практически одинаковой в обеих груп-

пах: 65,0 ± 4,1 мм (C_v 6,3%, 60–70 мм) – у самцов и 65,8 ± 2,0 мм (C_v 3,1%, 65–70 мм) – у самок, причём у последних этот признак продемонстрировал наименьшую вариабельность среди всех рассмотренных параметров формы тела. Наибольшая изменчивость у самок отмечена для толщины тела (C_v 13,7%) и наименьшей высоты (12,5%), тогда как у самцов коэффициенты вариации не превышали 10,2% (для наименьшей высоты тела). В целом самки характеризовались более высоким и толстым телом при сходных пропорциях хвостового стебля, что соответствует наличию у них зрелых гонад и большей округлости брюшного отдела по сравнению с самцами.

В таблице 5 приведены размерные характеристики плавников самцов (n = 4) и самок (n = 6) – длина основания спинного плавника (qs), наибольшая высота грудного плавника (tu), длина основания анального плавника (yy1), высота анального плавника (ej), длина грудного (vx) и брюшного (zzi) плавников, а также длина верхней лопасти хвостового плавника – с указанием среднего значения и стандартного отклонения, коэффициента вариации и размаха.

По всем исследованным признакам самцы превосходили самок. Длина основания D у самцов составила 45,5 ± 4,9 мм (C_v 10,8%, размах 40–52 мм) против 43,3 ± 4,1 мм (C_v 9,4%, 40–50 мм) у самок; наибольшая высота P – 58,8 ± 4,1 мм (C_v 7,0%, 55–64 мм) и 52,7 ± 2,9 мм (C_v 5,6%, 50–56 мм); длина основания A – 32,8 ± 3,2 мм (C_v 9,8%, 30–36 мм) и 30,2 ± 1,6 мм (C_v 5,3%, 28–33 мм); высота A – 51,3 ± 4,8 мм (C_v 9,3%, 45–55 мм) и 46,7 ± 2,6 мм (C_v 5,5%, 45–50 мм) соответственно. Наиболее выраженные различия отмечены для длины

Таблица 5 – Размеры плавников

Признак	Самец			Самка		
	M ± m	C _v %	lim	M ± m	C _v %	lim
Длина основания D (qs), мм	45,5 ± 4,9	10,8	40–52	43,3 ± 4,1	9,4	40–50
Наибольшая высота P (tu), мм	58,8 ± 4,1	7,0	55–64	52,7 ± 2,9	5,6	50–56
Длина основания A (yy1), мм	32,8 ± 3,2	9,8	30–36	30,2 ± 1,6	5,3	28–33
Высота A (ej), мм	51,3 ± 4,8	9,3	45–55	46,7 ± 2,6	5,5	45–50
Длина P (vx), мм	60,0 ± 4,1	6,8	55–65	49,5 ± 6,0	12,0	45–60
Длина V (zzi), мм	57,0 ± 2,4	4,3	55–60	45,2 ± 6,7	14,8	35–53
Длина верхней лопасти хвостового плавника, мм	51,5 ± 4,4	8,6	48–58	48,3 ± 6,1	12,5	40–55

Таблица 6 – Расстояния между плавниками и до ануса

Признак	Самец			Самка		
	$M \pm m$	$C_v, \%$	lim	$M \pm m$	$C_v, \%$	lim
Между Р и V (vz), мм	$80,0 \pm 7,1$	8,8	75–90	$90,0 \pm 5,5$	6,1	85–100
Между V и А (zy), мм	$80,0 \pm 4,1$	5,1	75–85	$81,7 \pm 8,2$	10,0	75–95
От V до ануса, мм	$63,8 \pm 4,8$	7,5	60–70	$68,3 \pm 9,3$	13,6	60–85
От А до ануса, мм	$10,0 \pm 4,1$	40,8	5–15	$11,3 \pm 2,9$	26,0	8–15

грудных и брюшных плавников: средняя длина Р у самцов достигала $60,0 \pm 4,1$ мм (C_v 6,8%, 55–65 мм), у самок – $49,5 \pm 6,0$ мм (C_v 12,0%, 45–60 мм); длина V – $57,0 \pm 2,4$ мм (C_v 4,3%, 55–60 мм) и $45,2 \pm 6,7$ мм (C_v 14,8%, 35–53 мм). Длина верхней лопасти хвостового плавника у самцов равнялась $51,5 \pm 4,4$ мм (C_v 8,6%, 48–58 мм), у самок – $48,3 \pm 6,1$ мм (C_v 12,5%, 40–55 мм). Таким образом, самцы характеризовались не только абсолютно более крупными плавниками, но и, как правило, меньшей относительной изменчивостью их размеров, за исключением длины основания D и высоты А, где коэффициенты вариации были выше, чем у самок. При этом у самок самая высокая вариабельность наблюдалась по длине V (C_v 14,8%) и длине верхней лопасти хвостового плавника (12,5%), а у самцов максимальный коэффициент вариации отмечен для длины основания D (10,8%).

В таблице 6 представлены расстояния между плавниками и до ануса у самцов ($n = 4$) и самок ($n = 6$) с указанием среднего значения и стандартного отклонения, коэффициента вариации и размаха.

Расстояние между грудными и брюшными плавниками (vz) у самок оказалось заметно больше, чем у самцов ($90,0 \pm 5,5$ мм, C_v 6,1%, пределы 85–100 мм, против $80,0 \pm 7,1$ мм, C_v 8,8%, 75–90 мм), причём у самок этот признак был менее вариабельным. Расстояние между брюшными и анальным плавниками (zy) в среднем различалось незначительно: $81,7 \pm 8,2$ мм (C_v 10,0%, размах 75–95 мм) – у самок и $80,0 \pm 4,1$ мм (C_v 5,1%, 75–85 мм) – у самцов, однако изменчивость у самок была вдвое выше. Расстояние от брюшных плавников до ануса у самок также превышало таковое у самцов ($68,3 \pm 9,3$ мм, C_v 13,6%, 60–85 мм, и $63,8 \pm 4,8$ мм, C_v 7,5%, 60–70 мм соответственно). Расстояние от анального плавника до ануса было минимальным среди всех промеров, составив у самцов $10,0 \pm 4,1$ мм (C_v 40,8%, 5–15 мм), у самок – $11,3 \pm 2,9$ мм (C_v 26,0%, 8–15 мм), и характеризовалось самой высокой вариабельностью в обеих половых группах, особенно у самцов. Таким образом, самки отличались более протяжённым интервалом между грудными и брюшными плавниками и несколько большим расстоянием от брюшных плавников до ануса, тогда как по расстоянию между брюшными и анальным плавниками значимых половых различий не выявлено.

Полученные нами данные по размерно-весовым характеристикам исследованной выборки линия хорошо согласуются с опубликованными сведениями о популяциях вида из других водоёмов. Средняя общая длина тела (L) в нашей выборке составила 34,9 см, длина без хвостового плавника (SL) – 29,9 см, а средняя масса

тела – 791,5 г, что практически совпадает с результатами наблюдений на Рыбинском водохранилище в 2024 г., где у выловленных самок линия масса тела варьировала от 710 до 1140 г (среднее 841 г) при средней промысловой длине 31,5 см. Близкие значения массы – 841 г в среднем – приводятся и для самок из Рыбинского водохранилища, тогда как в нашей работе самки имели сходную среднюю массу (821 г), а самцы были несколько легче (747 г) [4]. По сравнению с выборкой из озера Сарышыганак, представленной пяти-шестилетними особями с длиной 23,5–26,4 см и массой 324–490 г, рыбы Ярославской области закономерно крупнее, что может объясняться как более старшим возрастом, так и лучшими условиями нагула [5].

Наблюдаемый в представленном исследовании половой диморфизм, выражающийся в большей массе и более высоком теле самок при сходной общей длине, согласуется с общебиологическими закономерностями, связанными с развитием гонад. При этом после удаления икры масса порки у самцов оказалась выше (688 г против 622 г у самок), что подтверждает значительный вклад генеративной ткани в общую массу самок (средняя масса икры 142 г). В исследовании популяций линия из водохранилищ канала им. К. Сатпаева отмечено, что самцы обладали несколько более высокими коэффициентами упитанности, поскольку их половые продукты не были полностью израсходованы, тогда как часть самок находилась с выбоем [1].

Обращает на себя внимание различная степень изменчивости массы тела у полов. В нашей выборке самцы характеризовались заметно более высокой вариабельностью как общей массы (C_v 16,9% против 10,5% у самок), так и массы порки (17,6% против 10,4%). Это противоречит наблюдениям на водохранилищах канала им. К. Сатпаева, где, напротив, разнокачественность самок была выше, что связывалось авторами с разной степенью выбоя. Возможно, в нашем случае относительно невысокая изменчивость самок объясняется тем, что все они находились на близких стадиях зрелости с развитой икрой (размах массы икры 110–173 г), тогда как среди самцов разброс по массе мог быть следствием индивидуальных различий в упитанности, не связанных с репродуктивным состоянием.

Выраженные различия по длине грудных и брюшных плавников, а также по высоте спинного и анального плавников, где самцы стабильно превосходили самок, могут быть отнесены к элементам полового диморфизма, связанного с локомоторной активностью или особенностями нерестового поведения, однако в доступных

литературных источниках этот аспект морфологии линия освещён недостаточно подробно. Следует также отметить, что в работе по Рыбинскому водохранилищу уловы были представлены исключительно самками (100%), тогда как в нашей выборке присутствовали оба пола в соотношении 1:1,5 в пользу самок, что ближе к данным с озера Сарышыганак (соотношение самок и самцов 3:1). Отсутствие ювенильных особей в наших сборах согласуется с наблюдениями на Рыбинском водохранилище, где молодь также не была выловлена.

Вывод. Таким образом, основные размерно-весовые показатели исследованной группировки линия

укладываются в диапазон изменчивости, известный для вида из различных водоёмов, а выявленные половые различия по массе, форме тела и размерам плавников дополняют имеющиеся сведения о морфологической дифференциации полов у *Tinca tinca*. Значительное превышение коэффициентов упитанности у самцов при одновременно меньшей общей массе тела объясняется отсутствием генеративной ткани и, по-видимому, более высоким содержанием соматических резервов, тогда как у самок существенная доля энергетических ресурсов перераспределена в гонады.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Крайнюк В. Н., Асылбекова С. Ж. Линь *Tinca tinca* (L., 1758) водохранилищ канала им. К. Сатпаева // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2013. № 1. С. 29–34. EDN PZXEVN.
2. Моружи И. В., Пищенко Е. В., Белоусов П. В., Выжитович М. В. Морфологические особенности линия (*Tinca tinca*, L.) водоемов Новосибирской области // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2015. № 6. С. 31–38. EDN UKUAYF.
3. Безматерных В. В., Щербина Г. Х. Питание линия *Tinca tinca* (Cyprinidae) в условиях малого эвтрофного водоема // Вопросы ихтиологии. 2018. Т. 58, № 4. С. 464–470. DOI 10.1134/S004287521804001X. EDN OXWGLX.
4. Никитенко А. И., Горячев Д. В., Артеменков Д. В. [и др.] Ихтиологические наблюдения и индикаторная оценка популяций (LBI) рыб в Рыбинском водохранилище в 2024 г. // Вопросы рыболовства. 2025. Т. 26, № 3. С. 99–126. DOI 10.36038/0234-2774-2025-26-3-99-126. EDN IBVSTX.
5. Днекешев А. К. Промысловая ихтиофауна озера Сарышыганак Западно-Казахстанской области // Вестник Западно-Казахстанского инновационно-технологического университета. 2023. Т. 25, № 1. С. 182–188. EDN IVRTGK.
6. Терещенко В. Г., Стрельников А. П., Быков А. Д. [и др.] Методы ихтиологических исследований : учебное пособие / под ред. В. Г. Терещенко. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. 280 с.

References

1. Krajnyuk V. N., Asylbekova S. Zh. Lin' *Tinca tinca* (L., 1758) vodohranilishch kanala im. K. Satpaeva // Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe hozyajstvo. 2013. № 1. S. 29–34. EDN PZXEVN.
2. Moruzi I. V., Pishchenko E. V., Belousov P. V., Vyzhitovich M. V. Morfologicheskie osobennosti linya (*Tinca tinca*, L.) vodoemov Novosibirskoy oblasti // Rybovodstvo i rybnoe hozyajstvo. 2015. № 6. S. 31–38. EDN UKUAYF.
3. Bezmaternykh V. V., Shcherbina G. Kh. Pitanie linya *Tinca tinca* (Cyprinidae) v usloviyah malogo evtrofnogo vodoyoma // Voprosy ihtologii. 2018. T. 58, № 4. S. 464–470. DOI 10.1134/S004287521804001X. EDN OXWGLX.
4. Nikitenko A. I., Goryachev D. V., Artemenkov D. V. [i dr.] Ihtologicheskie nablyudeniya i indikatornaya ocenka populyacij (LBI) ryb v Rybinskom vodohranilishche v 2024 g. // Voprosy rybolovstva. 2025. T. 26, № 3. S. 99–126. DOI 10.36038/0234-2774-2025-26-3-99-126. EDN IBVSTX.
5. Dnekeshev A. K. Promyslovaya ihtiofauna ozera Saryshyganak Zapadno-Kazhstanskoy oblasti // Vestnik Zapadno-Kazhstanskogo innovacionno-tekhnologicheskogo universiteta. 2023. T. 25, № 1. S. 182–188. EDN IVRTGK.
6. Tereshchenko V. G., Strel'nikov A. P., Bykov A. D. [i dr.] Metody ihtologicheskikh issledovaniy : uchebnoe posobie / pod red. V. G. Tereshchenko. Rostov-na-Donu : Izd-vo YuNC RAN, 2011. 280 s.

Сведения об авторах

Елена Гамеровна Скворцова – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 5512-9557.

Александра Владимировна Мостофина – старший преподаватель кафедры зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 8161-7827.

Шахром Сафаралиевич Боронов – аспирант кафедры зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 7395-5640.

Information about the authors

Elena G. Skvortsova – Candidate of Biological Sciences, Docent, Head of the Department of Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 5512-9557.

Aleksandra V. Mostofina – Senior lecturer of the Department of Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code:

Shahrom S. Boronov – Postgraduate student of the Department of Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 7395-5640.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 639.111
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.002

СОСТОЯНИЕ МОНИТОРИНГА И УЧЁТЫ ЧИСЛЕННОСТИ КАБАНА В РОССИИ

**А. В. Давыдов¹, Н. А. Моргунов², А. А. Фёдоров³, Н. В. Ломанова⁴,
И. С. Караваева⁵, М. К. Чугреев⁶**

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Васильевич Давыдов,
oxotkontr-om@mail.ru

Реферат. С 2010 г. численность кабана на территории России резко сократилась, что стало следствием борьбы с эпизоотией африканской чумы свиней. Состояние численности кабана в субъектах РФ часто оценивается на основе не вполне достоверных или неверных данных, предоставляемых охотпользователями, что отчасти связано с мерами по сокращению поголовья этого вида. Исходя из этого, совершенствование мониторинга состояния ресурсов кабана является актуальной задачей, а перспективным направлением – применение в учётах современных инновационных технических средств. В статье анализируются особенности биологии кабана, которые следует учитывать при выборе методов учёта этого вида. Приводится сравнительная оценка методов учёта. Рассматриваются методические основы проведения авиаучёта кабана с применением беспилотного воздушного судна и представлены результаты апробации метода учёта с применением БВС (квадрокоптера). Установлены параметры учёта, позволяющие обеспечить необходимую достоверность учётных данных, и представлен порядок проведения учёта кабана с применением БВС.

Ключевые слова: кабан, мониторинг, учёты численности, методы учёта, авиаучёт, беспилотное воздушное судно, охотничьи ресурсы, охотничье хозяйство

THE STATE OF MONITORING AND COUNTING OF WILD BOAR POPULATION IN RUSSIA

**A. V. Davydov¹, N. A. Morgunov², A. A. Fedorov³, N. V. Lomanova⁴,
I. S. Karavaeva⁵, M. K. Chugreev⁶**

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Federal Research Center for Development of Game Management, Moscow, Russia

Author responsible for the correspondence: Andrey V. Davydov,
oxotkontr-om@mail.ru

Abstract. Since 2010, the number of wild boar in Russia has sharply decreased, which was the result of the fight against the African swine fever epidemic. The state of the wild boar population in the territorial entities of the Russian Federation is often estimated on the basis of not quite reliable or incorrect data provided by hunting providers, which is partly due to measures to reduce the number of this species. Based on this, improving the monitoring of the state of wild boar resources is an urgent task, and the use of modern innovative technical means in accounting is a promising direction. The article analyzes the features of the biology of wild boar, which should be taken into account when choosing accounting methods for this species. A comparative assessment of accounting methods is given. The methodological principles of conducting an aerial wild boar count using an unmanned aircraft are considered and the results of testing the accounting method using UAV (quadcopter) are presented. The accounting parameters have been established to ensure the necessary reliability of accounting data, and the procedure for conducting a wild boar census using UAVs have been presented.

Keywords: wild boar, monitoring, population counts, accounting methods, aerial count, unmanned aerial vehicle, hunting resources, hunting industry

Финансирование: статья подготовлена в рамках исполнения темы государственного задания ФГБУ «ФНИЦ Охота» № 1025031100251-1-1.6.20 «Совершенствование мониторинга численности и оценка состояния отдельных видов охотничьих ресурсов Российской Федерации».

Введение. Кабан – ценный охотничий ресурс и популярный объект охоты. Пик его численности на территории России пришёлся на начальный период распространения африканской чумы свиней (АЧС) в стране в 2010–2012 гг., а затем наступил период депопуляции – целенаправленного сокращения численности вида с целью купирования АЧС. Динамика численности кабана за последний пятнадцатилетний период показывает, что поголовье этого вида в России резко снизилось и продолжает снижаться, причём особенно заметно оно сократилось в Центральном ФО (табл. 1). Данное сокращение является следствием борьбы с эпизоотией африканской чумы свиней.

Численность кабана в охотничьих угодьях указывают не всегда корректно (причины этого будут рассмотрены ниже), а, следовательно, представленные в таблицах цифры лишь приблизительно отражают состояние ресурсов этого вида и могут быть далеки от истинных значений. Для повышения достоверности оценки численности кабана необходимо совершенствовать его мониторинг, тем более что современные инновационные технические средства позволяют выработать более эффективные методы его учёта.

Нами проведён краткий анализ осуществления мониторинга кабана в России и имеющихся методов его учёта, а также рассмотрен разработанный методологический подход авиаучёта этого вида с применением беспилотного воздушного судна (квадрокоптера).

Материалы и методы. Для сравнительного анализа методов учёта кабана использовались следующие методические материалы:

1. Методика учета численности кабана в местах концентрации (на подкормочных площадках, кормовых полях, а также в иных местах концентрации) при угрозе возникновения и распространения заразных, в том числе особо опасных, болезней животных (утверждена приказом ФГБУ «ФЦРОХ» от 16 августа 2022 г. № 53).

2. Методика учета численности охотничьих ресурсов методом зимнего маршрутного учета (утверждена приказом ФГБУ «ФНИЦ Охота» от 22 ноября 2023 года № 49).

3. Методика учета численности охотничьих ресурсов методом шумового прогона (утверждена приказом ФГБУ «ФНИЦ Охота» от 22 ноября 2023 года № 49).

4. Методика учета численности охотничьих ресурсов методом авиаучета (утверждена приказом ФГБУ «ФНИЦ Охота» от 22 ноября 2023 года № 49).

5. Кузякин В. А., Челинцев Н. Г., Ломанов И. К. Методические рекомендации по авиаучёту лося и других лесных копытных животных на больших территориях. М. : ФГНУ Росинформагротех, 2009. 32 с.

Апробация методологических подходов по авиаучёту кабана проводилась в охотничьих угодьях Калужской области в 2024–2025 гг. Наблюдения велись в осенний сезон (сентябрь – ноябрь) в период вечерней активности кабанов с 19 часов до полуночи. Применялся квадрокоптер DJIMavic 3 PRO, оснащённый тепловизионной камерой с разрешением 640x512 пикселей с фокусным расстоянием 9,1 мм. Производилось обследование мест концентраций кабанов (сельскохозяйственные поля и примыкающие к ним лесные массивы) и съёмка кабанов в разных тестовых режимах с целью определения оптимальных параметров учёта, позволяющих обеспечить необходимую достоверность учётных данных.

Результаты исследований и обсуждение. Основной мерой по борьбе с АЧС стало поддержание численности кабана на низком уровне. Несмотря на затухание эпизоотии АЧС (в 2025 г. и в первом полугодии 2026 г. вспышки заболевания среди диких и домашних свиней не регистрировались), данная мера действует до сих пор.

В 2016 г. вышло распоряжение Правительства РФ № 2048-р «О плане действий по предотвращению заноса на территорию РФ африканской чумы свиней и ее распространения на территории РФ», которое рекомендовало обеспечить снижение численности и миграционной активности диких кабанов в центральных областях России до показателя плотности популяции – 0,25 особи на 1000 гектаров. Данная рекомендация с тех пор ежегодно пролонгируется, при этом список регионов, которых она касается, дополнился. Также в отдельных

Таблица 1 – Численность кабана на территории Российской Федерации и в её округах в 2010–2025 гг. (данные государственного охотхозяйственного реестра)

Российская Федерация, федеральные округа	Численность, тыс. особей			
	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2025 г.
Российская Федерация	404,46	318,04	289,57	98,40
Центральный ФО	129,40	26,64	20,73	7,55
Северо-Западный ФО	46,02	23,98	21,64	6,53
Северо-Кавказский ФО	5,26	4,90	12,07	3,08
Южный ФО	15,38	5,94	5,94	3,25
Приволжский ФО	85,40	67,86	44,75	12,27
Уральский ФО	26,67	42,05	46,29	11,31
Сибирский ФО	25,26	34,34	35,02	16,99
Дальневосточный ФО	71,07	112,32	103,24	37,41

регионах России плотность населения кабана рекомендовано ограничить до показателей 0,3–0,5 особей на 1000 га. Кроме того, в 2014 г. кабан был выведен из списка видов, в отношении которых устанавливаются лимиты добычи.

Многие учёные и специалисты охотничьего хозяйства полагают, что данные меры избыточны, а депопуляция кабана не решает проблему АЧС. По мнению А. А. Данилкина [1], депопуляция неэффективна и даже вредна, поскольку лишь способствует распространению вируса и наносит значительный экономический ущерб охотничьему хозяйству. Основным же виновником распространения вируса является не кабан, а человек. Также депопуляция несовместима с принципом сохранения биологического разнообразия.

Меры по сокращению численности поголовья кабана и выведение его из списка видов, в отношении которых устанавливаются лимиты добычи, привели к тому, что многие охотпользователи учёты кабана стали проводить некачественно, при этом отчитываются, что численность этого зверя в угодьях доведена до рекомендуемых показателей. Часто исполнение мер по сокращению и поддержанию численности кабана на минимальном уровне охотпользователи саботируют и, более того, проводят работы по наращиванию поголовья этого вида. Эту ситуацию необходимо кардинально менять, так как сокрытие истины о фактической численности кабана и низкое качество учётных работ обесценивают данные государственного мониторинга, на основе которых строится экологическое слежение, охрана и рациональное использование ресурсов вида. В случае повторной вспышки АЧС или другой эпизоотии отсутствие объективных данных о численности не позволит своевременно выработать адекватные меры защиты.

Для повышения эффективности мониторинга кабана необходимо усилить контроль за проведением учётов этого вида.

Особенности биологии кабана диктуют использование отличных от других видов копытных методов его учёта. Вид обладает рядом признаков, определяющих

специфичность его учёта. Перечислим эти признаки, которые следует учитывать при выборе методов учёта кабана.

1. Многоплодность и стадность. Кабан имеет высокий потенциал репродукции, который выше, чем у других видов копытных. У дикой свиньи в одном помёте обычно бывает от 4 до 8 поросят, а у отдельных особей их количество достигает 11–15. Уже в годовалом возрасте самки вступают в размножение и приносят потомство. Основу социальной организации кабана составляет семейная группа, которая образована родственниками по материнской линии. Такая группа обычно включает самку-вожака и её дочерей с потомством текущего года, к которым после опороса присоединяются подсинки и взрослые яловые самки. Часть самок с потомством со временем покидает группу и образует новое родственное семейное объединение. Взрослые самцы в основном ведут одиночный образ жизни. Отдельные самцы примыкают к семейным группам только на период гона, другие могут оставаться в группе до весны, но есть и такие, которые сопровождают самок и их потомство и в летний период. Помимо семейных групп и одиночных особей (среди последних, кроме взрослых самцов, могут быть также взрослые самки и подсинки), часто встречаются мелкие группы по 2–5 особей разного состава. Из соседних групп и одиночных особей на территориях, где имеется ограниченный доступ к местам кормёжки, могут формироваться более крупные стада (100 и более особей), но они, как правило, не долговечные и распадаются на родственные субъединицы [2; 3; 4; 5].

Семейная структура стад кабана облегчает проведение его учётов. В местах его обитания присутствие вида можно обнаружить по хорошо видимым тропам, пороям, погрызам, грязевым купалкам. Зимой в снегу кабаны набивают заметные тропы – за взрослыми животными обычно друг за другом следуют сеголетки и подсинки.

При проведении авиаучётов именно семейная структура стад кабана в условиях недостаточной видимости и удалённости позволяет отличать этот вид от других копытных. В частности, при авиаучёте животных с применением БВС, оснащённых тепловизионной камерой, идентифицировать кабанов можно по наличию на экране отдельных крупных и более многочисленных мелких световых пятен, соответственно относящихся к взрослым и молодым особям (подсинки и сеголетки), что не характерно для других видов копытных (олени, косули), у которых молодняка в стаде бывает гораздо в меньшем количестве.

2. Связь с агроландшафтами, отзывчатость на подкормку. Сельскохозяйственные угодья – наиболее предпочитаемые станции кабана (рис. 1).

Расширение ареала кабана к северу и небывалый ранее рост численности этого вида в первую очередь связаны с развитием агроценозов и распашкой земель под посевы.

Благоприятное воздействие на кабана оказывает подкормка. В зимний период, когда имеется дефицит кормов, данный вид биотехнических мероприятий уменьшает смертность кабанов, прежде всего молодня-



Рисунок 1 – Сельскохозяйственные поля с посевами – типичные кормовые станции кабана

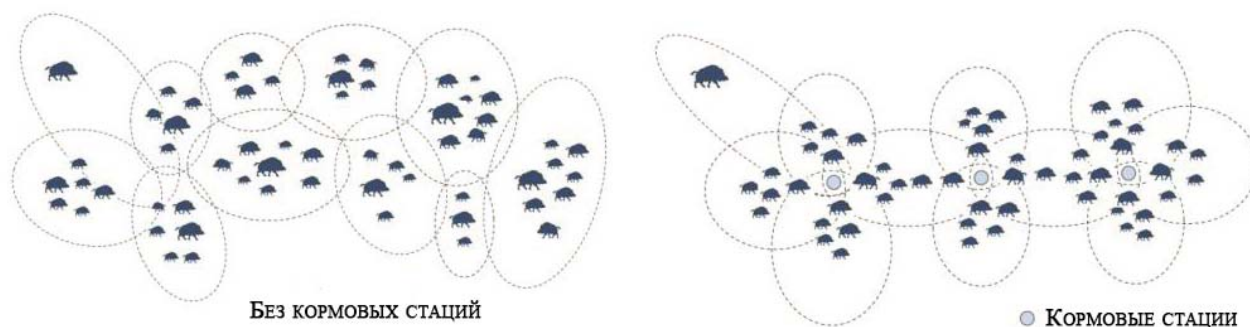


Рисунок 2 – Схемы распространения кабанов при наличии и отсутствии кормовых станций [13]

ка, и повышает уровень их воспроизводства. Животные привыкают к местам выкладки кормов и постоянно держатся недалеко от них. Кормовые станции (сельскохозяйственные и специально создаваемые кормовые поля, а также подкормочные площадки) «притягивают» кабанов с окружающих территорий, вокруг них создаются избыточные плотности населения (концентрации) этих животных, что при проведении учётов повышает точность оценок их численности (рис. 2).

3. *Относительно осёдлый образ жизни.* Кабаны не склонны к миграциям, а при благоприятных кормовых и защитных условиях постоянно держатся в одном месте. По данным массового мечения кабанов в Германии было установлено, что все сеголетки находились в радиусе 2,5 км от мест мечения. Многие самки, достигнув репродуктивного возраста, остаются в местах рождения, не удаляясь от них далее 4–5 км, и здесь же выводят своё потомство. В госкомплекс «Завидово» годовалые самки от мест мечения уходили на расстояние 6–7 км, годовалые самцы – на расстояние 19–24 км. Более выражены миграции у самцов старше двух лет, но в целом и для них характерна относительная осёдлость [4; 5; 6; 7].

Большинство семейных групп кабанов при отсутствии беспокойства в течение года держатся на участках размером в 200–500 га. В зимний период, особенно при глубоком снежье, участки обитания могут сокращаться. Нередко зимой кабаны устраивают лёжки в густом еловом лесу, на участках, заросших кустарником и высокотравьем, в непосредственной близости от кормовых станций (расстояние до них может составлять всего несколько сот метров и даже ближе). Протяжённость суточных переходов у кабанов составляет 2–5 (до 20) км, при глубоком снеге – 0,2–8,5 км, хотя при отсутствии надёжных убежищ, а также при наличии факторов беспокойства и преследовании могут совершать перемещения в несколько десятков и более километров от мест кормления, обилия пищи [4; 5; 8; 9; 10; 11].

Принимая во внимание осёдлость кабана и его приверженность к обитанию вблизи кормовых станций (сельхозугодья, подкормочные площадки) для этого вида в большей мере подходит учёт в границах небольших по площади охотничьих угодий. Этим учёты кабана отличаются от учётов некоторых других представителей лесных видов копытных (лось, северный олень, отчасти благородный олень и косуля), для которых требуется более широкий охват территорий. При проведении

авиаучётов кабана можно ограничиться применением более дешёвых и простых в использовании БВС небольшого радиуса действия, а именно, мультикоптеров (квадрокоптеров) различного типа (Mavic, Геоскан и др.).

В настоящее время совершенствование мониторинга кабана может идти путём разработок новых методологических подходов учёта, основанных на применении современных инновационных технических средств (БВС, автоматические обзорные камеры – фотоловушки, тепловизионные приборы, приборы ночного видения, средства мечения, использующие спутниковую телеметрию для отслеживания перемещений животных).

Для учётов кабанов в настоящее время применяются ряд методов:

1. *Учёт в местах искусственных концентраций (на подкормочных площадках).* В организованных охотничьих хозяйствах, в которых осуществляется подкормка, данный метод рассматривается как наиболее эффективный. Учёт проводится путём непосредственного визуального подсчёта кабанов учётчиками с вышек или оборудованных на деревьях площадок либо путём регистрации животных с помощью фотоловушек, установленных вблизи подкормочных площадок. Для получения объективной информации о поголовье кабана подсчёт зверей осуществляют одновременно на всех подкормочных площадках, имеющих в охотничьих угодьях, в течение нескольких дней подряд в одни и те же часы.

Кабаны посещают подкормочные площадки обычно в сумерках и ночью, реже днём. При непосредственном визуальном наблюдении для более точного определения пола и возраста учётчики используют бинокли и приборы ночного видения. Такой учёт требует соблюдать тишину и осторожность – малейший шорох, заметные движения пугают животных, и они моментально покидают подкормочную площадку.

При проведении учётов с помощью фотоловушек особое внимание следует обращать на их установку, которая включает тщательный выбор места, умение правильно сориентировать камеру на местности с учётом рельефа, маскировки, возможного максимального обзора и прочее, иначе часть животных, выходящих на подкормочную площадку, может оказаться за пределами видимости.

Учёт кабана в местах его концентраций (на подкормочных площадках) применим в охотничьих угодьях,

где имеется необходимое для получения объективной оценки численности животных количество подкормочных площадок, на которых осуществляется регулярная подкормка.

2. *Учёт на сельскохозяйственных (кормовых) полях.* Данный метод аналогичен учёту на подкормочных площадках. Его проводят учётки, которые для наблюдения за кабаном располагаются по краям или непосредственно в поле на площадках, оборудованных на деревьях. Данный метод используют в период вегетации кормовых растений или после его окончания перед уборкой урожая. При наличии значительных по площади полей этот метод требует привлечения большего количества учётников.

3. *Зимний маршрутный учёт (ЗМУ).* Метод основан на подсчёте следовых пересечений животных в зимний период. В охотничьих хозяйствах ЗМУ используется комплексно для учёта разных видов зверей и птиц, которые зимой ведут активный образ жизни. Для учёта кабана метод не вполне подходит, так как кабаны при снежном покрове, особенно если он глубокий, обычно идут друг за другом, и определить количество животных, пересекших учётный маршрут, далеко не всегда удаётся. Кроме того, в конце зимы, когда проводится ЗМУ и наблюдается глубокоснежье, кабаны снижают свою активность и не оставляют следов. Как итог, полученные результаты могут быть занижены. Метод применим только на территориях, где в зимний период имеется снежный покров.

4. *Учёт прогоном.* Для проведения учёта выбираются пробные площадки, на которых подсчитывается количество находящихся на них выгоняемых зверей. Наилучшее время для проведения учёта этим методом – снежный период, когда имеется возможность не только непосредственно наблюдать зверей, но и определять их численность по следам. Перед началом прогона по периметру площадки затирают все входные и выходные следы кабанов. После этого с одной стороны площадки заходят загонщики и идут цепью в одном направлении на расстоянии около 100–150 м друг от друга, выгоняя таким образом животных с площадки. Численность кабанов на площадке определяют по количеству выходных следов, а уточняют с учётом количества визуально

наблюдаемых животных. Для территорий, где в период учёта отсутствует снежный покров, учитывают только самих животных, которых фиксируют учётки, расставленные по границам площадки на расстоянии видимости друг от друга.

Данный метод при надлежащей его организации считается наиболее точным, но в то же время является самым трудоёмким.

5. *Опросно-анкетный метод учёта.* Данный метод основан на субъективной оценке численности, получаемой от охотников, работников охотничьих хозяйств и др. Точность метода повышается при создании корреспондентской сети с большим и постоянным составом участников. Ввиду наличия в большей мере, по сравнению с вышеперечисленными наземными методами учёта, субъективной составляющей, оценка численности этим методом может быть крайне приближительна.

6. *Авиаучёт.* До появления БВС учёт кабана осуществлялся с использованием пилотируемых летательных аппаратов (легкомоторные самолёты и вертолёты), при этом широкого применения этот метод в отношении данного вида не нашёл. Принцип проведения авиаучётных работ по кабана с пилотируемым вариантом тот же, что и для остальных видов копытных (часто все виды копытных при авиаучёте учитываются совместно). Определяется территория обследования, и в её границах осуществляется облёт всех пригодных для обитания кабана угодий по запланированным параллельным галсам. Учётчики, сидящие по бортам летательных аппаратов, осматривают местность в полосе 100–200 м и фиксируют (записывают в блокнот и/или снимают на фото-видеокамеры) всех встреченных животных. Работы проводятся в снежный период года, когда отсутствует лиственный покров на деревьях и животные более заметны.

Метод учёта с использованием пилотируемых летательных аппаратов эффективен для проведения учётов копытных животных на больших территориях, но экономически он слишком затратен. Для учёта кабана он пригоден в меньшей степени, поскольку вид для обитания выбирает хорошо защищённые угодья (густые хвойники и кустарники, тростниковые заросли), где его сложно



Рисунок 3 – Съёмка кабанов тепловизионной камерой квадрокоптера с высоты 43 м (угол обзора 31°)

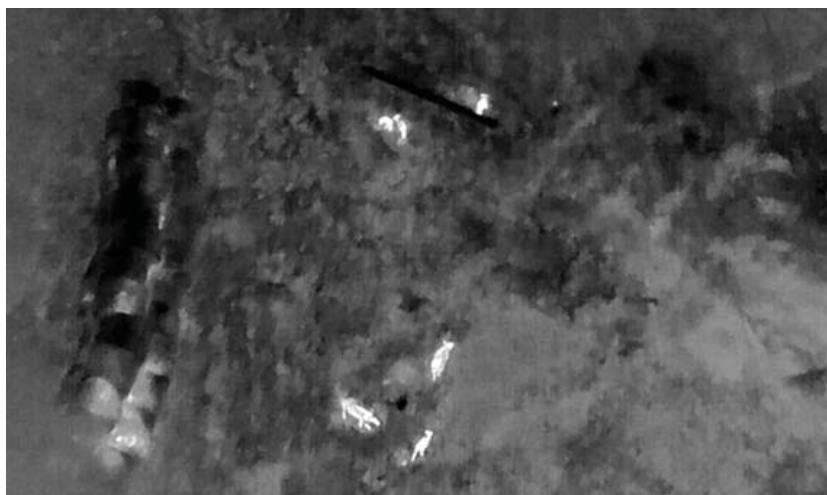


Рисунок 4 – Съёмка кабанов тепловизионной камерой квадрокоптера с высоты 28 м (угол обзора 50°)

обнаружить даже с высоты. На небольших высотах пилотируемые летательные аппараты не используются, так как их большие размеры и издаваемый ими сильный шум вызывает испуг у кабанов, которые убегают или затаиваются.

Новейшие технологии с применением небольших и малошумных БВС, спутниковой навигации, средств объективного контроля (фото-видеокамер с высоким разрешением, приборов ночного видения, тепловизоров и др.) во многом устраняют недостатки, присущие учёту с использованием пилотируемых летательных аппаратов. Дополнительным преимуществом метода является возможность применения автоматизированных методов анализа учётных данных с помощью нейронных сетей. В лесостепной зоне, во многих районах центральной части России и южной части Сибири, где имеются большие площади сельхозугодий, данный метод может рассма-

триваться как наиболее перспективный.

В задачи исследований по отработке методологических подходов входило определение оптимальных расстояний от БВС (в нашем случае использовался квадрокоптер) до кабанов по высоте и в горизонтальной плоскости, которые позволяют идентифицировать кабанов без проявления у них выраженных реакций, в частности убегания или затаивания. Так, опытным путём, с учётом технических характеристик применяемого квадрокоптера, нами было установлено, что животные начинают испытывать минимальный стресс (настораживаются) при пролёте над ними на высоте 100–150 м. Но на этих высотах при указанном значении разрешения применяющейся тепловизионной камеры идентификация кабанов становится невозможной, поэтому наши исследования проводились на высотах ниже пороговых значений – на высотах от 30 до 50 м (рис. 3). При высо-



Рисунок 5 – Съёмка кабанов тепловизионной камерой квадрокоптера с высоты 75 м (угол обзора 17°)



Рисунок 6 – Треки маршрутов полёта квадрокоптера с отметками съёмки кабанов

те 50 м размер пикселя (пкс) на местности (показатель GSD) составлял 6,6 см, то есть тепловое пятно от взрослого кабана (размеры 150 см в длину и 50 см в ширину) имело размеры 22 x 7 пкс, сеголеток – 9 x 3 пкс. Таким образом, размеры и формы тепловых пятен от кабанов, получаемых при съёмке на высотах 30–50 м, позволяют отличать кабанов от других видов копытных (лось, олени, косуля) и определять их возрастной состав.

Также было установлено, что реакция кабанов при приближении квадрокоптера может быть различна как в отношении отдельных индивидуумов, так и групп. На фото (рис. 4) показаны кабаны, зафиксированные в ходе выполнения съёмки с высоты 28 м при угле обзора 50°. Эти животные неспешно убегали в лес, пока их около минуты сопровождал квадрокоптер.

При подлёте к кабанам сбоку дистанцию вспугивания определить сложно, и, видимо, она близка к тем значениям, которые указывают для других видов копытных. В частности, для крупных наземных млекопитающих рекомендуется, при приближении к ним беспилотных летательных аппаратов, соблюдать высоту более 60 м, а расстояние в горизонтальной плоскости – более 100 м (Bennit et al., 2019). Дистанция, как по высоте, так и горизонтали при учёте кабанов может быть сокращена, но оператор должен фиксировать реакции животных и не приближаться к ним дрон при проявлении признаков беспокойства. Следует отметить, что кабаны, привычные к различным источникам шума (к примеру, шум автотранспорта), проявляют менее выраженную реакцию.

Если учёт кабанов проводится на больших по площади территориях обследования (например, обширные сельскохозяйственные поля), то вначале целесообразно зафиксировать всех животных на широком участке, находящемся в зоне обзора камеры, а затем последовательно совершить облёт территории с целью идентификации кабанов (для исключения подсчёта иных объектов), а также определения их возрастного состава. Высота полёта с целью фиксации их наличия должна позволять провести их поголовный подсчёт с погрешностью, не превышающей 10–20%. На рисунке 4 представлена панорама территории с кормящимися на поле кабанями с высоты 28 м (угол обзора 50°), а на рисунке 5 – с высоты 75 м (угол обзора 17°).

Если ставится задача только произвести оценку численности кабанов, то можно исключить строгую детализацию половозрастной принадлежности, а состав стада определять классическими наземными методами (на подкормочных площадках, по следам) либо использовать БВС с ИК-матрицами высокого разрешения (не менее 1280 x 1024 пикселей).

Преимуществом применения БВС при авиаучётах диких животных является возможность использовать телеметрические данные, которые точно регистрируют время и координаты встреч животных, треки маршрутов и высоту полётов в режиме он-лайн (рис. 6).

При применении мультикоптеров (квадрокоптеров) имеются ограничения, связанные с техническими характеристиками этих летательных аппаратов. Прежде всего, это касается ограничений по времени их использования (до 40 мин.), а также следует учитывать их зависимость от погодных условий (дождь, снег, ветер).

Представим порядок проведения учёта кабана с применением БВС.

Учёт проводится поэтапно.

Первый этап. На исследуемой территории, к которой могут быть отнесены отдельные охотничьи хозяйства, региональные заказники и др., на основании рекогносцировочных полётов, наземных обследований, опросных данных определяются места концентраций кабанов (кормовые станции).

Второй этап. Подготавливается электронная схема исследуемой территории и на ней выделяются территория/территории обследования в местах концентраций кабанов. Если территорий обследования несколько, то устанавливается такая последовательность и режим их обследования, которые позволяют провести учёт кабанов на этих территориях в максимально короткие сроки. Если территории обследования имеют большие площади, то для оптимизации работ на этих территориях закладываются примерные полётные маршруты, определяются обзорные точки наблюдения и зоны обхвата территории (рис. 7).

Площади зон обхвата территорий определяются исходя из возможностей обзора территории при круговом вращении тепловизионной камеры вокруг обзорных точек наблюдения, зависят от разрешающей способности

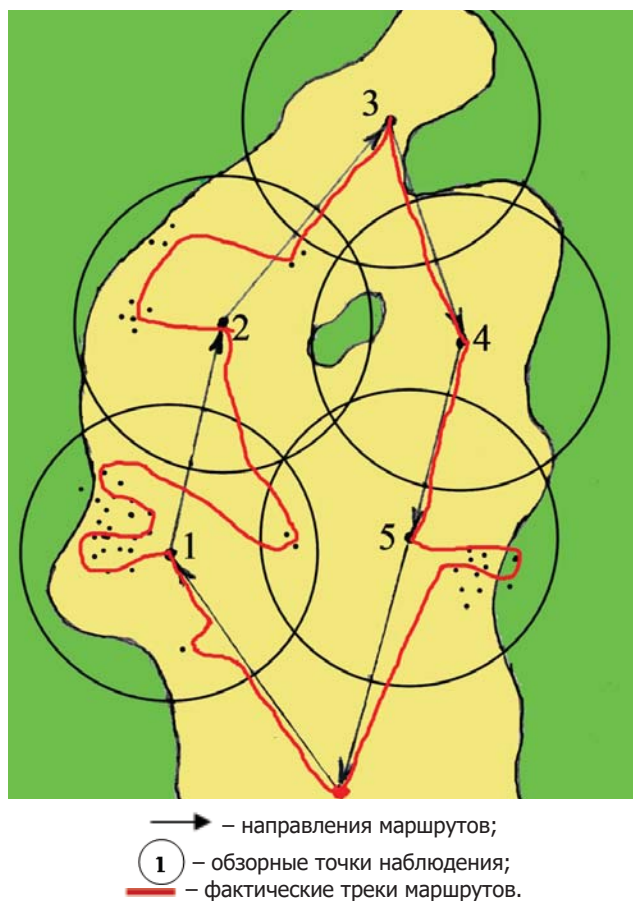


Рисунок 7 – Схема проведения учёта кабана с применением БВС на больших площадях обследования

тепловизионной камеры и высоты полёта БВС и устанавливаются таким образом, чтобы на всём пространстве зоны можно было выявить кабанов по наличию светящихся точек на экране. Зоны должны занимать всю площадь обследуемой территории.

Для уточнения расположения обзорных точек наблюдения и зон обхвата территории целесообразно перед началом учётов провести пробные полёты.

Третий этап. Осуществление полётов на территориях обследования с целью учёта численности кабанов. Полёты должны проводиться на высоте, при которой кабаны не испытывают сильный испуг, не затаиваются и не разбегаются.

На небольших по площади территориях обследования БВС зависает на одном месте, и оператор производит круговую съёмку территории с целью выявления кабанов, на наличие которых могут указывать светящиеся точки на экране. Если по светящимся точкам можно идентифицировать кабанов, а также их пол и возраст, то тогда производится их фиксация без перемещения БВС. Если по светящимся точкам идентифицировать кабанов, а также их пол и возраст невозможно из-за большого расстояния, наличия высоких растений, рельефа местности, присутствия других видов животных и иных объектов, которые дают тепловые излучения, то тогда осуществляется подлёт к местам расположения объекта (объектов) с целью их идентификации, при этом допускается снижение БВС для более точного опознания объекта (объектов).

При большой площади обследования, на которой выделены зоны обследования, последовательно осуществляют полёты от одной обзорной точки к другой, и производят видеосъёмку всех кабанов, находящихся в зонах обследования. Авиачёт на территории обследования должен проводиться таким образом, чтобы исключить повторный учёт одних и тех же животных.

На каждой территории обследования учёты должны длиться не менее 3-х дней за период учётных работ.

Четвертый этап. Производится визуальная обработка полученных с территорий обследования видеоматериалов, идентификация на них кабанов с определением их количества и половозрастной структуры с последующим расчётом численности этого вида на исследуемой территории.

Выводы. Совершенствование мониторинга состояния ресурсов кабана целесообразно осуществлять на основе применения современных инновационных технических средств и разработки эффективных методов учёта. Одним из таких перспективных методов является учёт с применением БВС. По сравнению с другими методами, как наземными, так и традиционным авиачётом с учётчиками на борту пилотируемого летательного аппарата, применение БВС и средств объективного контроля позволит практически исключить субъективную составляющую учёта, влияющую на достоверность показателей численности кабана, при этом они будут получены за относительно короткое время с минимумом трудозатрат.

Список источников

1. Данилкин А. А. Управление ресурсами кабана и других животных при африканской чуме свиней. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2020. 150 с. ISBN 978-5-907213-53-1.
2. Майнхардт Х. Моя жизнь среди кабанов / перевод с нем. А. И. Цыганова. М. : Лесн. пром-сть, 1983. 129 с.
3. Майнхардт Х. Рассказы о диких кабанях. Минск : Ураджай, 1986. 110 с.
4. Царев С. А. Кабан. Социальное и территориальное поведение // Охотничьи животные России. М., 2000. Вып. 3. 113 с.
5. Данилкин А. А. Свиные (Suidae). М. : ГЕОС, 2002. 308 с. ISBN 5-89118-228-09.
6. Stubbe C. Lebensraumnutzung und Populationsumsatz des Schwarzwildes in DDR // Unsere Jagd. 1987. Bd. 37. № 8. S. 228–230.
7. Мануш П., Николаев В. Мечение – перспективный метод изучения кабана // Охота и охотничье хозяйство. 1995. № 6. С. 12–15. ISSN 0131-2596.
8. Слудский А. А. Кабан (морфология, экология, хозяйственное и эпизоотологическое значение, промысел). Алма-Ата : Изд-во Акад. наук КазССР, 1956. 220 с.
9. Бромлей Г. Ф. Уссурийский кабан. М. : Наука, 1964. 107 с.
10. Козло П. Г. Дикий кабан. Минск : Ураджай, 1975. 223 с.

11. Иванова Г. И., Овсюкова Н. И. Кабан // Охота на копытных (биологические основы промысла. М. : Лесн. пром-сть, 1976. С. 103–161.
12. Bennitt E., Bartlam-Brooks H. L. A., Hubel T. Y., Wilson A. M. Terrestrial mammalian wildlife responses to Unmanned Aerial Systems approaches // Scientific Reports. 2019. Vol. 9, No 1. Art. 2142. DOI 10.1038/s41598-019-38610-x.
13. Постоянная группа экспертов по африканской чуме свиней в Европе под эгидой GF-TADs. Руководство по африканской чуме свиней у диких кабанов и биобезопасности на охоте. GF-TADs Handbook on ASF in wild boar and biosecurity during hunting – version 19/12/2018. URL: <https://dor.samregion.ru/wp-content/uploads/sites/10/2019/10/Rukovodstvo-po-afrikanskoj-chume-svinej-u-dikih-kabanov-i-biobezopasnosti-na-ohote.pdf?ysclid=mu2bx3wzaq76494816> (дата обращения: 01.09.2026)

References

1. Danilkin A. A. Upravlenie resursami kabana i drugih zhivotnyh pri afrikanskoj chume svinej. M. : Tovarishestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2020. 150 s. ISBN 978-5-907213-53-1.
2. Majnkhardt Kh. Moya zhizn' sredi kabanov / perevod s nem. A. I. Tsyganova. M. : Lesn. prom-st', 1983. 129 s.
3. Majnkhardt Kh. Rasskazy o dikih kabanah. Minsk : Uradzaj, 1986. 110 s.
4. Tsarev S. A. Kaban. Social'noe i territorial'noe povedenie // Ohotnich'i zhivotnye Rossii. M., 2000. Vyp. 3. 113 s.
5. Danilkin A. A. Svine (Suidae). M. : GEOS, 2002. 308 s. ISBN 5-89118-228-09.
6. Stubbe C. Lebensraumnutzung und Populationsumsatz des Schwarzwildes in DDR // Unsere Jagd. 1987. Bd. 37. № 8. S. 228–230.
7. Manush P., Nikolaev V. Mechenie – perspektivnyj metod izucheniya kabana // Ohota i ohotnich'e hozyajstvo. 1995. № 6. S. 12–15. ISSN 0131-2596.
8. Sludskij A. A. Kaban (morfologiya, ekologiya, hozyajstvennoe i epizootologicheskoe znachenie, promysel). Alma-Ata : Izd-vo Akad. nauk KazSSR, 1956. 220 s.
9. Bromlej G. F. Ussurijskij kaban. M. : Nauka, 1964. 107 s.
10. Kozlo P. G. Dikij kaban. Minsk : Uradzaj, 1975. 223 s.
11. Ivanova G. I., Ovsyukova N. I. Kaban // Ohota na kopytnykh (biologicheskie osnovy promysla. M. : Lesn. prom-st', 1976. S. 103–161.
12. Bennitt E., Bartlam-Brooks H. L. A., Hubel T. Y., Wilson A. M. Terrestrial mammalian wildlife responses to Unmanned Aerial Systems approaches // Scientific Reports. 2019. Vol. 9, No 1. Art. 2142. DOI 10.1038/s41598-019-38610-x.
13. The Standing Group of Experts on African Swine Fever in Europe under the auspices of GF-TADs. Rukovodstvo po afrikanskoj chume svinej u dikih kabanov i biobezopasnosti na ohote. GF-TADs. Handbook on ASF in wild boar and biosecurity during hunting – version 19/12/2018. – URL: <https://dor.samregion.ru/wp-content/uploads/sites/10/2019/10/Rukovodstvo-po-afrikanskoj-chume-svinej-u-dikih-kabanov-i-biobezopasnosti-na-ohote.pdf?ysclid=mu2bx3wzaq76494816> (data obrashcheniya: 01.09.2026)

Сведения об авторах

Андрей Васильевич Давыдов – кандидат биологических наук, заведующий отделом мониторинга и опытных работ в охотничьем хозяйстве, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства», spin-код: 2743-8707.

Николай Александрович Моргунов – кандидат биологических наук, директор, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства», spin-код: 2849-2069.

Андрей Александрович Федоров – главный специалист отдела мониторинга и опытных работ в охотничьем хозяйстве, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства».

Наталья Валентиновна Ломанова – заместитель директора – заведующий отделом госохотучета и рационального использования объектов животного мира, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства», spin-код: 7998-7880.

Ирина Сергеевна Караваева – кандидат биологических наук, заведующий отделом научных исследований в сфере охотничьего хозяйства, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства», spin-код: 7668-2022.

Михаил Константинович Чугреев – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела научных исследований в сфере охотничьего хозяйства, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства», spin-код: 7139-8979.

Information about the authors

Andrey V. Davydov – Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Monitoring and Experimental Work in the Hunting Industry, Federal State Budgetary Institution Federal Research Center for Development of Game Management, spin-code: 2743-8707.

Nikolay A. Morgunov – Candidate of Biological Sciences, Director, Federal State Budgetary Institution Federal Research Center for Development of Game Management, spin-code: 2849-2069.

Andrey A. Fedorov – chief specialist of the Department of Monitoring and Experimental Work in the Hunting Industry, Federal State Budgetary Institution Federal Research Center for Development of Game Management.

Natalya V. Lomanova – Deputy Director and Head of the Department for State Accounting and Rational Use of Wildlife Resources, Budgetary Institution Federal Research Center for Development of Game Management, spin-code: 7998-7880.

Irina S. Karavaeva – Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Scientific Research in the Field of Hunting, Federal State Budgetary Institution Federal Research Center for Development of Game Management, spin-code: 7668-2022.

Mikhail K. Chugreev – Doctor of Biological Sciences, Leading Research Officer of the Department of Scientific Research in the Field of Hunting, Federal State Budgetary Institution Federal Research Center for Development of Game Management, spin-code: 7139-8979.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 636.32/38:575.1
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.003

ВАЛОВОЙ ВЫХОД ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ СЪЕДОБНОЙ ЧАСТИ ТУШИ МОЛОДНЯКА ОВЕЦ РАЗНОГО ГЕНОТИПА В 8-МЕСЯЧНОМ ВОЗРАСТЕ

В. И. Косилов¹, И. В. Миронова², С. Г. Исламова³, Р. М. Хабибуллин⁴, О. В. Крупина⁵

¹Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

^{2, 3, 4, 5}Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

²Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Валерьевна Миронова,
mironova_irina-v@mail.ru, ORCID 0000-0002-5948-9563

Реферат. Важным резервом увеличения производства мяса в стране является развитие овцеводства. При этом установлено, что межпородное скрещивание способствует повышению мясной продуктивности помесей и улучшению качества и пищевой ценности мяса. Цель исследования – сравнительная оценка выхода питательных веществ съедобной части туши чистопородного и помесного молодняка овец. При проведении научно-хозяйственного опыта объектом исследования являлись чистопородные баранчики цигайской породы (I группа), помесные баранчики – ½ цигайская х ½ эдильбаевская (II группа), чистопородные валушки цигайской породы (III группа), помесные валушки – ½ цигайская х ½ эдильбаевская. В возрасте 8 мес. был проведён контрольный убой по три головы молодняка каждой подопытной группы. Установлено, что в 8-месячном возрасте помесные баранчики II группы превосходили чистопородных баранчиков I группы по выходу сухого вещества в мякоти туши на 1,01 кг (25,19%), белка – на 0,66 кг (24,35%), экстрагируемого жира – на 0,31 кг (27,68%). В свою очередь, помесные валушки IV группы превосходили чистопородных валушков I группы по величине анализируемых показателей в возрасте 8 мес. на 1,22 кг (31,77%), 0,69 кг (29,36%) и 0,49 кг (36,84%) соответственно. При этом кастрация снижала у валушков выход сухого вещества белка и повышала массу экстрагируемого жира в съедобной части туши.

Ключевые слова: овцеводство, цигайская порода, помеси с эдильбаевской породой, баранчики, валушки, туша, съедобная часть, выход питательных веществ

GROSS NUTRIENT YIELD OF THE EDIBLE PART OF THE CARCASS OF YOUNG SHEEP OF DIFFERENT GENOTYPES AT THE AGE OF 8 MONTHS

V. I. Kosilov¹, I. V. Mironova², S. G. Islamova³, R. M. Khabibullin⁴, O. V. Krupina⁵

¹Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

^{2, 3, 4, 5}Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

²Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Author responsible for the correspondence: Irina V. Mironova,
mironova_irina-v@mail.ru, ORCID 0000-0002-5948-9563

Abstract. An important reserve for increasing meat production in the country is the development of sheep breeding. At the same time, it was found that interbreeding helps to increase the meat productivity of the crossbreeds and improve the quality and nutritional value of meat. The purpose of the study is a comparative assessment of the nutrient yield of the edible part of the carcass of purebred and crossbred young sheep. During the scientific and economic experiment, the object of the research was purebred rams of the Tsigai breed (group I), crossbred rams – ½ Tsigai x ½ Edilbaev (group II), purebred wethers of the Tsigai breed (group III), crossbred wethers – ½ Tsigai x ½ Edilbaev. At the age of 8 months a control slaughter of three heads of young animals of each experimental group was carried out. It was found that at the age of 8 months, crossbred rams of group II exceeded purebred rams of group I in terms of dry matter yield in carcass pulp by 1.01 kg (25.19%), protein – by 0.66 kg (24.35%), extractable fat – by 0.31 kg (27.68%). In turn, crossbred wethers of group IV exceeded purebred wethers of group I in terms of the analyzed indicators at the age of 8 months by 1.22 kg (31.77%), 0.69 kg (29.36%) and 0.49 kg (36.84%), respectively. At the same time, castration reduced the yield of dry protein in the wethers and increased the mass of extractable fat in the edible part of the carcass.

Keywords: sheep breeding, Tsigai breed, crossbreeds with Edilbaev breed, rams, young wethers, carcass, edible part, nutrient yield

Введение. Основной задачей агропромышленного комплекса Российской Федерации является обеспечение населения страны высококачественными продуктами питания, в частности, мясом и мясопродуктами [1–8]. Для её решения необходимо добиться рационального использования имеющихся породных ресурсов всех отраслей животноводства [9–12]. В степных регионах страны особое внимание следует уделить развитию овцеводства [13].

Это обусловлено тем, что овцеводство является малозатратной отраслью с низкой трудоёмкостью, позволяющей разводить овец в отдалённых, малонаселённых районах [14; 15].

При этом в товарном овцеводстве основным методом разведения должно стать межпородное промышленное скрещивание. Это обусловлено тем, что помесный молодняк, вследствие проявления эффекта скрещивания или гетерозиса, отличается более эффективным использованием питательных веществ кормов рациона на синтез мясной продукции. При этом мясо помесного молодняка характеризуется высокими качественными показателями и пищевой ценностью, о чём свидетельствует величина выхода питательных веществ в съедобной части туши помесей.

Материал и методы исследования. При проведении научно-хозяйственного опыта объектом исследо-

вания являлись чистопородные баранчики (I группа) и валушки (III группа) цигайской породы, её полукровные помесные баранчики – ½ цигайская х ½ эдильбаевская (II группа) и помесные валушки – ½ цигайская х ½ эдильбаевская (IV группа).

В возрасте 8 месяцев был проведён контрольный убой по три головы молодняка каждой подопытной группы. После убоя и первичной обработки молодняка туши были подвергнуты обвалке, а мякоть – жиловке. По общепринятым методикам был определён химический состав съедобной части туши, установлено содержание питательных веществ в 1 кг мякоти и валовой их выход в съедобной части туши.

Результаты исследований. Пищевая ценность мясной продукции обусловлена концентрацией питательных веществ. На её уровень существенное влияние оказывает генотип животного. Это положение подтверждается и результатами нашего исследования.

Установлены межгрупповые различия по этому признаку уже у молодняка при убое в 8-месячном возрасте (табл. 1).

Так, помесные баранчики II группы превосходили чистопородных баранчиков I группы по концентрации сухого вещества в 1 кг мякоти на 4,5 г (1,62%), белка – на 1,7 г (0,90%), экстрагируемого жира – на 2,6 г (3,35%).

Таблица 1 – Выход питательных веществ съедобной части туши молодняка овец в 8-месячном возрасте

Группа	Содержится в 1 кг съедобной части туши, г			Содержится в съедобной части туши, кг		
	сухого вещества	белка	экстрагируемого жира	сухого вещества	белка	экстрагируемого жира
I	277,9	188,1	77,6	4,01	2,71	1,12
II	282,4	189,8	80,2	5,32	3,37	1,43
III	297,5	182,0	103,8	3,84	2,35	1,33
IV	311,4	187,1	112,3	5,06	3,04	1,82

В свою очередь, помесные валушки IV группы превосходили чистопородных валушков III группы по величине анализируемых показателей на 13,9 г (4,67%), 5,1 г (2,80%) и 8,5 г (8,19%). При этом по концентрации сухого вещества в 1 кг съедобной части туши чистопородные валушки III группы превосходили чистопородных баранчиков I группы на 19,6 г (7,05%), экстрагируемого жира – на 26,2 г (33,76%), но уступали им по содержанию белка на 6,1 г (3,35%).

Аналогичные межгрупповые различия отмечались и у помесного молодняка. Так, помесные баранчики II группы уступали помесным валушкам IV группы по содержанию сухого вещества в 1 кг мякоти туши на 29,0 г (10,27%), экстрагируемого жира – на 32,1 г (40,02%), но превосходили их по концентрации белка на 2,7 г (1,44%).

Полученные данные и их анализ свидетельствуют, что вследствие разной концентрации питательных веществ и неодинаковой массы мякоти отмечались межгрупповые различия по валовому выходу сухого

вещества, белка и экстрагируемого жира в съедобной части туши молодняка подопытных групп. При этом наблюдалось лидирующее положение помесей. Так, чистопородные баранчики I группы уступали помесным баранчикам II группы по содержанию сухого вещества в съедобной части туши на 1,01 кг (25,19%), белка – на 0,66 кг (24,35%), экстрагируемого жира – на 0,31 кг (27,68%). Преимущество помесных валушков IV группы над чистопородными валушками III группы по величине анализируемых показателей было более существенным и находилось на уровне 1,22 кг (31,77%), 0,69 кг (29,36%) и 0,49 кг (36,84%) соответственно.

Установлено, что кастрация баранчиков способствовала снижению валового выхода сухого вещества и белка и повышению содержания экстрагируемого жира в съедобной части туши валушков.

Достаточно отметить, что чистопородные валушки III группы уступали чистопородным баранчикам I группы по массе сухого вещества в мякоти туши на 0,17 кг (4,43%), белка – на 0,36 кг (15,32%), но превосходи-

ли их по содержанию экстрагируемого жира на 0,21 кг (18,75%).

Аналогичные межгрупповые различия отмечались и у помесного молодняка. Так, помесные баранчики II группы превосходили помесных валушков IV группы по содержанию сухого вещества в съедобной части туши на 0,26 кг (5,14%), белка – на 0,33 кг (10,86%), но уступали им по массе экстрагируемого жира на 0,39 кг (27,27%).

Выводы. Полученные экспериментальные материалы свидетельствуют о высокой пищевой ценности съедобной части туши как чистопородного, так и помесного молодняка овец. Скрещивание цыгайской и эдильбаевской пород способствовало увеличению выхода питательных веществ в мякоти туши. Кастрация баранчиков приводила к снижению выхода сухого вещества, белка и повышению содержания экстрагируемого жира в съедобной части туши валушков, независимо от генотипа.

Список источников

1. Иргашев Т. А., Косилов В. И., Рахимов Ш. Т. [и др.] Эколого-генетические аспекты продуктивных качеств овец разного направления / Институт животноводства таджикской академии сельскохозяйственных наук, Оренбургский государственный аграрный университет, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Башкирский государственный аграрный университет. Душанбе : ЭР-Граф, 2019. 355 с. EDN BQBSBO.
2. Базаев С. О., Юлдашбаев Ю. А., Арилов А. Н. Качественная характеристика мяса калмыцких курдючных овец и их помесей с баранами-производителями породы дорпер // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 5 (85). С. 223–226. DOI 10.37670/2073-0853-2020-85-5-223-226. EDN XLGGFI.
3. Косилов В. И., Никонова Е. А., Траисов Б. Б., Юлдашбаев Ю. А. Пищевая ценность мяса овец разных генотипов // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. № 3. С. 25–26. EDN YLCCFV.
4. Траисов Б. Б., Бейшова И. С., Юлдашбаев Ю. А. [и др.] Морфологические и биохимические показатели крови полутонкорунных овец // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (94). С. 315–319. DOI 10.37670/2073-0853-2022-94-2-315-319. EDN YCAKKU.
5. Бисембаев А. Т., Юлдашбаев Ю. А., Смагулов Д. Б., Айтпаева З. С. Показатели продуктивности овец мясо-сальных пород при различных вариантах подбора // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 103. С. 184–189. DOI 10.21515/1999-1703-103-184-189. EDN BUVFVX.
6. Давлетова А. М., Смагулов Д. Б., Траисов Б. Б. [и др.] Продуктивные качества курдючных овец Западно-Казахстанской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (82). С. 267–270. EDN QQWGM.
7. Губайдуллин Н. М., Амирова Р. И., Косилов В. И. [и др.] Пищевая ценность мясной продукции молодняка романовской породы овец в зависимости от полового диморфизма // Овцы, козы, шерстяное дело. 2026. № 1. С. 11–14. DOI 10.26897/2074-0840-2026-1-11-14. EDN XNLRFL.
8. Шевхужев А. Ф., Бовкун Ю. И. Развитие мясошерстного кроссбредного овцеводства в Карачаево-Черкесии // Зоотехния. 2000. № 7. С. 8–10. EDN UWOFIT.
9. Юлдашбаев Ю. А., Косилов В. И., Никонова Е. А. [и др.] Влияние генотипа баранчиков на минеральный обмен // Овцы, козы, шерстяное дело. 2024. № 1. С. 15–18. DOI 10.26897/2074-0840-2024-1-15-18. EDN JDZERZ.
10. Косилов В. И., Юлдашбаев Ю. А., Никонова Е. А. [и др.] Влияние генотипа молодняка овец на баланс азота // Аграрная наука. 2025. № 4. С. 81–87. DOI 10.32634/0869-8155-2025-393-04-81-87. EDN KETPAC.
11. Шкилев П. Н., Газеев И. Р., Никонова Е. А. Биологическая ценность мяса овец Цыгайской, Южноуральской и Ставропольской пород с учётом возраста, пола и кастрации // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. № 1 (29). С. 181–185. EDN NDRGGT.
12. Косилов В. И., Юлдашбаев Ю. А., Никонова Е. А. [и др.] Влияние генотипа и кастрации баранчиков на потребление и использование энергии питательных веществ кормов рациона // Вестник КрасГАУ. 2024. № 9 (210). С. 135–141. DOI 10.36718/1819-4036-2024-9-135-141. EDN UOLBHI.
13. Ерохин А. И., Магомадов Т. А., Ерохин С. А. [и др.] Эффективность промышленного скрещивания основных пород овец России с производителями разного направления продуктивности // Овцы, козы, шерстяное дело. 2023. № 2. С. 7–13. DOI 10.26897/2074-0840-2023-2-7-13. EDN JUIDPB.
14. Косилов В. И., Юлдашбаев Ю. А., Никонова Е. А. [и др.] Влияние генотипа и кастрации баранчиков на потребление и усвоение валовой энергии отдельных питательных веществ кормов рациона // Аграрная наука. 2026. № 2. С. 68–75. DOI 10.32634/0869-8155-2026-403-02-68-75. EDN SEIFFR.
15. Косилов В. И., Миронова И. В., Исламова С. Г. [и др.] Влияние генотипа молодняка овец на сортовой состав мясной продукции // Вестник АПК Верхневолжья. 2026. № 1 (73). С. 27–32. DOI 10.35694/YARCX.2026.73.1.004. EDN SQJSDL.

References

1. Irgashev T. A., Kosilov V. I., Rakhimov Sh. T. [i dr.] Ekologo-geneticheskie aspekty produktivnykh kachestv ovec raznogo napravleniya / Institut zhivotnovodstva tadzhikskoy akademii sel'skhozaystvennykh nauk, Orenburgskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, Rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet – MSHA im. K. A. Timiryazeva, Bashkirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet. Dushanbe : ER-Graf, 2019. 355 s. EDN BQBSBO.
2. Bazaev S. O., Yuldashbaev Yu. A., Arilov A. N. Kachestvennaya harakteristika myasa kalmyckikh kurdyuchnykh ovec i ih pomesej s baranami-proizvoditelyami porody dorper // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 5 (85). S. 223–226. DOI 10.37670/2073-0853-2020-85-5-223-226. EDN XLGGFI.
3. Kosilov V. I., Nikonova E. A., Traisov B. B., Yuldashbaev Yu. A. Pishchevaya cennost' myasa ovec raznykh genotipov // Ovcy, kozy, sherstyanoe delo. 2018. № 3. S. 25–26. EDN YLCCFV.
4. Traisov B. B., Bejshova I. S., Yuldashbaev Yu. A. [i dr.] Morfologicheskie i biohimicheskie pokazateli krovi polutonorunnykh ovec // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 2 (94). S. 315–319. DOI 10.37670/2073-0853-2022-94-2-315-319. EDN YCAKKU.
5. Bisembaev A. T., Yuldashbaev Yu. A., Smagulov D. B., Ajtpaeva Z. S. Pokazateli produktivnosti ovec myaso-sal'nykh porod pri razlichnykh variantah podbora // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. № 103. S. 184–189. DOI 10.21515/1999-1703-103-184-189. EDN BUVFVX.

6. Davletova A. M., Smagulov D. B., Traisov B. B. [i dr.] Produktivnye kachestva kurdyuchnyh ovec Zapadno-Kazahstanskoj oblasti // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 2 (82). S. 267–270. EDN QQWGOM.
7. Gubajdullin N. M., Amirova R. I., Kosilov V. I. [i dr.] Pishchevaya cennost' myasnoj produkcii molodnyaka romanovskoj породы ovec v zavisimosti ot polovogo dimorfizma // Ovcy, kozy, sherstyanoe delo. 2026. № 1. S. 11–14. DOI 10.26897/2074-0840-2026-1-11-14. EDN XNLRFL.
8. Shevkhuzhev A. F., Bovkun Yu. I. Razvitie myasosherstnogo krossbrednogo ovcevodstva v Karachaevo-Cherkesii // Zoo-tekhnika. 2000. № 7. S. 8–10. EDN UWOFIT.
9. Yuldashbaev Yu. A., Kosilov V. I., Nikonova E. A. [i dr.] Vliyanie genotipa baranchikov na mineral'nyj obmen // Ovcy, kozy, sherstyanoe delo. 2024. № 1. S. 15–18. DOI 10.26897/2074-0840-2024-1-15-18. EDN JDZERZ.
10. Kosilov V. I., Yuldashbaev Yu. A., Nikonova E. A. [i dr.] Vliyanie genotipa molodnyaka ovec na balans azota // Agrarnaya nauka. 2025. № 4. S. 81–87. DOI 10.32634/0869-8155-2025-393-04-81-87. EDN KETPAC.
11. Shkilev P. N., Gazeev I. R., Nikonova E. A. Biologicheskaya cennost' myasa ovec Cigajskoj, Yuzhnoural'skoj i Stavropol'skoj porod s uchotom vozrasta, pola i kastracii // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011. № 1 (29). S. 181–185. EDN NDRGGT.
12. Kosilov V. I., Yuldashbaev Yu. A., Nikonova E. A. [i dr.] Vliyanie genotipa i kastracii baranchikov na potreblenie i ispol'zovanie energii pitatel'nyh veshchestv kormov racionala // Vestnik KrasGAU. 2024. № 9 (210). S. 135–141. DOI 10.36718/1819-4036-2024-9-135-141. EDN UOLBHI.
13. Erokhin A. I., Magomadov T. A., Erokhin S. A. [i dr.] Effektivnost' promyshlennogo skreshchivaniya osnovnyh porod ovec Rossii s proizvoditelyami raznogo napravleniya produktivnosti // Ovcy, kozy, sherstyanoe delo. 2023. № 2. S. 7–13. DOI 10.26897/2074-0840-2023-2-7-13. EDN JUIDPB.
14. Kosilov V. I., Yuldashbaev Yu. A., Nikonova E. A. [i dr.] Vliyanie genotipa i kastracii baranchikov na potreblenie i usvoenie valovoj energii otidel'nyh pitatel'nyh veshchestv kormov racionala // Agrarnaya nauka. 2026. № 2. S. 68–75. DOI 10.32634/0869-8155-2026-403-02-68-75. EDN SEIFFR.
15. Kosilov V. I., Mironova I. V., Islamova S. G. [i dr.] Vliyanie genotipa molodnyaka ovec na sortovoj sostav myasnoj produkcii // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2026. № 1 (73). S. 27–32. DOI 10.35694/YARCX.2026.73.1.004. EDN SQJSDL.

Сведения об авторах

Владимир Иванович Косилов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет», spin-код: 1802-6176.

Ирина Валерьевна Миронова – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии мясных, молочных продуктов и химии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»; заведующий кафедрой современных технологий пищевых индустрий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», spin-код: 7655-5831.

София Гиззатовна Исламова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры пчеловодства, частной зоотехнии и разведения животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», spin-код: 5953-1538.

Рузель Муллахметович Хабибуллин – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры физической культуры, оздоровления и спорта, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», spin-код: 4751-9224.

Оксана Васильевна Крупина – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры технологии мясных, молочных продуктов и химии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», spin-код: 5463-3664.

Information about the authors

Vladimir I. Kosilov – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Livestock Products, Federal State Budgetary Educational University of Higher Education "Orenburg State Agrarian University", spin-code: 1802-6176.

Irina V. Mironova – Doctor of Biological Sciences, Full Professor, Head of the Department of Technology of Meat, Dairy Products and Chemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Agrarian University"; Head of the Department of Modern Technologies of Food Industries, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Petroleum Technological University", spin-code: 7655-5831.

Sofiya G. Islamova – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Department of Beekeeping, Private Animal Science and Animal Breeding, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Agrarian University", spin-code: 5953-1538.

Ruzel M. Khabibullin – Candidate of Biological Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Physical Culture, Wellness and Sports, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Agrarian University", spin-code: 4751-9224.

Oksana V. Krupina – Candidate of Agricultural Sciences, Senior lecturer of the Department of Technology of Meat, Dairy Products and Chemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Agrarian University", spin-code: 5463-3664.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 637.12.04 : 636.085.5
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.004

ДИНАМИКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛОКА КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КУКУРУЗНОГО СИЛОСА, ЗАГОТОВЛЕННОГО С РАЗЛИЧНЫМИ БИОЛОГИЧЕСКИМИ КОНСЕРВАНТАМИ

**Хайдар Даниярович Акмухаметов¹, Хамит Харисович Тагиров²,
Азат Адипович Нигматьянов³**

^{1, 2}Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

³Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹khaidar_akm@mail.ru

²tagirov-57@mail.ru, ORCID 0000-0002-8940-5631

³nigmatjanov.azat@yandex.ru, ORCID 0009-0008-2077-4755

Реферат. В статье представлены результаты исследований по оценке влияния кукурузного силоса, заготовленного с использованием различных биологических консервантов, на физико-химические показатели молока коров голштинской породы. Исследования проведены в 2023–2024 гг. в СПК-колхозе «Герой» Чекмагушевского района Республики Башкортостан на лактирующих коровах голштинской породы. Для проведения опыта по принципу групп-аналогов сформированы четыре группы животных по 14 голов в каждой. Коровы контрольной группы получали кукурузный силос без применения консервантов, животным опытных групп скармливали силос, заготовленный с использованием биологических консервантов «Силостан», «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте». В молоке определяли кислотность, плотность, содержание сухого вещества, сухого обезжиренного молочного остатка, жира, белка, лактозы, золы, кальция и фосфора. Установлено, что применение биологических консервантов способствовало улучшению качественных характеристик молока. Наиболее выраженный эффект отмечен в период стойлового содержания животных. У коров, получавших силос с биоконсервантами «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте», установлено повышение содержания сухого вещества, сухого обезжиренного молочного остатка, белка, кальция и фосфора по сравнению с контрольной группой. В марте содержание сухого вещества в молоке животных II и III опытных групп превышало контроль на 0,43 и 0,46 процентного пункта соответственно, содержание белка – на 0,016 и 0,033 процентного пункта. После перевода животных на пастбищное содержание положительное влияние биологических консервантов частично сохранялось и проявлялось более высоким содержанием сухого вещества, белка и лактозы в молоке опытных групп. Наиболее эффективными вариантами консервирования кукурузного силоса следует считать применение биологических консервантов «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте», обеспечивших получение молока с более высокой пищевой и технологической ценностью.

Ключевые слова: голштинская порода, кукурузный силос, биологические консерванты, качество молока, сухое вещество, белок, лактоза, кальций, фосфор, СИЛТЕК®, Энзосил Форте

DYNAMICS OF PHYSICAL AND CHEMICAL INDICATORS OF MILK OF HOLSTEIN COWS USING CORN SILAGE PREPARED WITH VARIOUS BIOLOGICAL PRESERVATIVES

Khaidar D. Akmukhametov¹, Khamit Kh. Tagirov², Azat A. Nigmatyanov³

^{1, 2}Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

³Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹khaidar_akm@mail.ru

²tagirov-57@mail.ru, ORCID 0000-0002-8940-5631

³nigmatjanov.azat@yandex.ru, ORCID 0009-0008-2077-4755

Abstract. The article presents the results of studies to assess the effect of corn silage harvested using various biological preservatives on the physicochemical indicators of milk of Holstein cows. The researches were conducted in 2023–2024 at the APC-collective farm Geroy of the Chekmagushevskiy district of the Republic of Bashkortostan on lactating cows of the Holstein breed. To conduct the experiment on the principle of analogue groups, four groups of animals with 14 heads each were formed. Cows of the control group received corn silage without the use of preservatives, and the animals of the experimental groups were fed with silage prepared using biological preservatives Silostan, SILTEK® and Enzosil Forte. Acidity, density, dry matter, solids-not-fat, fat, protein, lactose, ash, calcium and phosphorus content were measured in the milk. The use of biological preservatives was found to have improved the quality characteristics of milk. The most

pronounced effect was noted during the nongrazing time of animals. Cows fed silage with biopreservatives SILTEK® and Enzosil Forte showed increases in dry matter content, solids-not-fat, protein, calcium, and phosphorus compared to the control group. In March, the dry matter content in the milk of animals of the II and III experimental groups exceeded the control by 0.43 and 0.46 percentage points, respectively, and the protein content – by 0.016 and 0.033 percentage points. After the transfer of animals to pasture, the positive effect of biological preservatives was partially preserved and manifested by a higher content of dry matter, protein and lactose in the milk of the experimental groups. The most effective methods of corn silage preservation should be considered the use of biological preservatives SILTEK® and Enzosil Forte, which provided the production of milk with a higher nutritional and technological value.

Keywords: *Holstein breed, corn silage, biological preservatives, milk quality, dry matter, protein, lactose, calcium, phosphorus, SILTEK®, Enzosil Forte*

Введение. В современных условиях развития молочного скотоводства одной из важнейших задач является повышение эффективности производства молока при сохранении его высоких качественных характеристик. Наряду с увеличением продуктивности животных, особое значение приобретает получение сырья, отвечающего требованиям перерабатывающей промышленности и обеспечивающего производство широкого ассортимента молочных продуктов. В связи с этим качество объёмистых кормов рассматривается как один из ключевых факторов, определяющих не только уровень молочной продуктивности, но и физико-химические свойства молока [1; 2].

В структуре рационов высокопродуктивных коров значительную долю занимает кукурузный силос, который является важным источником энергии и легкоферментируемых углеводов. Однако качество силоса в значительной степени зависит от характера протекания микробиологических и биохимических процессов в период консервирования кормовой массы. Нарушение технологии силосования сопровождается потерями питательных веществ, снижением кормовой ценности и ухудшением использования корма животными [3–5].

Одним из перспективных направлений повышения качества силоса является применение биологических консервантов на основе молочнокислых микроорганизмов и ферментных препаратов. Использование инокулянтов позволяет ускорять подкисление силосуемой массы, подавлять развитие нежелательной микрофлоры, повышать аэробную стабильность корма и обеспечивать лучшую сохранность питательных веществ [6–9]. По данным ряда исследователей, применение современных биологических консервантов способствует улучшению переваримости кормов, повышению эффективности использования энергии рационов и увеличению продуктивности молочного скота [10–13].

Особый интерес представляет влияние качества силоса на состав и технологические свойства молока. Известно, что содержание сухого вещества, белка, жира, лактозы, минеральных веществ и других компонентов молока зависит не только от генетических особенностей животных и стадии лактации, но и от полноценности кормления. Улучшение качества объёмистых кормов может способствовать оптимизации обменных процессов в организме коров и формированию более благоприятных физико-химических характеристик молока, что имеет большое значение для его дальнейшей переработки [14–17].

Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых вопросам силосования кормов, влияние различных биологических консервантов на физико-химические показатели молока коров голштинской породы изучено недостаточно полно. Особенно актуальным является сравнительное изучение препаратов, различающихся составом микробных культур и ферментных комплексов, в условиях промышленной технологии производства молока.

В связи с этим возникает необходимость оценки влияния кукурузного силоса, заготовленного с использованием различных биологических консервантов, на качественные показатели молока лактирующих коров.

Научная новизна исследования заключается в сравнительной оценке влияния биологических консервантов «Силостан», «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте» при заготовке кукурузного силоса на динамику физико-химических показателей молока коров голштинской породы в стойловый и пастбищный периоды содержания, а также в выявлении эффекта последствия исследуемых препаратов.

Целью исследований являлось выявление особенностей формирования физико-химических показателей молока коров голштинской породы при использовании кукурузного силоса, заготовленного с различными биологическими консервантами, и обоснование наиболее эффективного варианта консервирования.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- установить влияние биологических консервантов «Силостан», «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте» на физико-химические показатели молока коров голштинской породы;
- определить изменения кислотности, плотности, содержания влаги, сухого вещества и сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) в молоке животных различных групп;
- установить влияние исследуемых биоконсервантов на массовую долю жира, белка, лактозы и золы в молоке;
- определить содержание кальция и фосфора в молоке коров и оценить соотношение данных элементов в зависимости от применяемого биоконсерванта;
- выявить особенности последствия исследуемых биологических консервантов на физико-химические показатели молока после прекращения скормливания кукурузного силоса;
- обосновать наиболее эффективный вариант био-

логического консервирования кукурузного силоса с позиции повышения качества молочного сырья.

Материал и методы исследований. Научно-хозяйственный опыт был начат в октябре 2023 г. Первый контрольный отбор проб молока для оценки физико-химических показателей проведён в ноябре 2023 г., после одного месяца скармливания кукурузного силоса соответствующих вариантов консервирования. Основной период стойлового содержания продолжался до конца апреля 2024 г. В мае животных перевели на пастбищное содержание, после чего скармливание кукурузного силоса было прекращено. Повторные исследования молока проведены в марте, в период наиболее выраженного воздействия исследуемого кормового фактора, и в июне – для оценки последействия биологических консервантов. Исследования проводились в условиях СПК-колхоз «Герой» Чекмагушевского района Республики Башкортостан на лактирующих коровах голштинской породы.

Для проведения научно-хозяйственного опыта по принципу групп-аналогов были сформированы четыре группы животных по 14 голов в каждой. При формировании групп учитывали возраст, происхождение, живую массу, физиологическое состояние, срок лактации и уровень молочной продуктивности коров.

Животные всех групп содержались в одинаковых условиях. Кормление животных осуществляли в соответствии с принятыми в хозяйстве нормами для высокопродуктивных лактирующих коров. Рационы были сбалансированы по основным питательным веществам, энергии, протеину, макро- и микроэлементам. Во всех группах использовали одинаковый набор кормов и их количество. Различия между группами заключались только в виде скармливаемого кукурузного силоса. Коровы контрольной группы получали силос без применения консервантов, животным I, II и III опытных групп скармливали кукурузный силос, заготовленный с использованием биологических консервантов «Силостан», «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте» соответственно. Структура рационов в стойловый период включала люцерново-разнотравное сено, кукурузный силос, люцерновый, гороховый и зерновой сенаж, рапсовый и подсолнечный жмыхи, зерносмесь (ячмень и пшеница), а также минеральные добавки и премикс.

Схема опыта представлена в таблице 1.

Основной период исследований проводился с октября 2023 г. по апрель 2024 г. в условиях стойлового содержания животных. В течение данного периода коровам скармливали кукурузный силос соответствующих вариантов консервирования. После завершения стойлового периода животных перевели на пастбищное

содержание. Использование кукурузного силоса было прекращено, что позволило оценить последствие исследуемых биологических консервантов на качественные показатели молока.

Биоконсервант «СИЛТЕК®» содержал комплекс молочнокислых микроорганизмов *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus acidilactici* и *Lactobacillus buchneri*, а также ферментный комплекс, включающий ксиланазу, целлюлазу, пектиназу, β -глюканазу и амилазу (табл. 2).

В состав препарата «Энзосил Форте» входили штаммы *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus buchneri* и *Lactobacillus diolivorans*, а также фермент ксиланаза.

Биологические консерванты вносили в соответствии с рекомендациями производителей при закладке кукурузной массы на силосование.

Отбор проб молока осуществляли в период проведения контрольных доек. Для оценки качества молока определяли кислотность, плотность, массовую долю влаги, сухого вещества, сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), жира, общего белка, лактозы и золы.

Кислотность молока определяли титриметрическим методом и выражали в градусах Тернера ($^{\circ}\text{T}$). Плотность устанавливали ареометрическим методом при температуре 20°C и выражали в килограммах на кубический метр (кг/м^3). Массовую долю жира, белка, лактозы, сухого вещества и СОМО определяли с использованием ультразвукового анализатора молока. Содержание золы определяли расчётным методом по общепринятым методикам анализа молока.

Содержание кальция и фосфора в молоке определяли на автоматическом биохимическом анализаторе DIRUICS-T240 с использованием сертифицированных диагностических наборов. Дополнительно рассчитывали соотношение кальция и фосфора как один из показателей минеральной полноценности молока.

Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики с использованием программного пакета Microsoft Excel. Для каждого показателя рассчитывали среднее арифметическое значение (M), ошибку средней арифметической (m). Достоверность различий между группами определяли по критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $P \leq 0,05$.

Представленные препараты различались как по составу микробных культур, так и по наличию ферментных компонентов. В связи с этим можно предположить различную эффективность процессов консервирования кукурузной массы, степень сохранности питательных

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного опыта

Группа	Количество животных, гол.	Особенности кормления
Контрольная	14	Кукурузный силос без применения консервантов
I опытная	14	Кукурузный силос с биоконсервантом «Силостан»
II опытная	14	Кукурузный силос с биоконсервантом «СИЛТЕК®»
III опытная	14	Кукурузный силос с биоконсервантом «Энзосил Форте»

Таблица 2 – Функциональная характеристика биологических консервантов

Препарат	Основные микроорганизмы	Ферментный комплекс	Предполагаемый механизм действия
Силостан	<i>Lactobacillus plantarum</i> 8РА3, <i>Lactobacillus casei</i> 12, <i>Bacillus subtilis</i> 11В, <i>Bacillus subtilis</i> 12В, <i>Bacillus subtilis</i> 1К	Не заявлен	Интенсификация молочнокислого брожения, стабилизация процессов консервирования кормовой массы
СИЛТЕК®	<i>Lactococcus lactis subsp. lactis</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>Lactobacillus buchneri</i>	Ксиланаза, целлюлаза, пектиназа, β-глюканаза, амилаза	Частичный гидролиз структурных углеводов растений, повышение доступности питательных веществ и улучшение сохранности корма
Энзосил Форте	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus buchneri</i> , <i>Lactobacillus diolivorans</i>	Ксиланаза	Усиление процессов ферментации, повышение аэробной стабильности силоса и сохранности энергетической ценности корма

веществ и последующее влияние на качественные показатели молока лактирующих коров.

Результаты исследований и их обсуждение.

Физико-химические показатели молока коров в начале опыта

Физико-химические показатели молока являются важными критериями оценки полноценности кормления животных, интенсивности обменных процессов и технологической пригодности молочного сырья для последующей переработки. Результаты исследований, проведённых в начале опыта, представлены в таблице 3.

Анализ данных таблицы 3 показал, что уже после первого месяца скармливания кукурузного силоса соответствующих вариантов консервирования между группами начали проявляться отдельные различия по физико-химическим показателям молока. Наиболее заметные изменения отмечены по плотности, содержанию сухого вещества и массовой доле жира. При этом значения кислотности, белка, лактозы, кальция и фосфора находились в пределах физиологически допустимых колебаний, характерных для молока коров голштинской породы.

Повышение плотности и жирности молока у животных опытных групп может быть связано с начальным влиянием качества силоса, заготовленного с применением биологических консервантов, на процессы пищеварения и использование питательных веществ рациона. Вместе с тем различия, выявленные в ноябре, следует рассматривать как раннюю реакцию организма животных на кормовой фактор, тогда как более выраженная оценка эффективности исследуемых консервантов была получена в марте, после продолжительного периода стойлового содержания.

Содержание сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) изменялось незначительно и находилось в пределах физиологической нормы. Массовая доля жира составляла 3,83–4,05%, общего белка – 3,03–3,08%, лактозы – 4,63–4,68%, что свидетельствовало о близком уровне продуктивности и интенсивности обменных процессов у животных всех групп.

Минеральный состав молока также характеризовался высокой степенью однородности. Содержание кальция находилось в пределах 87,7–89,1 мг%, фосфора –

Таблица 3 – Физико-химические показатели молока коров после первого месяца скармливания кукурузного силоса (ноябрь), М±m

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа		
		I (Силостан)	II (СИЛТЕК®)	III (Энзосил Форте)
Кислотность, °Т	17,23±0,07	16,76±0,09	16,77±0,06	16,84±0,07
Плотность, кг/м³	1030,79±0,94	1034,50±0,81	1034,64±0,88	1035,57±0,65
Влага, %	87,73±0,01	87,66±0,01	87,58±0,01	87,50±0,02
Сухое вещество, %	12,27±0,01	12,34±0,01	12,42±0,01	12,50±0,02
СОМО, %	8,44±0,02	8,40±0,01	8,40±0,01	8,44±0,01
Жир, %	3,83±0,01	3,94±0,01	4,02±0,01	4,05±0,01
Белок, %	3,03±0,01	3,07±0,01	3,07±0,01	3,08±0,01
Лактоза, %	4,68±0,01	4,63±0,01	4,63±0,01	4,66±0,01
Зола, %	0,732±0,006	0,708±0,006	0,701±0,004	0,707±0,005
Кальций, мг%	87,70±0,76	88,21±0,62	88,29±0,97	89,14±0,62
Фосфор, мг%	115,89±0,82	117,65±0,80	118,28±0,89	121,76±0,60
Са:Р	1,32±0,01	1,33±0,01	1,34±0,01	1,37±0,01

115,9–121,8 мг%. Соотношение кальция к фосфору во всех группах соответствовало значениям, характерным для молока здоровых лактирующих коров.

Полученные результаты свидетельствуют о правильности формирования опытных групп по принципу аналогов и позволяют считать исходный уровень физико-химических показателей молока сопоставимым. Следовательно, различия, выявленные в последующие периоды исследований, могут быть обусловлены влиянием качества кукурузного силоса, заготовленного с использованием различных биологических консервантов.

Физико-химические показатели молока коров в период максимального воздействия биологических консервантов

Наиболее объективная оценка эффективности исследуемых биологических консервантов была получена в марте, после продолжительного периода скормливания кукурузного силоса соответствующих вариантов консервирования. К данному сроку различия в процессах ферментации силоса, сохранности питательных веществ и эффективности их использования организмом животных должны были проявиться наиболее полно. Результаты исследований представлены в таблице 4.

Анализ полученных данных показал, что использование кукурузного силоса, заготовленного с биологическими консервантами, способствовало улучшению ряда физико-химических показателей молока по сравнению с контрольной группой. Наиболее выраженные изменения были установлены по содержанию сухого вещества, сухого обезжиренного молочного остатка, белка и минеральных компонентов.

Кислотность молока во всех группах находилась в пределах физиологической нормы и варьировала незначительно, что свидетельствовало о стабильном функциональном состоянии молочной железы и отсутствии отрицательного влияния исследуемых кормовых факторов на качество молока. Аналогичная тенденция отмечена и

по показателю плотности молока, который соответствовал требованиям, предъявляемым к сырому коровьему молоку.

У животных опытных групп наблюдалось снижение массовой доли влаги и соответствующее увеличение содержания сухого вещества. Если в контрольной группе содержание сухого вещества составило 12,19%, то в I опытной группе данный показатель достигал 12,25%, во II опытной – 12,62%, а в III опытной – 12,65%. Преимущество животных, получавших силос с консервантами «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте», по сравнению с контролем, составило 0,43 и 0,46 процентных пункта соответственно.

Содержание сухого обезжиренного молочного остатка также было выше в опытных группах. Максимальные значения отмечены у животных III опытной группы, где показатель достигал 8,61%, что превышало контроль на 0,09 процентного пункта. Повышение уровня СОМО свидетельствует о более полном использовании питательных веществ рациона и улучшении пищевой ценности молока.

Особый интерес представляет изменение белкового состава молока. Массовая доля общего белка в контрольной группе составила 3,121%, тогда как в группах, получавших силос с биоконсервантами, данный показатель был выше и достигал 3,136–3,154%. Наиболее высокое содержание белка установлено у животных III опытной группы, превосходивших контроль на 0,033 процентного пункта. Несмотря на кажущуюся небольшую величину различий, для молочного скотоводства даже такие изменения имеют существенное технологическое значение, поскольку непосредственно влияют на выход молочной продукции при переработке.

Содержание лактозы и золы изменялось менее выражено, однако также характеризовалось тенденцией к увеличению в опытных группах. Полученные результаты указывают на более благоприятное протекание

Таблица 4 – Физико-химические показатели молока коров в период максимального воздействия биоконсервантов (март), М±m

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа		
		I (Силостан)	II (СИЛТЕК®)	III (Энзосил Форте)
Кислотность, °Т	17,02±0,09	16,92±0,07	16,81±0,07	16,81±0,06
Плотность, кг/м³	1031,43±0,83	1034,57±0,82	1034,86±0,92	1035,71±0,71
Влага, %	87,81±0,01	87,75±0,01	87,38±0,01*	87,35±0,01*
Сухое вещество, %	12,19±0,01	12,25±0,01*	12,62±0,01**	12,65±0,01**
СОМО, %	8,52±0,01	8,57±0,01*	8,60±0,01**	8,61±0,01**
Жир, %	3,67±0,01	3,67±0,01	4,03±0,01**	4,04±0,01**
Белок, %	3,121±0,006	3,136±0,006	3,137±0,005	3,154±0,005**
Лактоза, %	4,67±0,01	4,72±0,01	4,74±0,01	4,74±0,01
Зола, %	0,726±0,009	0,719±0,006	0,718±0,009	0,717±0,006
Кальций, мг%	87,44±0,84	90,61±0,85**	90,67±0,82**	90,39±0,51**
Фосфор, мг%	114,26±0,82	120,41±0,80*	122,41±0,92*	122,34±0,60*
Ca:P	1,31±0,01	1,33±0,01	1,35±0,01	1,35±0,01

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ по сравнению с контрольной группой.

обменных процессов в организме животных при использовании силоса, заготовленного с биологическими консервантами.

Важным показателем технологической ценности молока является его минеральный состав. Содержание кальция в молоке коров контрольной группы составило 87,4 мг%, тогда как в опытных группах достигало 90,4–90,7 мг%. Преимущество животных опытных групп составило от 3,0 до 3,3 мг%. Аналогичная закономерность отмечена и по содержанию фосфора. Максимальные значения данного элемента были получены у животных II и III опытных групп и составили 122,4 и 122,3 мг% соответственно, что превышало контрольную группу на 7,0–7,1%.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение биологических консервантов при заготовке кукурузного силоса способствует более эффективному использованию питательных веществ кормов и улучшению физико-химических показателей молока. Наиболее выраженный эффект был установлен при использовании препаратов «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте», обеспечивших максимальное содержание сухого вещества, белка, кальция и фосфора в молоке коров.

Последствие биологических консервантов в пастбищный период

После завершения стойлового периода и перевода животных на пастбищное содержание скормливание кукурузного силоса было прекращено. В связи с этим представляло интерес изучение сохранения эффекта ранее использованных биологических консервантов на физико-химические показатели молока. Результаты исследований, полученные в июне, представлены в таблице 5.

Несмотря на прекращение использования кукурузного силоса, отдельные преимущества опытных групп по ряду показателей сохранялись. Это свидетельствует о наличии определённого последствия исследуемых

биологических консервантов, обусловленного более эффективным использованием питательных веществ кормов в предшествующий стойловый период.

Установлено, что содержание сухого вещества в молоке коров опытных групп оставалось выше по сравнению с контролем. Если в контрольной группе данный показатель составил 12,23%, то во II и III опытных группах он достигал 12,33 и 12,39% соответственно, при достоверном превосходстве над контрольной группой ($P \leq 0,01$).

Аналогичная закономерность отмечена по содержанию сухого обезжиренного молочного остатка. Максимальное значение СОМО установлено у животных III опытной группы – 8,65%, что превышало контроль на 0,11 процентного пункта.

Особого внимания заслуживает динамика содержания белка. В контрольной группе его концентрация составила 3,141%, тогда как в III опытной группе достигала 3,192%, что на 0,051 процентного пункта выше контроля ($P \leq 0,05$). Сохранение повышенного уровня белка после прекращения скормливания силоса может свидетельствовать о более благоприятном состоянии белкового обмена у животных опытных групп.

Следует отметить и устойчивую тенденцию к повышению содержания лактозы. В июне данный показатель в опытных группах составлял 4,73–4,75%, тогда как в контрольной группе – 4,68%. Повышение концентрации лактозы может свидетельствовать о более эффективном обеспечении животных энергией и более высокой интенсивности синтетических процессов в молочной железе.

По содержанию кальция и фосфора различия между группами были менее выражены, однако у животных III опытной группы сохранялись наиболее высокие значения фосфора (117,37 мг%), что подтверждает положительное влияние ранее использованных биологических консервантов на минеральный обмен.

Таблица 5 – Физико-химические показатели молока коров в пастбищный период (июнь), $M \pm m$

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа		
		I (Силостан)	II (СИЛТЕК®)	III (Энзосил Форте)
Кислотность, °Т	16,95±0,08	16,77±0,07	16,85±0,06	16,95±0,07
Плотность, кг/м³	1031,29±0,99	1032,82±0,85	1035,05±0,75	1034,88±0,72
Влага, %	87,77±0,01	87,72±0,02	87,67±0,02	87,61±0,01
Сухое вещество, %	12,23±0,01	12,28±0,02*	12,33±0,02**	12,39±0,01**
СОМО, %	8,54±0,02	8,59±0,02*	8,60±0,02*	8,65±0,01**
Жир, %	3,69±0,01	3,70±0,01	3,73±0,01	3,74±0,01
Белок, %	3,141±0,009	3,154±0,012	3,166±0,011	3,192±0,011*
Лактоза, %	4,68±0,01	4,73±0,01	4,73±0,01	4,75±0,01
Зола, %	0,718±0,008	0,705±0,008	0,704±0,010	0,706±0,011
Кальций, мг%	88,20±0,90	87,55±0,86	88,49±0,96	88,06±0,64
Фосфор, мг%	113,51±0,69	115,32±0,83	115,41±0,79	117,37±0,68
Са:Р	1,29±0,02	1,32±0,02	1,31±0,01	1,33±0,01

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$ по сравнению с контрольной группой.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что положительное влияние биологических консервантов не ограничивается периодом непосредственного скармливания силоса. Наиболее выраженный эффект последствия установлен при использовании биоконсерванта «Энзосил Форте», обеспечившего лучшие показатели содержания сухого вещества, СОМО, белка и лактозы в молоке коров.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование биологических консервантов при заготовке кукурузного силоса оказывает положительное влияние на физико-химические показатели молока коров голштинской породы. Выявленные изменения, прежде всего по содержанию сухого вещества, белка, кальция и фосфора, вероятно, обусловлены различиями в интенсивности микробиологических и биохимических процессов, протекающих при консервировании кормовой массы.

По данным ряда исследователей, применение биологических консервантов способствует ускоренному подкислению силосуемой массы, снижению потерь сухого вещества и повышению сохранности питательных веществ корма [14–17]. Улучшение процессов ферментации сопровождается повышением поедаемости силоса и более эффективным использованием питательных веществ рациона животными. Это подтверждается результатами настоящего исследования, в котором опытные группы характеризовались более высокими показателями содержания сухого вещества и СОМО в молоке по сравнению с контролем.

Особый интерес представляет увеличение содержания белка в молоке животных опытных групп. Известно, что синтез молочного белка тесно связан с обеспеченностью организма коров энергией и доступным протеином. Более эффективное сохранение питательных веществ при использовании биологических консервантов способствует оптимизации процессов рубцового пищеварения и улучшению использования азотистых соединений кормов. Вероятно, именно этим объясняется повышение содержания белка в молоке коров, получавших силос, заготовленный с препаратами «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте».

Следует отметить, что наиболее выраженный эффект был установлен при использовании консервантов, содержащих не только молочнокислые микроорганизмы, но и ферментные комплексы. Согласно современным представлениям, применение ферментов способствует частичному разрушению клеточных стенок растений и повышению доступности структурных углеводов для микроорганизмов силоса [18–20]. В результате улучшается сохранность энергетических компонентов корма и повышается эффективность их использования организмом животных.

Повышение содержания кальция и фосфора в молоке коров опытных групп также представляет практический интерес. Минеральный состав молока является одним из важнейших показателей его пищевой и технологической ценности. Более высокие концентрации кальция и фосфора могут свидетельствовать об улучшении минерального обмена и более эффективном

использовании питательных веществ рационов. Кроме того, данные элементы играют важную роль в формировании сыропригодности молока и определяют особенности коагуляции казеинового комплекса при производстве сыров.

Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными, свидетельствующими о положительном влиянии инокулянтов, содержащих *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus buchneri*, на качество силоса и продуктивные показатели молочного скота [18–22]. Особый интерес представляет присутствие в составе препаратов «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте» штаммов *Lactobacillus buchneri*, обеспечивающих повышение аэробной стабильности силоса и сохранность питательных веществ в процессе хранения. Поскольку состав и структура рационов животных всех групп были идентичны, выявленные различия в физико-химических показателях молока следует связывать прежде всего с качеством кукурузного силоса, заготовленного с использованием различных биологических консервантов.

Важной особенностью проведенного исследования является установление эффекта последствия биологических консервантов. Несмотря на прекращение скармливания кукурузного силоса после перевода животных на пастбищное содержание, отдельные преимущества опытных групп по содержанию белка, сухого вещества и минеральных компонентов молока сохранялись и в июне. Это позволяет предположить формирование более устойчивых адаптационно-метаболических изменений, связанных с длительным использованием высококачественного силоса в стойловый период.

Таким образом, результаты исследований подтверждают перспективность применения биологических консервантов при заготовке кукурузного силоса и свидетельствуют о возможности повышения технологической ценности молока за счёт улучшения процессов консервирования кормов. Наиболее выраженное положительное влияние на физико-химические показатели молока оказали препараты «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте», обеспечившие лучшие результаты по содержанию сухого вещества, белка и минеральных компонентов.

Заключение. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о существенной роли качества кукурузного силоса в формировании физико-химических показателей молока коров голштинской породы. Применение биологических консервантов при заготовке силоса способствовало более эффективному сохранению питательных веществ корма, что положительно отразилось на содержании сухого вещества, сухого обезжиренного молочного остатка, белка, лактозы и минеральных компонентов молока.

Наиболее выраженный эффект установлен при использовании биологических консервантов «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте», обеспечивших получение молока с более высокой пищевой и технологической ценностью. Повышение содержания белка, кальция и фосфора свидетельствует об улучшении обменных процессов в орга-

низме животных и повышении пригодности молока для промышленной переработки.

Установленный эффект последствий после прекращения скармливания кукурузного силоса указывает на возможность формирования более устойчивых физиолого-метаболических изменений в организме коров при длительном использовании высококачественных консервированных кормов. Это позволяет рассматривать применение современных биологических консервантов как эффективный элемент технологии кормопроизводства, направленный не только на сохранение питательной ценности кормов, но и на повышение качества получаемой молочной продукции.

Полученные результаты имеют практическое значение для молочных хозяйств, использующих кукурузный силос в рационах высокопродуктивных коров, и могут быть применимы при совершенствовании технологий заготовки и использования объёмистых кормов в условиях промышленного молочного скотоводства.

Выводы.

1. Использование кукурузного силоса, заготовленного с применением биологических консервантов «Силостан», «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте», оказало положительное влияние на физико-химические показатели молока коров голштинской породы по сравнению с использованием силоса без консервантов.

2. В начале опыта существенных различий между группами по исследуемым показателям не установлено, что подтверждает корректность формирования живот-

ных по принципу аналогов и обеспечивает объективность последующей оценки влияния изучаемых факторов.

3. Наиболее выраженные изменения в период стойлового содержания животных были установлены по содержанию сухого вещества, сухого обезжиренного молочного остатка, белка, кальция и фосфора. Максимальные значения большинства показателей отмечены у коров, получавших кукурузный силос, заготовленный с биоконсервантами «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте».

4. В марте содержание сухого вещества в молоке коров II и III опытных групп превышало контроль на 0,43 и 0,46 процентного пункта соответственно, содержание белка – на 0,016 и 0,033 процентного пункта, содержание фосфора – на 7,1 и 7,0%, что свидетельствует о повышении технологической ценности молочного сырья.

5. После перевода животных на пастбищное содержание положительное влияние исследуемых биоконсервантов частично сохранялось. Наиболее выраженный эффект последствий установлен у животных, ранее получавших силос с препаратом «Энзосил Форте», что проявилось более высоким содержанием белка, сухого вещества и минеральных компонентов молока.

6. По совокупности исследованных показателей наиболее эффективными вариантами консервирования кукурузного силоса следует считать применение биологических консервантов «СИЛТЕК®» и «Энзосил Форте», обеспечивших получение молока с более высокой пищевой и технологической ценностью.

Список источников

1. Косолапов В. М., Чернявских В. И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» в их решении // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 5–14. DOI 10.53859/02352451_2022_36_4_5. EDN XOTNXE.
2. Амерханов Х. А., Родионов Г. В., Табакова Л. П. [и др.] Молочная продуктивность коров разных пород в условиях фермерского хозяйства // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 3. С. 23–27. DOI 10.33943/MMS.2021.36.14.005. EDN JNZCZS.
3. Ерохина А. В., Сазонова И. А., Черных Т. Н. Оценка процесса брожения при силосовании кукурузы с применением биоконсервантов // Орошаемое земледелие. 2021. № 3. С. 35–37. DOI 10.35809/2618-8279-2021-3-6. EDN YVBGLS.
4. Башаров А. А. Опыт применения современных биологических консервантов при сенажировании кормов // Российский электронный научный журнал. 2021. № 4 (42). С. 22–31. DOI 10.31563/2308-9644-2021-42-4-22-31. EDN HHJXEB.
5. Федяева С. В., Шумицкая К. С., Заикина А. С. Биологические консерванты при силосовании многолетних трав // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : сб. VI Всеросс. (нац.) науч. конф. с международ. уч., Новосибирск, 20 декабря 2021 года. Новосибирск : Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2021. С. 330–333. EDN BDWUDS.
6. Иванова Д. А. Изменение качественных показателей молока у коров голштинской породы в условиях Вологодской области // Аграрный вестник Верхневолжья. 2024. № 4 (49). С. 52–57. EDN DOTXUB.
7. Мельникова Л. Э., Тимакова Т. К., Тимаков А. В., Костерин Д. Ю. Некоторые биохимические показатели крови коров разных пород в условиях хозяйств Верхневолжского региона Российской Федерации // Аграрный вестник Верхневолжья. 2024. № 4 (49). С. 70–74. EDN GCTOVQ.
8. Буяров В. С., Ляшук А. Р. Эффективность использования фитобиотика «Гербастор» в молочном скотоводстве // Аграрный вестник Верхневолжья. 2024. № 1 (46). С. 44–50. DOI 10.35523/2307-5872-2024-46-1-32-37. EDN TXCGWQ.
9. Bernardes T. F., Daniel J. L. P., Adesogan A. T. [et al.] Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, Is. 5. P. 4001–4019. DOI 10.3168/jds.2017-13703.
10. Muck R. E., Nadeau E. M. G., McAllister T. A. [et al.] Silage review: Recent advances and future uses of silage additives // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, Is. 5. P. 3980–4000. DOI 10.3168/jds.2017-13839.
11. Kung L., Shaver R. D., Grant R. J., Schmidt R. J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial and organoleptic components of silages // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, Is. 5. P. 4020–4033. DOI 10.3168/jds.2017-13909.
12. Oliveira A. S., Weinberg Z. G., Ogunade I. M. [et al.] Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100, No. 6. P. 4587–4603. DOI 10.3168/jds.2016-11815.
13. Filya I. The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages // Journal of Dairy Science. 2003. Vol. 86, No. 11. P. 3575–3581. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(03)73963-0.

14. Kleinschmit D. H., Kung L. A Meta-Analysis of the Effects of *Lactobacillus buchneri* on the Fermentation and Aerobic stability of Corn and Grass and Small-Grain Silages // Journal of Dairy Science. 2006. Vol. 89, Is. 10. P. 4005–4013. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(06)72444-4.
15. Arriola K. G., Oliveira A. S., Jiang Y. [et al.] Meta-analysis of effects of inoculation with *Lactobacillus buchneri*, with or without other bacteria, on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows // Journal of Dairy Science. 2021. Vol. 104, No. 7. P. 7653–7670. DOI 10.3168/jds.2020-19647.
16. Wang L., Bao J., Zhuo X. [et al.] Effects of *Lentilactobacillus buchneri* and chemical additives on fermentation profile, chemical composition, and nutrient digestibility of high-moisture corn silage // Frontiers in Veterinary Science. 2023. Vol. 10. Art. 1296392. DOI 10.3389/fvets.2023.1296392.
17. Agarussi M. C. N., Pereira O. G., Silva L. D. [et al.] Effect of Various Strains of *Lactobacillus buchneri* on the Fermentation Quality and Aerobic Stability of Corn Silage // Agriculture. 2022. Vol. 12, No. 1. Art. 95. DOI 10.3390/agriculture12010095.
18. Wang S.-Y., Jing Y.-Y., Yang G. [et al.] Effects of inoculants on the quality of alfalfa silage // Frontiers in Microbiology. 2025. Vol. 16. Art. 1541454. DOI 10.3389/fmicb.2025.1541454.
19. Carvalho B. F., Souza V. C., Sousa L. H. L. [et al.] *Lentilactobacillus buchneri* LBU 01 reduces dry matter losses and increases the aerobic stability of whole-plant corn silage // Revista Brasileira de Zootecnia. 2025. Vol. 54. Art. e20240193. DOI 10.37496/rbz5420240193.
20. Olorunlowu S., Sidoruk P., Sznajder J. [et al.] Effects of a Multi-Strain Lactic and Propionic Acid Bacteria Inoculant on Silage Quality, Methane Emissions, Milk Composition, and Rumen Microbiome // Animals. 2025. Vol. 15. Art. 2740. DOI 10.3390/ani15182740.
21. Jin Y., Wang P., Li F. [et al.] The effects of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus buchneri* on the Fermentation Quality, In Vitro Digestibility, and Aerobic Stability of *Silphium perfoliatum* L. Silage // Animals. 2024. Vol. 14. No. 15. Art. 2279. DOI 10.3390/ani14152279.
22. Kok I., Copani G., Bryan K. A. [et al.] Effects of feeding an inoculated corn silage with or without a direct-fed microbial on dry matter intake, milk production, and nutrient digestibility of high-producing lactating Holstein cows // Translational Animal Science. 2024. Vol. 14. Art. txae010. DOI 10.1093/tas/txae010.

References

1. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I. Kormoproizvodstvo: sostoyanie, problemy i rol' FNC «VIK im. V. R. Vil'yamsa» v ih reshenii // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. T. 36, № 4. S. 5–14. DOI 10.53859/02352451_2022_36_4_5. EDN XOTNXXE.
2. Amerkhanov Kh. A., Rodionov G. V., Tabakova L. P. [i dr.] Molochnaya produktivnost' korov raznykh porod v usloviyakh fermerskogo hozyajstva // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2021. № 3. S. 23–27. DOI 10.33943/MMS.2021.36.14.005. EDN JNZCZS.
3. Erokhina A. V., Sazonova I. A., Chernykh T. N. Ocenka processa brozheniya pri silosovanii kukuruzy s primeneniem biokonservantov // Oroschaemoe zemledelie. 2021. № 3. S. 35–37. DOI 10.35809/2618-8279-2021-3-6. EDN YVBGLS.
4. Basharov A. A. Opyt primeneniya sovremennykh biologicheskikh konservantov pri senazhirovanii kormov // Rossijskij elektronnyj nauchnyj zhurnal. 2021. № 4 (42). S. 22–31. DOI 10.31563/2308-9644-2021-42-4-22-31. EDN HHJXEB.
5. Fedyaeva S. V., Shumitskaya K. S., Zaikina A. S. Biologicheskie konservanty pri silosovanii mnogoletnih trav // Rol' agrarnoj nauki v ustojchivom razviii sel'skikh territorij : sb. VI Vseross. (nac.) nauch. konf. s mezhdunarod. uch., Novosibirsk, 20 dekabrya 2021 goda. Novosibirsk : Izdatel'skij centr Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta «Zolotoj kolos», 2021. S. 330–333. EDN BDWUDS.
6. Ivanova D. A. Izmenenie kachestvennykh pokazatelej moloka u korov golshtinskoj porody v usloviyakh Vologodskoj oblasti // Agrarnyj vestnik Verhnevolzh'ya. 2024. № 4 (49). S. 52–57. EDN DOTXUB.
7. Mel'nikova L. E., Timakova T. K., Timakov A. V., Kosterin D. Yu. Nekotorye biohimicheskie pokazateli krovi korov raznykh porod v usloviyakh hozyajstv Verhnevolzhskogo regiona Rossijskoj Federacii // Agrarnyj vestnik Verhnevolzh'ya. 2024. № 4 (49). S. 70–74. EDN GCTOVQ.
8. Buyarov V. S., Lyashuk A. R. Effektivnost' ispol'zovaniya fitobiotika «Gerbastor» v molochnom skotovodstve // Agrarnyj vestnik Verhnevolzh'ya. 2024. № 1 (46). S. 44–50. DOI 10.35523/2307-5872-2024-46-1-32-37. EDN TXCGWQ.
9. Bernardes T. F., Daniel J. L. P., Adesogan A. T. [et al.] Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, Is. 5. P. 4001–4019. DOI 10.3168/jds.2017-13703.
10. Muck R. E., Nadeau E. M. G., McAllister T. A. [et al.] Silage review: Recent advances and future uses of silage additives // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, Is. 5. P. 3980–4000. DOI 10.3168/jds.2017-13839.
11. Kung L., Shaver R. D., Grant R. J., Schmidt R. J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial and organoleptic components of silages // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, Is. 5. P. 4020–4033. DOI 10.3168/jds.2017-13909.
12. Oliveira A. S., Weinberg Z. G., Ogunade I. M. [et al.] Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100, No. 6. P. 4587–4603. DOI 10.3168/jds.2016-11815.
13. Filya I. The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages // Journal of Dairy Science. 2003. Vol. 86, No. 11. P. 3575–3581. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(03)73963-0.
14. Kleinschmit D. H., Kung L. A Meta-Analysis of the Effects of *Lactobacillus buchneri* on the Fermentation and Aerobic stability of Corn and Grass and Small-Grain Silages // Journal of Dairy Science. 2006. Vol. 89, Is. 10. P. 4005–4013. DOI 10.3168/jds.S0022-0302(06)72444-4.
15. Arriola K. G., Oliveira A. S., Jiang Y. [et al.] Meta-analysis of effects of inoculation with *Lactobacillus buchneri*, with or without other bacteria, on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows // Journal of Dairy Science. 2021. Vol. 104, No. 7. P. 7653–7670. DOI 10.3168/jds.2020-19647.
16. Wang L., Bao J., Zhuo X. [et al.] Effects of *Lentilactobacillus buchneri* and chemical additives on fermentation profile, chemical composition, and nutrient digestibility of high-moisture corn silage // Frontiers in Veterinary Science. 2023. Vol. 10. Art. 1296392. DOI 10.3389/fvets.2023.1296392.
17. Agarussi M. C. N., Pereira O. G., Silva L. D. [et al.] Effect of Various Strains of *Lactobacillus buchneri* on the Fermentation Quality and Aerobic Stability of Corn Silage // Agriculture. 2022. Vol. 12, No. 1. Art. 95. DOI 10.3390/agriculture12010095.
18. Wang S.-Y., Jing Y.-Y., Yang G. [et al.] Effects of inoculants on the quality of alfalfa silage // Frontiers in Microbiology. 2025. Vol. 16. Art. 1541454. DOI 10.3389/fmicb.2025.1541454.

19. Carvalho B. F., Souza V. C., Sousa L. H. L. [et al.] Lentilactobacillus buchneri LBU 01 reduces dry matter losses and increases the aerobic stability of whole-plant corn silage // Revista Brasileira de Zootecnia. 2025. Vol. 54. Art. e20240193. DOI 10.37496/rbz5420240193.

20. Olorunlowu S., Sidoruk P., Sznajder J. [et al.] Effects of a Multi-Strain Lactic and Propionic Acid Bacteria Inoculant on Silage Quality, Methane Emissions, Milk Composition, and Rumen Microbiome // Animals. 2025. Vol. 15. Art. 2740. DOI 10.3390/ani15182740.

21. Jin Y., Wang P., Li F. [et al.] The effects of *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus buchneri* on the Fermentation Quality, In Vitro Digestibility, and Aerobic Stability of *Silphium perfoliatum* L. Silage // Animals. 2024. Vol. 14. No. 15. Art. 2279. DOI 10.3390/ani14152279.

22. Kok I., Copani G., Bryan K. A. [et al.] Effects of feeding an inoculated corn silage with or without a direct-fed microbial on dry matter intake, milk production, and nutrient digestibility of high-producing lactating Holstein cows // Translational Animal Science. 2024. Vol. 14. Art. txae010. DOI 10.1093/tas/txae010.

Сведения об авторах

Хайдар Даниярович Акмухаметов – аспирант кафедры технологии мясных, молочных продуктов и химии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», spin-код: 8822-2721.

Хамит Харисович Тагиров – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технологии мясных, молочных продуктов и химии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», spin-код: 7056-3199.

Азат Адипович Нигматьянов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры современных технологий пищевых индустрий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», spin-код: 1458-6467.

Information about the authors

Khaidar D. Akmukhametov – Postgraduate student of the Department of Technology of Meat, Dairy Products and Chemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Agrarian University", spin-code: 8822-2721.

Khamit Kh. Tagirov – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Technology of Meat, Dairy Products and Chemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Bashkir State Agrarian University", spin-code: 7056-3199.

Azat A. Nigmatyanov – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Modern Technologies of Food Industries, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Petroleum Technological University", spin-code: 1458-6467.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.



Научная статья
УДК 636.085.52:633.313:577.15
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.005

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕРМЕНТНО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИНОКУЛЯНТОВ В ТЕХНОЛОГИИ КОНСЕРВИРОВАНИЯ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ

**Павел Сергеевич Муравьев¹, Александр Владимирович Коновалов²,
Андрей Александрович Алексеев³**

¹Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса, Лобня, Россия

^{2, 3}Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», Михайловский, Россия

^{1, 2, 3}yaniizhk@yandex.ru

Реферат. В статье рассмотрена эффективность применения ферментно-микробиологических инокулянтов в консервировании зелёной массы люцерны изменчивой различной степени проявляемости. Изучен химический состав и питательность образцов готового силоса, полученных в лабораторных и производственных условиях. Проведена оценка показателей молочной продуктивности коров по результатам скармливания силоса, заготовленного с использованием микробиологической закваски «Яросил», исследован биохимический анализ сыворотки крови коров, получавших опытный силос. Лабораторный опыт проводили на базе Ярославского НИИ животноводства и кормопроизводства – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», производственный опыт – в условиях АО «Агромир» Ярославской области. В лабораторном опыте улучшение питательной ценности силоса из слабопроявленной люцерны обеспечил препарат «Асидфаст НС Голд», «Яросил» с целлюлозолитическими ферментами и целлюлозолитическими бактериями в дозе 500 мл/т; из проявленной люцерны – закваска «Яросил» + целлюлозолитические ферменты и «Яросил» в дозе 100 мл/т. В производственном опыте выявлено, что применение закваски «Яросил» в дозе 50 мл/т способствовало повышению питательной ценности силоса: увеличилось содержание сырого протеина на 1,5 п.п. (до 17,56%), обменной энергии – на 22,5% (до 12,50 МДж/кг), сахара – в 3,5 раза (до 3,08%), крахмала – в 2,9 раза (до 4,61%), а уровень сырой клетчатки снизился на 6,0 п.п. (до 22,74%). Скармливание силоса, заготовленного с закваской «Яросил», не оказало существенного влияния на уровень суточного удоя у коров (31,1–31,8 кг), однако обеспечило статистически значимое повышение массовой доли белка в молоке: в феврале – до 3,64% (+0,10 п.п., $P \geq 0,999$), в марте – до 3,61% (+0,07 п.п., $P \geq 0,999$). Содержание жира возросло на 0,07 п.п. ($P \geq 0,95$). Введение в рацион силоса, заготовленного с использованием микробиологической закваски «Яросил», не привело к ухудшению биохимического статуса лактирующих коров.

Ключевые слова: зелёная масса люцерны изменчивой, ферментно-микробиологические инокулянты, химический состав силоса, питательность силоса, молочная продуктивность, биохимический анализ крови

EFFICIENCY OF USING ENZYME-MICROBIOLOGICAL INOCULANTS IN THE TECHNOLOGY OF PRESERVING VARIEGATED ALFALFA

Pavel S. Murav'yev¹, Aleksandr V. Konovalov², Andrey A. Alekseev³

¹Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Lobnya, Russia

^{2, 3}Yaroslavl Scientific Research Institute of livestock breeding and forage production – Federal State Budget Scientific Institution "Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology", Mikhaylovskiy, Russia

^{1, 2, 3}yaniizhk@yandex.ru

Abstract. The article discusses the effectiveness of the use of enzyme-microbiological inoculants in preservation of green mass of variegated alfalfa with various degrees of prewilting. The chemical composition and nutritional value of finished silage samples obtained in laboratory and production conditions were studied. An assessment of the indicators of milk productivity of cows based on the results of feeding silage harvested using the microbiological starter "Yarosil" was carried out, a biochemical analysis of the blood serum of cows received experimental silage was studied. The laboratory experiment was carried out on the basis of the Yaroslavl Research Institute of livestock breeding and forage production – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution "Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology", the farming experiment was carried out in the conditions of AO Agromir of the Yaroslavl region. In the laboratory experiment, improvement of the nutrient value of a silage made of slightly dried alfalfa was provided by the

preparation "Asidfast NS Gold", "Yarosil" with cellulolytic enzymes and cellulolytic bacteria at a dose of 500 ml/t; from dried alfalfa – starter "Yarosil" + cellulolytic enzymes and "Yarosil" in a dose of 100 ml/t. In the farming experiment, it was revealed that the use of starter "Yarosil" in a dose of 50 ml/t contributed to an increase in the nutritional value of silage: the content of crude protein increased by 1.5 percentage points (up to 17.56%), metabolic energy – by 22.5% (up to 12.50 MJ/kg), sugar – 3.5 times (up to 3.08%), starch – 2.9 times (up to 4.61%), and the level of crude fiber decreased by 6.0 percentage points (to 22.74%). Feeding silage prepared with starter "Yarosil" did not have a significant impact on the level of daily milk yield in cows (31.1–31.8 kg), however, it provided a statistically significant increase in the mass fraction of protein in milk: in February – up to 3.64% (+0.10 pp, $P \geq 0.999$), in March – up to 3.61% (+0.07 pp, $P \geq 0.999$). Fat content increased by 0.07 pp. ($P \geq 0.95$). The introduction of silage prepared using the microbiological starter "Yarosil" into the diet did not lead to deterioration in the biochemical status of lactating cows.

Keywords: *green mass of variegated alfalfa, enzyme and microbiological inoculants, chemical composition of silage, nutritional value of silage, milk productivity, biochemical blood test*

Введение. В современных условиях ведения молочного скотоводства решающее значение для реализации генетического потенциала продуктивности коров имеет стабильное обеспечение поголовья высококачественными объёмистыми кормами. Силосование, основанное на молочнокислом брожении, остаётся наиболее распространённым способом консервирования зелёной массы, однако естественная ферментация далеко не всегда протекает в оптимальном направлении, что приводит к значительным потерям питательных веществ и накоплению нежелательных метаболитов. Применение ферментно-микробиологических заквасок позволяет целенаправленно управлять процессом силосования, подавлять развитие гнилостной и маслянокислой микрофлоры, максимально сохранять протеин, углеводы и энергию корма. Особый интерес вызывают микробиологические препараты, объединяющие несколько видов и штаммов микроорганизмов с симбиотическими свойствами [1; 2; 3].

Изучению механизмов действия и эффективности силосных заквасок посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных учёных. Фундаментальные аспекты микробиома силоса, классификация добавок и молекулярные основы их действия рассмотрены в обзорах R. E. Muck et al., A. U. Fabiszewska et al., J. M. Wilkinson [4; 5; 6]. Значительный вклад в развитие представлений о биохимических свойствах молочнокислых бактерий, методах их скрининга и конструирования комплексных инокулянтов внесли M. F. Akhtar et al., Y. Liu et al., A. Bernardi et al. [7; 8; 9]. Влияние инокулянтов на продуктивность животных, качество молока и иммунный статус животных обобщено в исследованиях A. S. Oliveira et al., K. G. Arriola et al., G. L. Menezes et al., а также в экспериментальных работах J. L. P. Daniel et al., F. M. Caramalac et al. и др. [10; 11; 12; 13; 14; 15].

Отечественная наука также располагает обширным массивом данных. Исследованиями Г. Ю. Лаптева, С. Н. Биконя установлены механизмы влияния различных заквасок на микробиом силоса и рубца, риски развития ацидоза и пути их предотвращения. В работе Т. В. Курениновой показано положительное действие биоконсервантов на сохранность питательных веществ и молочную продуктивность коров [16]. Значительный экспериментальный материал по изучению микробиологических заквасок накоплен коллективом Ярославского НИИЖК – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» под

руководством А. В. Коновалова и сотрудников (2020–2025 гг.). В их трудах исследованы состав микробиологических заквасок, их влияние на ферментацию, химический состав и переваримость силоса в лабораторных и производственных условиях, а также эффективность их использования в качестве кормовой добавки [17; 18; 19; 20; 21; 22; 23].

В последнее время всё большее предпочтение отдаётся биологическим препаратам на основе живых культур микроорганизмов, которые способны не только эффективно консервировать корм, но и оказывать пробиотическое действие на организм животных. Поэтому поиск, научное обоснование и практическая оценка эффективности современных ферментно-микробиологических заквасок, адаптированных к конкретным видам сырья, являются актуальной темой научных исследований.

Целью исследований являлось изучение эффективности применения ферментно-микробиологических инокулянтов в технологии консервирования люцерны изменчивой и их влияния на качество корма, а также молочную продуктивность лактирующих коров.

Материалы и методы исследования. Исследования выполнены в 2024–2025 гг. на базе Ярославского НИИЖК – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» и в производственных условиях АО «Агромир» Ярославской области.

Объектом исследований послужила зелёная масса люцерны изменчивой (*Medicago×varia* T. Martyn) сорта Благодать, убранная в фазе бутонизации. Качество зелёной массы люцерны как исходного сырья для силосования оценивали по ГОСТ 27978-88 «Корма зеленые. Технические условия». Для изучения влияния степени провяливания сырья силосовали с разным содержанием сухого вещества: 25,76% (слабопроявленная масса) и 37,14% (проявленная масса).

Лабораторный опыт проводили в соответствии с методическими рекомендациями по проведению опытов по консервированию и хранению объёмистых кормов, разработанных ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» в установках для учёта выделенных газов брожения при силосовании [24].

В производственных условиях силос закладывали в кургане (800 т) с внесением микробиологической закваски «Яросил» в дозе 50 мл/т. Химический состав, содержание органических кислот и питательность кормов определяли с использованием методик, регла-

ментированных ГОСТом. Отбор проб готового силоса в производственных условиях проводился по ГОСТ Р ИСО 6497-2011 «Корма для животных. Отбор проб» с использованием пробоотборника Седунова (патент № 2100793).

Оценку молочной продуктивности коров проводили по результатам контрольных доек за январь, февраль, март 2025 года. За контроль были взяты показатели молочной продуктивности коров, учитываемые в январе 2025 года. Биохимический анализ крови оценивали с помощью экспресс-анализатора SeamatySMT-120V.

Статистическая обработка включала вычисление средних, ошибок средних, коэффициента вариации и оценку достоверности различий по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследований. Сравнительная эффективность ферментно-микробиологических заквасок при консервировании люцерны изменчивой разной степени проявления в лабораторных условиях оценивалась по химическому составу и питательности различных образцов готового силоса (табл. 1).

Анализ готовых образцов силоса из слабопроявленной люцерны показал, что применение препаратов МФ1 + «Биосиб» и «Яросил» + целлюлозолитические бактерии в дозе 500 мл/т способствовало незначительному повышению содержания сухого вещества, тогда как в остальных вариантах этот показатель снижался. Минимальная концентрация сухого вещества зафиксирована в силосе, приготовленном только с закваской «Яросил». По содержанию сырого протеина образцы различались слабо (22,63–23,57%). По уровню переваримого протеина различия были более выражены: максимальное значение отмечено при использовании «Биосиба» с мультиферментной композицией (55,77%). Наибольшее количество сырого жира обнаружено в образце 7С («Яросил» + целлюлозолитические бактерии, 500 мл/т), а наименьшее – в образце 8С («Яросил» + целлюлаза). Консервирование закваской «Биотроф 111» (образец 3С) привело к увеличению содержания сырой клетчатки на 3,56% относительно исходной зелёной массы, что отрицательно сказалось на энергетической ценности: в данном образце зафиксирован самый низкий уровень обменной энергии. Лучшую обеспеченность обменной энергией среди всех силосов из слабопроявленной люцерны показал образец 5С («Асидфаст НС Голд»), где содержание сырой клетчатки было минимальным, а концентрация обменной энергии достигала 12,31 МДж/кг. Внесение всех изучаемых препаратов способствовало увеличению доли безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) по сравнению с контролем.

Анализ силосов (табл. 2), приготовленных из проявленной люцерны, показал, что применение ферментно-микробиологических инокулянтов способствовало снижению содержания сухого вещества в готовых образцах силоса по сравнению с химическим консервантом АIV 3+ (контроль – 50,70%). Наименьшие значения этого показателя выявлены в образцах силоса, полученных с использованием препаратов «Яросил» + целлюлозолитические бактерии (в дозе 500 мл/т) – 37,35%, «Яросил» (в дозе 100 мл/т) – 37,71%, а также в образце 10С

(«Яросил» 50 мл/т) – 33,63, что, возможно, связано с активным расщеплением углеводов в процессе консервации корма. По содержанию сырого протеина опытные образцы силоса незначительно превосходили контроль: значение данного показателя варьировало от 21,56% (образец 6С) до 22,82% (образец 8С). По количеству переваримого протеина контрольный образец силоса уступал лишь вариантам 3С («Биотроф 111» – 72,31%) и 10С («Яросил» в дозировке 50 мл/т – 70,94).

Наименьший уровень переваримого протеина среди всех образцов готового силоса выявлен в опытной пробе, полученной с закваской «Яросил» в сочетании с целлюлозолитическими бактериями (образец 7С), значение составило 60,20%. Содержание сырой клетчатки в большинстве опытных образцов силоса оказалось ниже контроля (24,29%). Минимальная её концентрация зафиксирована в образце 8С («Яросил» + целлюлозолитические ферменты – 22,84%), который одновременно характеризовался высоким уровнем обменной энергии (12,83 МДж/кг). Минимальный уровень обменной энергии выявлен в контрольном образце силоса (10,47 МДж), что связано с низким содержанием сырого протеина и жира в данном образце. Доля БЭВ и сахаров в опытных образцах силоса оказалась ниже, чем в контроле (46,84% БЭВ и 3,74% сахара). Таким образом, для получения высококачественного корма из люцерны целесообразно проводить подвяливание, которое способствует снижению доли нежелательных кислот и повышению качества консервирования корма.

В соответствии с методикой были изучены биохимические показатели качества контрольного и опытного образцов силоса с применением микробиологической закваски «Яросил» в дозе 50 мл на тонну зелёной массы люцерны изменчивой в условиях АО «Агромир».

Анализ химического состава и питательности исходной зелёной массы люцерны изменчивой (влажность 63,96% и содержанием сухого вещества – 36,04%) показал, что сырьё характеризуется умеренной обеспеченностью питательными веществами и находится на удовлетворительном уровне для бобовых трав: содержание сырого протеина составило 6,09%, сырой клетчатки – 10,05%, сахара – 2,21%, крахмала – 1,19%, обменной энергии – 3,60 МДж/кг, ЭКЕ – 0,36. В таблице 3 представлены биохимические показатели качества контрольного и опытного образцов силоса.

Образец силоса, полученный в производственных условиях и заготовленный с использованием микробиологической закваски «Яросил», существенно превосходит контрольный образец по ключевым параметрам ферментации и в целом удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 55986-2022.

Контрольный образец силоса имел активную кислотность pH 4,86, что выходит за верхнюю границу для третьего класса (3,8–4,5), содержание масляной кислоты составило 0,26%, доля молочной кислоты – 76,79%. В опытном образце силоса, приготовленном с применением закваски «Яросил», значение pH снизилось до 4,37, концентрация масляной кислоты уменьшилась до 0,20%, а доля молочной кислоты в сумме свободных органических кислот составила 69,25%, что, согласно

Таблица 1 – Химический состав и питательность различных образцов силоса из слабопроявленной люцерны

Закваска	Показатель											
	Сухое вещество, %	Сырой протеин, %	Переваримый протеин, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %	БЭВ, %	Сахар, %	Крахмал, %	ОЭ, МДж	Кальций, %	Фосфор, %	Сырая зола, %
КС	31,63±0,76	22,71±0,14	54,07±1,68	3,59±0,30	25,07±0,25	35,45±7,87	3,97±0,11	1,13±0,18	11,89±0,08	13,15±0,02	3,16±0,01	8,20±0,12
2С	31,67±0,21	23,29±0,44	55,77±0,84	3,96±0,25	25,11±0,21	39,09±0,42	1,12±0,01	1,13±0,18	11,91±0,11	13,62±0,57	3,28±0,27	8,56±0,06
3С	29,93±0,62	23,32±0,00	52,80±1,08	3,84±0,25	26,85±0,04	37,53±0,40	0,90±0,10	1,13±0,18	11,30±0,01	13,40±0,04	3,33±0,19	8,47±0,18
4С	30,47±1,17	23,57±0,60	54,37±0,47	3,93±0,42	25,95±0,38	38,13±0,71	0,84±0,01	1,25±0,01	11,63±0,09	13,65±0,57	3,30±0,03	8,43±0,13
5С	30,94±0,43	22,87±0,51	53,33±0,64	3,78±0,25	24,03±0,18	41,11±0,10	1,02±0,00	1,02±0,00	12,31±0,11	13,13±0,33	3,20±0,19	8,22±0,01
6С	31,07±1,47	22,74±0,87	53,13±0,11	3,83±0,05	25,24±0,32	39,84±1,11	0,90±0,09	1,00±0,01	11,83±0,06	13,32±0,27	3,20±0,04	8,37±0,13
7С	31,74±0,13	22,63±0,90	54,04±2,74	4,28±0,09	25,03±0,47	39,75±1,61	0,83±0,00	1,12±0,17	11,89±0,11	13,94±0,27	3,21±0,01	8,32±0,15
8С	28,24±3,10	22,95±0,95	49,01±7,74	3,57±0,27	24,85±0,18	40,64±1,09	0,83±0,00	1,12±0,17	11,99±0,01	12,88±0,14	3,13±0,11	7,99±0,31
9С	26,42±0,54	22,81±0,13	45,39±1,24	4,19±0,21	25,31±0,25	39,18±0,47	0,70±0,19	0,87±0,17	11,80±0,08	13,23±0,08	3,19±0,07	8,53±0,13
10С	28,45±0,47	23,42±0,11	46,85±1,12	3,91±0,25	25,10±0,19	40,11±0,39	0,90±0,10	0,91±0,22	11,81±0,09	13,42±0,11	3,21±0,05	8,49±0,15

Таблица 2 – Химический состав и питательность различных образцов силоса из проявленной люцерны

Закваска	Показатель											
	Сухое вещество, %	Сырой протеин, %	Переваримый протеин, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %	БЭВ, %	Сахар, %	Крахмал, %	ОЭ, мДж	Са, %	Р, %	Сырая зола, %
КС	50,70±1,22	19,03±0,47	70,13±0,43	1,72±0,20	24,29±2,87	46,84±3,45	3,74±0,01	0,88±0,18	10,47±0,03	14,60±0,06	2,77±0,06	8,13±0,30
2С	41,51±0,91	22,19±0,08	69,05±1,82	2,98±0,02	23,31±0,04	43,24±0,04	2,70±0,49	0,75±0,00	11,15±0,02	13,57±0,27	3,31±0,01	8,28±0,11
3С	42,90±1,02	22,44±0,21	72,31±2,49	2,82±0,04	24,54±0,28	41,82±0,21	3,41±0,10	1,13±0,18	11,15±0,05	13,54±0,71	3,27±0,01	8,40±0,33
4С	39,88±2,28	21,94±0,57	65,51±5,76	3,73±0,42	25,00±0,66	40,92±1,70	1,73±0,08	0,92±0,01	11,55±0,65	13,59±0,08	3,30±0,02	8,43±0,06
5С	37,88±1,36	22,08±0,40	62,62±0,93	3,87±0,35	26,23±0,85	39,57±0,05	0,84±0,00	1,00±0,00	11,43±0,32	13,57±0,04	3,24 ±0,02	8,26±0,06
6С	39,15±0,34	21,56±0,20	62,97±0,13	3,08±1,00	24,85±0,34	42,00±1,15	0,90±0,10	0,76±0,01	11,89±0,14	13,35±0,01	3,24 ±0,01	8,51±0,30
7С	37,35±0,47	21,61±0,09	60,20±1,07	3,93±0,28	23,74±0,57	42,33±0,45	0,90±0,08	0,75±0,00	12,35±0,23	12,94±0,04	3,25±0,03	8,41±0,06
8С	39,23±0,42	22,82±0,01	67,46±0,78	3,80±0,06	22,84±0,76	42,14±0,67	1,11±0,00	0,76±0,01	12,83±0,35	13,43±0,51	3,03±0,29	8,42±0,16
9С	37,71±0,11	21,69±0,14	61,09±0,64	3,76±0,18	23,53±0,21	42,59±0,57	1,02±0,01	0,91±0,00	12,44±0,08	13,28±0,03	3,10±0,21	8,44±0,06
10С	33,63±0,10	18,18±0,21	70,94±1,37	2,56±0,25	22,87±0,33	48,16±0,41	1,27±0,02	0,78±0,02	12,42±0,11	12,14±0,19	2,43±0,15	8,98±0,05

Примечание. В таблицах 1 и 2 использованы следующие условные обозначения препаратов: КС – контрольная проба (химический консервант А1У 3+); 2С – МФ1 + «Биосиб»; 3С – «Биотроф 111», 4С – «Биоферм» + «Биосиб»; 5С – «Асидфаст НС Голд»; 6С – «Яросил» + целлюлолитические бактерии в дозировке 100 мл/т; 7С – «Яросил» + целлюлолитические бактерии в дозировке 500 мл/т; 8С – «Яросил» + целлюлолитические ферменты; 9С – «Яросил» в дозировке 100 мл/т; 10С – «Яросил» в дозировке 50 мл/т.

Таблица 3 – Биохимические показатели качества различных образцов силоса

Показатель	Контроль (без внесения закваски «Яросил»)	Опыт производственный (с внесением закваски «Яросил»)	Норма по ГОСТ Р 55986-2022
pH	4,86	4,37	3,9–4,3 (I класс); 3,9–4,3 (II класс); 3,8–4,5 (III класс)
Общее количество кислот, %	3,49	3,87	–
Молочная кислота, %	2,68	2,68	–
Уксусная кислота, %	0,55	0,99	–
Масляная кислота, %	0,26	0,20	0,1 (I класс); 0,2 (II класс); 0,3 (III класс)
Массовая доля молочной кислоты, %	76,79	69,25	65 (I класс); 60 (II класс); 55 (III класс)

ГОСТ Р 55986-2022, соответствует третьему классу по качеству.

В опытном образце силоса отмечено заметное повышение концентрации сырого протеина – с 16,06 до 17,56%, что указывает на лучшую сохранность азотистых веществ в процессе ферментации. Одновременно наблюдается снижение уровня сырой клетчатки – с 28,78 до 22,74%. Это обусловлено частичным гидролизом структурных углеводов и, как следствие, повышением переваримости и доступности питательных веществ и энергии для жвачных животных. Также увеличилась доля безазотистых экстрактивных веществ – до 46,43%, сырого жира – до 3,37%, в сравнении с контрольным образцом, что дополнительно повысило энергетическую питательность корма.

В опытном образце силоса выявлено увеличение содержания углеводов: сахара – с 0,89 до 3,08%, крахмала – с 1,60 до 4,61%. Это говорит о том, что закваска «Яросил» способствовала подавлению нежелательной микрофлоры и более полному сохранению углеводов, в том числе полисахаридов.

Энергетическая ценность опытного силоса существенно превышала показатели контрольного варианта: концентрация обменной энергии в сухом веществе опытного корма возросла до 12,50 МДж/кг, ЭКЕ – до 1,23, что обеспечило прирост обменной энергии на 22,5% на каждый килограмм сухого вещества.

Таким образом, силос, заготовленный из зелёной массы люцерны изменчивой с применением закваски «Яросил» в дозе 50 мл/т, по сравнению с контролем, характеризуется повышенной энергетической и протеиновой питательностью, меньшим содержанием клетчатки и лучшей обеспеченностью легкопереваримыми углеводами, что делает его более ценным кормом в рационе дойных коров.

В условиях производственного опыта силос, заготовленный в АО «Агромир» с использованием закваски «Яросил», применялся в кормлении коров дойного стада в зимне-стойловый период с февраля по март 2025 г. Показатели молочной продуктивности коров по результатам контрольной дойки за январь 2025 года были учтены как контрольные (табл. 4).

Из данных таблицы 4 следует, что за контрольный месяц наивысший среднесуточный удой зафиксирован у коров в период раздоя – 31,6 кг ($C_v = 22,5\%$), что типично для пика лактации. С увеличением среднесуточного удоя содержание жира в молоке коров уменьшалось, а именно, в период раздоя в среднем значение жирномолочности составило 4,19%, а в период предзапуска коров со среднесуточным удоем 23,7 кг молока содержание жира составило 5,31%.

Аналогичная тенденция прослеживалась по показателю белкомолочности: наибольшее его значение выявлено в предзапуске – значение составило 3,95%,

Таблица 4 – Показатели молочной продуктивности коров по результатам контрольной дойки (от 15.01.2025 г.)

Показатель	Раздой (с 30 по 200 день лактации) (n = 595)		Спад лактации (с 200 по 250 день лактации) (n = 100)		Предзапуск (последние 2 недели до запуска) (n = 36)	
	$\bar{X} \pm S_x$	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm S_x$	$C_v, \%$	$\bar{X} \pm S_x$	$C_v, \%$
Среднесуточный удой, кг	31,6 $\pm$ 0,29	22,5	19,0 $\pm$ 0,34	18,1	23,7 $\pm$ 1,24	31,4
МДЖ, %	4,19 $\pm$ 0,03	17,6	4,35 $\pm$ 0,07	15,5	5,31 $\pm$ 0,16	18,4
МДБ, %	3,54 $\pm$ 0,01	9,9	3,82 $\pm$ 0,03	9,2	3,95 $\pm$ 0,08	12,1
Соматические клетки, тыс./см ³	256,7 $\pm$ 43,2	–	285,2 $\pm$ 63,7	–	177,6 $\pm$ 64,7	–
Соотношение жир/белок	1,2 $\pm$ 0,01	18,1	1,1 $\pm$ 0,01	12,3	1,36 $\pm$ 0,05	22,5

Таблица 5 – Показатели молочной продуктивности коров по результатам контрольной дойки (от 11.02.2025 г.)

Показатель	Раздой (с 30 по 200 день лактации) (n = 599)		Спад лактации (с 200 по 250 день лактации) (n = 99)		Предзапуск (последние 2 недели до запуска) (n = 48)	
	X±Sx	Cv, %	X±Sx	Cv, %	X±Sx	Cv, %
Среднесуточный удой, кг	31,8±0,28	21,7	18,9±0,37	19,7	27,9±1,15*	28,8
МДЖ, %	4,26±0,03*	17,0	4,46±0,08	17,4	5,21±0,18	24,0
МДБ, %	3,64±0,01***	9,1	4,04±0,03***	8,8	3,70±0,06	11,8
Соматические клетки, тыс./см³	276,9±37,8	–	335,9±68,3	–	293,4±99,8	–
Соотношение жир/белок	1,2±0,01	16,7	1,1±0,01	13,8	1,4±0,05	26,0

Примечание: * – $P \geq 0,95$; *** – $P \geq 0,999$ в сравнении с показателями контрольной дойки за январь 2025 г.

что, возможно, связано со снижением молокообразования.

В таблицах 5 и 6 представлены показатели молочной продуктивности коров после скармливания силоса, заготовленного с использованием закваски «Яросил».

Из данных таблицы 5 следует, что в период раздоя среднесуточный удой коров незначительно повысился в сравнении с удоем за январь (31,8 кг против 31,6 кг). При этом качество молока улучшилось: массовая доля жира достоверно выросла на 0,07 п.п. ($P \geq 0,95$), достигнув значения 4,26%, а массовая доля белка увеличилась на 0,10 п.п. – с 3,54 до 3,64% ($P \geq 0,999$). Это свидетельствует о влиянии на синтез молочного жира и белка рациона, в который был включён силос, заготовленный с закваской «Яросил».

В периоде спада лактации белкомолочность коров достоверно возросла на 0,22 п.п. – с 3,82 до 4,04% ($P \geq 0,999$), достигнув максимального значения среди всех остальных групп. Содержание жира увеличилось с 4,35 до 4,46%, однако это повышение не было статистически значимым.

На фоне скармливания опытного силоса суточный удой коров в период предзапуска вырос с 23,7 до 27,9 кг ($P \geq 0,95$), или на 18%. Это говорит о том, что улучшенная питательность и поедаемость корма способствовали повышению секреции молока.

Таким образом, скармливание коровам силоса, приготовленного с использованием микробиологической закваски «Яросил», в течение первого месяца оказало

положительное влияние, главным образом, на качественные показатели молока в группах раздоя и спада лактации, и на удой – в группе предзапуска, не вызвав при этом негативных изменений в состоянии здоровья животных.

В таблице 6 представлены показатели молочной продуктивности коров по результатам контрольной дойки за март 2025 г. В этот период в стаде сохранялись две физиологические группы – раздой ($n = 586$) и предзапуск ($n = 24$).

В группе раздоя среднесуточный удой составил 31,1 кг, что практически не отличалось от аналогичного показателя за январь (31,6 кг) и лишь незначительно уступало значению за февраль (31,8 кг). Массовая доля жира снизилась до 4,02% (против 4,19% в январе), показатель белкомолочности увеличился, разница в сравнении с аналогичным показателем за январь статистически значима и составила +0,07% ($P \geq 0,999$). Это подтверждает устойчивый положительный эффект скармливания опытного силоса на белкомолочность коров в фазе раздоя. В группе предзапуска наблюдалось резкое падение среднесуточного удоя – до 14,3 кг (в феврале – 27,9 кг, в январе – 23,7 кг), что объясняется снижением молокообразования перед запуском.

Введение в рацион силоса, заготовленного с применением микробиологической закваски «Яросил», не оказало существенного влияния на уровень среднесуточного удоя коров (31,6–31,8 кг – в январе – феврале

Таблица 6 – Показатели молочной продуктивности коров по результатам контрольной дойки (от 12.03.2025 г.)

Показатель	Раздой (с 30 по 200 день лактации) (n = 586)		Предзапуск (последние 2 недели до запуска) (n = 24)	
	X±Sx	Cv, %	X±Sx	Cv, %
Среднесуточный удой, кг	31,1±0,29	22,6	14,3±1,31	44,8
МДЖ, %	4,02±0,03	18,2	4,42±0,09	9,7
МДБ, %	3,61±0,01***	9,0	4,16±0,07	8,6
Соматические клетки, тыс./см³	229,4±25,1	–	342,7±106,1	–
Соотношение жир/белок	1,1±0,01	18,9	1,1±0,02	9,5

Примечание: *** – $P \geq 0,999$ в сравнении с показателями контрольной дойки за январь 2025 г.

и 31,1 кг – в марте), однако сопровождалось положительной динамикой в составе молока. Содержание белка статистически значимо возросло как в феврале (до 3,64%; $P \geq 0,999$), так и в марте (3,61%; $P \geq 0,999$), по сравнению с исходным показателем за январь (3,54%), что указывает на устойчивое улучшение белкомолочности. Массовая доля жира в молоке также увеличилась в феврале – до 4,26% против 4,19% в январе ($P \geq 0,95$), но к марту опять снизилась до 4,02%.

Таким образом, применение силоса, приготовленного с использованием микробиологической закваски «Яросил», в кормлении дойных коров, способствует улучшению качества и поедаемости объёмистых кормов, лучшему образованию жира и белка, повышая их содержание в молоке при сохранении стабильных значений суточных удоев, тем самым способствуя более полной реализации генетического потенциала молочной продуктивности коров.

По результатам биохимического исследования сыворотки крови коров ($n = 14$ голов), которым скармливали силос, приготовленный с использованием микробиологической закваски «Яросил», выявлено, что уровень общего белка составил от 73,8 г/л до 84,3 г/л, содержание мочевины – 3,78–6,21 ммоль/л, альбумина – 32,0–38,4 г/л, глобулина – 40,8–56,6 г/л, креатинина – 66,3–106,3 ммоль/л. Концентрация кальция и фосфора в сыворотке крови подопытных коров находится в пределах физиологической нормы на протяжении периода исследований.

Таким образом, биохимический профиль крови обследованных коров свидетельствует об удовлетворительном состоянии белкового, углеводного и минерального обмена.

В целом, полученные результаты позволяют заключить, что скармливание силоса, заготовленного с микробиологической закваской «Яросил», не вызвало метаболических нарушений и не привело к ухудшению биохимического статуса лактирующих коров.

Выводы.

1. Сравнительное изучение различных ферментно-микробиологических заквасок на люцерне изменчивой

показало, что улучшение питательной ценности силоса из слабопроявленной люцерны обеспечил препарат «Асидфаст НС Голд», «Яросил» с целлюлозолитическими ферментами и целлюлозолитическими бактериями в дозе 500 мл/т; из проявленной люцерны – закваска «Яросил» + целлюлозолитические ферменты и «Яросил» в дозе 100 мл/т.

2. По результатам производственного опыта выявлено, что применение закваски «Яросил» в дозе 50 мл/т способствовало повышению питательной ценности готового силоса: содержание сырого протеина увеличилось на 1,5 п.п. (до 17,56%), обменной энергии – на 22,5% (до 12,50 МДж/кг), сахара – в 3,5 раза (до 3,08%), крахмала – в 2,9 раза (до 4,61%), а уровень сырой клетчатки снизился на 6,0 п.п. (до 22,74%). Микробиологическая закваска «Яросил» обеспечила лучшую консервацию силоса, при этом наблюдалось снижение содержания масляной кислоты до 0,20%, поддержание целевых значений pH корма – 4,37, увеличение доли молочной кислоты в сумме свободных органических кислот до 69,25%.

3. Скармливание силоса, заготовленного с закваской «Яросил», не оказало существенного влияния на уровень среднесуточного удоя у коров в период раздоя (31,1–31,8 кг), однако обеспечило устойчивое и статистически значимое повышение массовой доли белка в молоке на протяжении всего опытного периода: в феврале – до 3,64% (+0,10 п.п.; $P \geq 0,999$), в марте – до 3,61% (+0,07 п.п.; $P \geq 0,999$). В первый месяц скармливания наблюдался временный рост массовой доли жира в молоке – на 0,07 п.п. ($P \geq 0,95$).

4. Введение в рацион силоса, заготовленного с использованием микробиологической закваски «Яросил», не оказало отрицательного воздействия на функциональное состояние организма лактирующих коров. Таким образом, при заготовке силоса из люцерны изменчивой в производственных условиях рекомендуем применять микробиологическую закваску «Яросил» в дозе 50 мл на 1 тонну зелёной массы, что обеспечит получение качественного корма с повышенной энергетической и питательной ценностью.

Список источников

1. Коновалов А. В., Кравайнис Ю. Я., Кравайне Р. С., Алексеев А. А. Переваримость и качество силоса и силоса в искусственном рубце, полученных с ферментно-микробиологической закваской «Биосиб+Биоферм» // Ветеринария и кормление. 2024. № 4. С. 51–54. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-4-9. EDN TFLKQ.
2. Нуржанова С. А., Мурзакаева Г. К. Влияние силоса с закваской на рацион и продуктивность коров // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2019. № 1 (100). С. 77–86. EDN ETVTCA.
3. Кухлевская Ю. Ф. Законы правильного силоса // Эффективное животноводство. 2025. № 3 (200). С. 48–53. EDN FOLZNR.
4. Muck R. E., Nadeau E. M. G., McAllister T. A. [et al.] Silage review: Recent advances and future uses of silage additives // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, No. 5. P. 3980–4000. DOI 10.3168/jds.2017-13839.
5. Fabiszewska A. U., Zielińska K. J., Wróbel B. Trends in designing microbial silage quality by biotechnological methods using lactic acid bacteria inoculants: a minireview // World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2019. Vol. 35. Art. 76. DOI 10.1007/s11274-019-2649-2.
6. Wilkinson J. M., Bolsen K. K., Lin C. J. History of Silage : Agronomy Monograph 42 // Silage Science and Technology / ed. by D. R. Buxton, R. E. Muck, J. H. Harrison. Madison, WI : ASA, CSSA, SSSA, 2003. P. 1–30. DOI 10.2134/agronmonogr42.c1.
7. Akhtar M. F., Wenqiong C., Umar M., Changfa W. Biochemical properties of lactic acid bacteria for efficient silage production: an update // Frontiers in Microbiology. 2025. Vol. 16. Art. 1581430. DOI 10.3389/fmicb.2025.1581430.
8. Liu Y., Zhao M., Zhong S. [et al.] Review on Mining Robust Lactic Acid Bacteria for Next-Generation Silage Inoculants via Multi-Omics // Life. 2026. Vol. 16, No. 1. Art. 108. DOI 10.3390/life16010108.
9. Irawan A., Sofyan A., Ridwan R. [et al.] Effects of different lactic acid bacteria groups and fibrolytic enzymes as additives on silage quality: A meta-analysis // Bioresource Technology Reports. 2021. Vol. 14. Art. 100654. DOI 10.1016/j.biteb.2021.100654.

10. Oliveira A. S., Weinberg Z. G., Ogunade I. M. [et al.] Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, Is. 6. P. 4587–4603. DOI 10.3168/jds.2016-11815.
11. Arriola K. G., Oliveira A. S., Jiang Y. [et al.] Meta-analysis of effects of inoculation with *Lactobacillus buchneri*, with or without other bacteria, on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104, Is. 7. P. 7653–7670. DOI 10.3168/jds.2020-19647.
12. Menezes G. L., Oliveira A. F., Pires F. P. A. A. [et al.] Efficacy of adding chemical and microbial additives to silage on beef cattle performance: Systematic review and meta-analysis // *Grass and Forage Science*. 2022. Vol. 78, No. 1. P. 1–22. DOI 10.1111/gfs.12579.
13. Daniel J. L. P., Queiroz O. C. M., Arriola K. G. [et al.] Effects of homolactic bacterial inoculant on the performance of lactating dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 101, Is. 6. P. 5145–5152. DOI 10.3168/jds.2017-13880.
14. Kok I., Copani G., Bryan K. A. [et al.] Effects of feeding an inoculated corn silage with or without a direct-fed microbial on dry matter intake, milk production, and nutrient digestibility of high-producing lactating Holstein cows // *Translational Animal Science*. 2024. Vol. 8. Art. txae010. DOI 10.1093/tas/txae010.
15. Лаптев Г. Ю., Биконя С. Н. Использование биоконсервантов для повышения питательности силоса и сенажа // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2024. № 10 (231). С. 34–48. DOI 10.33920/sel-05-2410-04. EDN JRPSYQ.
16. Куренинова Т. В. Молочная продуктивность коров при использовании в рационе силоса кукурузного, заготовленного с применением бактериальных заквасок // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020. № 12(194). С. 84–90. EDN USZISM.
17. Кравайнис Ю. Я., Кравайне Р. С., Коновалов А. В., Алексеев А. А. Влияние на качество силоса ферментных заквасок и их комбинаций с микробиологическими заквасками в лабораторных условиях // *Ветеринария и кормление*. 2022. № 5. С. 31–34. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-5-9. EDN JBQERB.
18. Кравайнис Ю. Я., Коновалов А. В., Кравайне Р. С. Эффективность полимикробиологической кормовой добавки «Яросил» в инновационном развитии скотоводства // *Ветеринария и кормление*. 2020. № 3. С. 21–24. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-3-6. EDN ROHOBТ.
19. Кравайнис Ю. Я., Кравайне Р. С., Коновалов А. В. [и др.] Безопасность и питательность консервированного корма из люцерны, при внесении заквасок нового поколения // *Ветеринария и кормление*. 2021. № 6. С. 28–31. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-6-7. EDN FSWFRQ.
20. Кравайнис Ю. Я., Кравайне Р. С., Коновалов А. В. [и др.] Качество силоса при консервировании зелёной массы трав заквасками нового поколения в лабораторных условиях // *Ветеринария и кормление*. 2021. № 3. С. 27–30. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-3-8. EDN DACCDI.
21. Кравайнис Ю. Я., Флерова Е. А., Кравайне Р. С., Алексеев А. А. Использование микробиологической закваски, и в комплексе с химическим консервантом при заготовке силоса // *Ветеринария и кормление*. 2023. № 4. С. 48–51. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-4-14. EDN GQBAQN.
22. Кравайнис Ю. Я., Коновалов А. В., Кравайне Р. С., Алексеев А. А. Влияние микробиологических и ферментно-микробиологических заквасок на качество силоса разного ботанического состава в производственных условиях // *Ветеринария и кормление*. 2023. № 7. С. 38–42. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-7-9. EDN LAESSL.
23. Кравайнис Ю. Я., Алексеев А. А., Коновалов А. В., Кравайне Р. С. Качество силоса из злаковых трав, полученного при использовании закваски «Яросил» и в комплексе с азотсодержащим веществом «Мочевина» // *Ветеринария и кормление*. 2025. № 5. С. 54–57. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-5-12. EDN FBCVKA.
24. Бондарев В. А., Косолапов В. М., Победнов Ю. А. [и др.]. Проведение опытов по консервированию и хранению объемистых кормов : методические рекомендации. М. : ФГБОУ ДПО «Федеральный центр сельскохозяйственного консультирования и переподготовки кадров агропромышленного комплекса», 2008. 67 с. EDN OIZWLK.

References

1. Konovalov A. V., Kravajnis Yu. Ya., Kravajne R. S., Alekseev A. A. Perevarimost' i kachestvo silosa i silazha v iskusstvennom rubce, poluchennyh s fermentno-mikrobiologicheskoy zakvaskoj «Biosib+Bioferm» // *Veterinariya i kormlenie*. 2024. № 4. S. 51–54. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-4-9. EDN TFLLKQ.
2. Nurzhanova S. A., Murzakaeva G. K. Vliyaniye silosa s zakvaskoj na racion i produktivnost' korov // *Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Sejfullina*. 2019. № 1 (100). S. 77–86. EDN ETVTCA.
3. Kukhlevskaya Yu. F. Zakony pravil'nogo silosa // *Effektivnoye zhivotnovodstvo*. 2025. № 3 (200). S. 48–53. EDN FOLZNR.
4. Muck R. E., Nadeau E. M. G., McAllister T. A. [et al.] Silage review: Recent advances and future uses of silage additives // *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 101, No. 5. P. 3980–4000. DOI 10.3168/jds.2017-13839.
5. Fabiszewska A. U., Zielińska K. J., Wróbel B. Trends in designing microbial silage quality by biotechnological methods using lactic acid bacteria inoculants: a minireview // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol. 35. Art. 76. DOI 10.1007/s11274-019-2649-2.
6. Wilkinson J. M., Bolsen K. K., Lin C. J. History of Silage : Agronomy Monograph 42 // *Silage Science and Technology* / ed. by D. R. Buxton, R. E. Muck, J. H. Harrison. Madison, WI : ASA, CSSA, SSSA, 2003. P. 1–30. DOI 10.2134/agronmonogr42.c1.
7. Akhtar M. F., Wenqiong C., Umar M., Changfa W. Biochemical properties of lactic acid bacteria for efficient silage production: an update // *Frontiers in Microbiology*. 2025. Vol. 16. Art. 1581430. DOI 10.3389/fmicb.2025.1581430.
8. Liu Y., Zhao M., Zhong S. [et al.] Review on Mining Robust Lactic Acid Bacteria for Next-Generation Silage Inoculants via Multi-Omics // *Life*. 2026. Vol. 16, No. 1. Art. 108. DOI 10.3390/life16010108.
9. Irawan A., Sofyan A., Ridwan R. [et al.] Effects of different lactic acid bacteria groups and fibrolytic enzymes as additives on silage quality: A meta-analysis // *Bioresource Technology Reports*. 2021. Vol. 14. Art. 100654. DOI 10.1016/j.biteb.2021.100654.
10. Oliveira A. S., Weinberg Z. G., Ogunade I. M. [et al.] Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, Is. 6. P. 4587–4603. DOI 10.3168/jds.2016-11815.
11. Arriola K. G., Oliveira A. S., Jiang Y. [et al.] Meta-analysis of effects of inoculation with *Lactobacillus buchneri*, with or without other bacteria, on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104, Is. 7. P. 7653–7670. DOI 10.3168/jds.2020-19647.

12. Menezes G. L., Oliveira A. F., Pires F. P. A. A. [et al.] Efficacy of adding chemical and microbial additives to silage on beef cattle performance: Systematic review and meta-analysis // Grass and Forage Science. 2022. Vol. 78, No. 1. P. 1-22. DOI 10.1111/gfs.12579.
13. Daniel J. L. P., Queiroz O. C. M., Arriola K. G. [et al.] Effects of homolactic bacterial inoculant on the performance of lactating dairy cows // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, Is. 6. P. 5145–5152. DOI 10.3168/jds.2017-13880.
14. Kok I., Copani G., Bryan K. A. [et al.] Effects of feeding an inoculated corn silage with or without a direct-fed microbial on dry matter intake, milk production, and nutrient digestibility of high-producing lactating Holstein cows // Translational Animal Science. 2024. Vol. 8. Art. txae010. DOI 10.1093/tas/txae010.
15. Laptev G. Yu., Bikonya S. N. Ispol'zovanie biokonservantov dlya povysheniya pitatel'nosti silosa i senazha // Kormlenie sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo. 2024. № 10 (231). S. 34–48. DOI 10.33920/sel-05-2410-04. EDN JRPSYQ.
16. Kureninova T. V. Molochnaya produktivnost' korov pri ispol'zovanii v racione silosa kukuruznogo, zagotovlennogo s primeneniem bakterial'nykh zakvasok // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 12(194). S. 84–90. EDN USZISM.
17. Kravajnis Yu. Ya., Kravajne R. S., Konovalov A. V., Alekseev A. A. Vliyanie na kachestvo silosa fermentnykh zakvasok i ih kombinacij s mikrobiologicheskimi zakvaskami v laboratornykh usloviyah // Veterinariya i kormlenie. 2022. № 5. S. 31–34. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-5-9. EDN JBQERB.
18. Kravajnis Yu. Ya., Konovalov A. V., Kravajne R. S. Effektivnost' polimikrobiologicheskoy kormovoj dobavki «Yarosil» v innovacionnom razvitii skotovodstva // Veterinariya i kormlenie. 2020. № 3. S. 21–24. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-3-6. EDN ROHOB.
19. Kravajnis Yu. Ya., Kravajne R. S., Konovalov A. V. [i dr.] Bezopasnost' i pitatel'nost' konservirovannogo korma iz lyucerny, pri vnesenii zakvasok novogo pokoleniya // Veterinariya i kormlenie. 2021. № 6. S. 28–31. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-6-7. EDN FSWFRQ.
20. Kravajnis Yu. Ya., Kravajne R. S., Konovalov A. V. [i dr.] Kachestvo silazha pri konservirovanii zelyonoy massy trav zakvaskami novogo pokoleniya v laboratornykh usloviyah // Veterinariya i kormlenie. 2021. № 3. S. 27–30. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-3-8. EDN DACCDI.
21. Kravajnis Yu. Ya., Flerova E. A., Kravajne R. S., Alekseev A. A. Ispol'zovanie mikrobiologicheskoy zakvaski, i v komplekse s himicheskimi konservantom pri zagotovke silosa // Veterinariya i kormlenie. 2023. № 4. S. 48–51. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-4-14. EDN GQBAQN.
22. Kravajnis Yu. Ya., Konovalov A. V., Kravajne R. S., Alekseev A. A. Vliyanie mikrobiologicheskikh i fermentno-mikrobiologicheskikh zakvasok na kachestvo silosa raznogo botanicheskogo sostava v proizvodstvennykh usloviyah // Veterinariya i kormlenie. 2023. № 7. S. 38–42. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-7-9. EDN LAESSL.
23. Kravajnis Yu. Ya., Alekseev A. A., Konovalov A. V., Kravajne R. S. Kachestvo silosa iz zlakovykh trav, poluchennogo pri ispol'zovanii zakvaski «Yarosil» i v komplekse s azotsoderzhashchim veshchestvom «Mochevina» // Veterinariya i kormlenie. 2025. № 5. S. 54–57. DOI 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-5-12. EDN FBCVKA.
24. Bondarev V. A., Kosolapov V. M., Pobednov Yu. A. [i dr.]. Provedenie opytov po konservirovaniyu i hraneniyu ob'emistykh kormov : metodicheskie rekomendacii. M. : FGBOU DPO «Federal'nyy centr sel'skohozyajstvennogo konsul'tirovaniya i perepodgotovki kadrov agropromyshlennogo kompleksa», 2008. 67 s. EDN OIZWLK.

Сведения об авторах

Павел Сергеевич Муравьев – аспирант, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса».

Александр Владимирович Коновалов – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, директор, Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», spin-код: 7737-8836.

Андрей Александрович Алексеев – заведующий отделом технологий животноводства, старший научный сотрудник, Ярославский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», spin-код: 9419-6149.

Information about the authors

Pavel S. Murav'yev – Postgraduate student, Federal State Budget Scientific Institution "Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology".

Aleksandr V. Konovalov – Doctor of Agricultural Sciences, Docent, Director, Yaroslavl Scientific Research Institute of livestock breeding and forage production – Federal State Budget Scientific Institution "Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology", spin-code: 7737-8836.

Andrey A. Alekseev – Head of the Livestock Technology Department, Senior Research Officer, Yaroslavl Scientific Research Institute of livestock breeding and forage production – Federal State Budget Scientific Institution "Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology", spin-code: 9419-6149.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
 УДК 636.592:637.54:636.087.7
 doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.006

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНО-ОРГАНИЧЕСКОГО СОРБЕНТА В СОСТАВЕ ПОДСТИЛКИ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКУЮ ЦЕННОСТЬ МЫШЕЧНОГО ЖЕЛУДКА ИНДЕЕК

**Валентина Михайловна Бачинская¹, Гюнай Агарза кызы Вердиева²,
 Дмитрий Витальевич Гончар³, Александра Алексеевна Попова⁴**

^{1, 2}Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

^{3, 4}Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии –
 МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Валентина Михайловна Бачинская,
 bachinskaya1980@mail.ru, ORCID 0000-0001-7763-3066

Реферат. В статье представлена оценка влияния сухого зооигиенического средства на основе минерально-органического сорбента в составе подстилки на химический, аминокислотный и жирнокислотный состав мышечного желудка индеек породы белая широкогрудая кросса BUT Big. Исследование проводили на контрольной и опытной группах птицы (n = 2300 в каждой) в течение 95 суток. В ходе эксперимента оценивали химический состав мышечных желудков, аминокислотный и жирнокислотный профиль. Применение сорбента в составе подстилки способствовало достоверному увеличению массовой доли белка на 5,38% и энергетической ценности на 13,0% при снижении содержания жира на 1,04% и золы на 0,77% по сравнению с контролем. Аминокислотный анализ показал увеличение суммарного содержания аминокислот в опытной группе на 4,76 процентных пункта (с 7,83 до 12,59%), при этом наиболее выраженный прирост отмечен для аргинина, гистидина, фенилаланина и тирозина. Жирнокислотный профиль опытной группы характеризовался увеличением доли олеиновой (+4,29%) и пальмитолеиновой (+0,58%) кислот, а также улучшением соотношения омега-6 : омега-3 с 9,53 : 1 до 8,51 : 1. Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование минерально-органического сорбента в составе подстилки при выращивании индеек сопровождается повышением пищевой и биологической ценности мышечного желудка, не оказывает негативного влияния на качество продукта и может быть рекомендовано для применения в промышленном птицеводстве с целью получения функциональных продуктов питания.

Ключевые слова: сорбенты, бактериостатик, индейка, мышечный желудок, химический состав, аминокислотный состав, биологическая ценность

EFFECT OF MINERAL-ORGANIC SORBENT IN THE BEDDING ON THE CHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL VALUE OF TURKEY GIZZARD

**Valentina M. Bachinskaya¹, Gyunay A. Verdиеva²,
 Dmitriy V. Gonchar³, Aleksandra A. Popova⁴**

^{1, 2}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

^{3, 4}Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology –
 MVA by K. I. Skryabin, Moscow, Russia

Author responsible for the correspondence: Valentina M. Bachinskaya,
 bachinskaya1980@mail.ru, ORCID 0000-0001-7763-3066

Abstract. The article presents an assessment of the effect of a dry zoohygienic agent based on a mineral-organic sorbent as a part of the bedding on the chemical, amino acid and fatty acid composition of the gizzard of turkeys of the Broad Breasted White BUT Big cross. The research was conducted on the control and experimental groups of birds (n = 2300 in each) for 95 days. During the experiment, the chemical composition of the gizzards, amino acid and fatty acid profiles were assessed. The use of the sorbent in the bedding composition contributed to a significant increase in the protein mass fraction by 5.38% and the energy value by 13.0% with the decrease in the fat content by 1.04% and ash content by 0.77% compared to the control. Amino acid analysis showed an increase in the total amino acid content in the experimental group by 4.76 percentage points (from 7.83 to 12.59%), with the most pronounced increase observed

for arginine, histidine, phenylalanine and tyrosine. The fatty acid profile of the experimental group was characterized by an increase in the proportion of oleic (+4.29%) and palmitoleic (+0.58%) acids, as well as an improvement in the omega-6 to omega-3 ratio from 9.53 : 1 to 8.51 : 1. The results obtained indicate that the use of a mineral-organic sorbent in the bedding when turkey rearing is accompanied by an increase in the nutritional and biological value of the gizzard, does not have a negative effect on the product quality and can be recommended for use in commercial poultry production in order to obtain functional food products.

Keywords: *sorbents, bacteriostat, turkey, gizzard, chemical composition, amino acid composition, biological value*

Введение. Промышленное индейководство сталкивается с комплексом проблем, связанных с неблагоприятным микроклиматом и несбалансированным кормлением, что особенно критично для высокопродуктивных кроссов, чувствительных к дефициту аминокислот и микроэлементов [1; 2]. В условиях интенсивного ведения отрасли острой проблемой является поддержание высокого иммунного статуса птицы, что напрямую влияет на сохранность поголовья, продуктивность и качество получаемой продукции [3; 4]. В связи с этим актуален поиск эффективных и безопасных средств коррекции условий содержания и рационов.

Одним из перспективных направлений является использование альтернативных подстилочных материалов, таких как осадок бумажных отходов, который является безопасной альтернативой древесной стружке и не оказывает негативного влияния на естественное поведение и благополучие птицы [5]. Применение сепиолита в качестве добавки к подстилочным материалам не оказывает отрицательного воздействия на продуктивные качества птицы и технологические свойства мяса [6], что позволяет рассматривать его как перспективный компонент в системе содержания сельскохозяйственной птицы. Кроме того, сорбенты, подобные сепиолиту, способны избирательно поглощать токсины, метаболиты патогенной микрофлоры и другие вредные соединения в желудочно-кишечном тракте, способствуя детоксикации корма и нормализации микробиоты кишечника [4]. В отличие от моносорбентов, комплексные минерально-органические составы обладают более широким спектром действия, сочетая влагопоглощающие, адсорбционные и бактериостатические свойства, что делает их перспективными зоогигиеническими средствами.

Однако, помимо условий содержания, ключевое значение для формирования пищевой ценности продукции имеет качество кормления и общее состояние здоровья птицы, что отражается на химическом составе получаемых субпродуктов. Мышечный желудок индейки является одним из основных субпродуктов – экспериментально установлено, что его выход составляет 1,87% от массы тушки. При этом по массовой доле белка (17,13–21,72%) и соотношению жир : белок субпродукты индеек не уступают мышечной ткани, что делает их перспективным сырьём для рецептурных композиций мясопродуктов. Широкое использование мышечного желудка в производстве мясных деликатесов, консервов и фаршевых изделий определяет необходимость контроля его качественного состава, особенно при изменении технологии выращивания птицы. Вместе с тем именно эти субпродукты богаты усвояемым белком и органиче-

ским железом, что требует углубленного изучения их химического состава [7].

Цель данного исследования заключалась в том, чтобы изучить влияние сухого зоогигиенического средства на основе минерально-органического сорбента в составе подстилки на химический, аминокислотный и жирнокислотный состав мышечного желудка индеек.

Материал и методика исследования. Экспериментальная часть исследования проводилась на базе ООО «Егорьевская птицефабрика».

В состав изучаемого сухого зоогигиенического средства «Ультра Лайт» входят: природные минеральные сорбенты, прошедшие термическую активацию (что позволяет усилить влагопоглощающий эффект), природные органические сорбенты (90%); полимерные соединения и эфирные масла хвойных пород (10%). Применяемое средство не содержит генно-модифицированных продуктов и организмов. Содержание вредных примесей не превышает предельно допустимых норм, действующих в Российской Федерации. По внешнему виду «Ультра Лайт» представляет собой мелкогранулированный порошок.

С целью проведения эксперимента было сформировано 2 группы индеек породы белая широкогрудая кросса BUT Big по 2300 голов в каждой группе. На протяжении 95 суток индейки опытной группы содержались на подстилке с осушителем, которую меняли 2 раза за весь цикл выращивания. Средство расходовалось в соответствии с рекомендациями из инструкции – 200 г/на м² поверхности.

Опытную и контрольную группы компоновали по породе, возрасту, живой массе, условиям содержания и кормления. Распределение по указанным параметрам лежит в основе принципа пар-аналогов. В течение эксперимента отслеживались сохранность поголовья (на основе ежедневного учёта случаев падежа) и живая масса индеек с определением суточного привеса (методом индивидуального взвешивания по периодам выращивания). Рацион индеек соответствовал стандартизированному зоотехническим параметрам.

Птицы содержались при температуре 22±3°C и относительной влажности 40–60%, при искусственном освещении; световой режим: 12 ч – свет, 12 ч – темнота. Кормление осуществлялось по стандартному рациону в зависимости от возраста птицы с неограниченным доступом к питьевой воде. Убой индеек опытной и контрольной групп проводили в возрасте 95 суток.

Аминокислотный состав мышечного желудка индеек был установлен при помощи методов, указанных в ГОСТ 32195-2013 «Корма, комбикорма. Метод опреде-

Таблица 1 – Результаты химического состава мышечного желудка индейки, %

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа	НД на метод испытания
Влага, %	80,19±4,4	78,59±4,35	ГОСТ 33319-2015
Сырой жир, %	6,12±0,9	5,08±1,22	ГОСТ 23042-2015, п. 7
Белок по Кьельдалю, %	9,11±0,72	14,49±1,02	ГОСТ 25011-2017, п. 6
Зола, %	1,76±0,24	0,99±0,12	ГОСТ 31727-2012
Углеводы, %	< 0,44	< 0,44	ГОСТ 26176-2019, п. 8, 9
Энергетическая и пищевая ценность, кДж/ ккал	388,79 / 93,28	441,77 / 105,44	Расчётное

ления содержания аминокислот», на автоматическом анализаторе аминокислот S433 и жидкостном хроматографе Shimadzu Prominence-i LC-2030C Plus.

Жирнокислотный состав мышечного желудка индейки определяли по ГОСТ Р 55483-2013 «Мясо и мясные продукты. Определение жирно-кислотного состава методом газовой хроматографии» (переиздание) на газовом хроматографе Shimadzu Nexis GC-2030AF.

Обработка полученных в ходе исследования данных проводилась на основе общепринятых методов вариационной статистики с использованием программы Microsoft Excel. Достоверность разницы сравниваемых величин определялась при помощи критерия достоверности по таблице Стьюдента.

Результаты исследований и обсуждение. Общий химический состав мышечных желудков индеек представлен содержанием влаги, белка, жира и минеральных веществ. Качество продукции птицеводства является важнейшим фактором продовольственной безопасности, а субпродукты, в том числе мышечный желудок, могут служить ценным сырьём для пищевой промышленности [8]. Морфофункциональные особенности

желудка птиц определяют его химический состав, что требует детального изучения при изменении условий содержания [9]. В таблице 1 представлен химический состав мышечного желудка индейки.

В результате проведённого исследования (табл. 1) установлено, что образцы опытной группы обладают более высокой пищевой ценностью за счёт увеличения массовой доли белка на 5,38% и энергетической ценности на 13,0% при снижении содержания жира на 1,04% и золы на 0,77% по сравнению с контролем. Полученные данные подтверждают, что улучшение условий содержания птицы положительно отражается на нутриентном профиле субпродуктов [8; 9].

Аминокислотный состав мышечных желудков определяли для оценки биологической ценности белка. Мясо птицы характеризуется высоким содержанием незаменимых аминокислот, однако их соотношение может варьировать в зависимости от условий выращивания [10]. Аминокислотный профиль субпродуктов напрямую влияет на их пищевую полноценность и возможность использования в диетическом питании. Аминокислотный состав мышечного желудка индейки представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Аминокислотный состав мышечного желудка индейки, %

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа	НД на метод испытания
Аспарагиновая кислота	0,62±0,10	0,78±0,15	ГОСТ 32195-2013
Треонин	0,30±0,05	0,45±0,11	
Серин	0,35±0,06	0,39±0,07	
Глутаминовая кислота	0,93±0,15	1,41±2,02	
Пролин	0,94±0,15	1,42±2,03	
Глицин	0,50±0,08	0,98±0,12	
Аланин	0,41±0,07	0,85±0,13	
Валин	0,39±0,06	0,45±0,09	
Метионин	0,21±0,03	0,35±0,02	
Изолейцин	0,43±0,07	0,49±0,06	
Лейцин	0,79±0,13	0,89±1,01	
Тирозин	0,25±0,04	0,56±0,09	
Фенилаланин	0,32±0,05	0,74±0,06	
Гистидин	0,45±0,07	0,98±0,08	
Лизин	0,60±0,10	0,91±1,02	
Аргинин	0,34±0,05	0,94±0,08	
Всего	7,83	12,59	

Суммарное содержание аминокислот в мышечном желудке индейки опытной группы оказалось выше на 4,76% в сравнении с контролем, при этом наиболее выраженный прирост отмечен для аргинина (+0,6%), гистидина (+0,53%), фенилаланина (+0,42%) и тирозина (+0,31%). Увеличение лизина и метионина (на 0,31 и 0,14% соответственно) особенно важно, так как эти аминокислоты часто лимитируют биологическую ценность белков [10]. Полученные данные свидетельствуют о значительном повышении биологической ценности продукта при использовании сорбента в подстилке, что делает его перспективным для производства функциональных продуктов питания.

Жирнокислотный состав мышечных желудков анализировали для оценки липидного профиля и его влияния на пищевую ценность. Жирные кислоты играют ключевую роль в формировании аромата и вкуса мясных продуктов [3; 11]. Они участвуют в регуляции метаболических процессов, а изменения в липидном профиле могут существенно влиять на органолептические характеристики мяса [12; 13]. Жирнокислотный состав мышечного желудка индейки представлен в таблице 3.

Согласно данным, представленным в таблице 3, общее содержание идентифицированных жирных кислот в опытной группе увеличилось на 10,9% по сравнению с контролем. Наиболее выраженный прирост отмечен для олеиновой кислоты (+4,29%), пальмитолеиновой (+0,58%) и миристиновой (+0,37%), что свидетельствует об обогащении продукта мононенасыщенными жирными кислотами. Содержание линолевой кислоты снизилось на 7,41%, что сопровождалось увеличением γ -линоленовой кислоты (+0,03%) и улучшением соотно-

шения омега-6 : омега-3 с 9,53 : 1 до 8,51 : 1. Олеиновая и пальмитолеиновая кислоты обладают кардиопротекторными свойствами, а снижение соотношения n-6 : n-3 является благоприятным фактором, способствующим уменьшению риска сердечно-сосудистых заболеваний [3; 12; 13]. Полученные данные свидетельствуют о повышении биологической ценности продукта при использовании сорбента в подстилке, что делает его перспективным для производства функциональных продуктов питания [3; 11; 12; 13].

Выводы. В результате проведенного исследования установлено, что применение минерально-органического сорбента в составе подстилки оказало положительное влияние на химический состав мышечного желудка индеек. В опытной группе отмечено увеличение массовой доли белка на 5,38% и энергетической ценности на 13,0% при снижении содержания жира на 1,04% и золы на 0,77% по сравнению с контролем.

Аминокислотный анализ показал, что суммарное содержание аминокислот в мышечном желудке индейки опытной группы увеличилось на 4,76% (с 7,83 до 12,59%). Наиболее выраженный прирост отмечен для аргинина (+0,6%), гистидина (+0,53%), фенилаланина (+0,42%) и тирозина (+0,31%). Увеличение содержания лимитирующих аминокислот – лизина и метионина (на 0,31 и 0,14% соответственно) – свидетельствует о повышении биологической ценности белка.

Жирнокислотный профиль опытной группы характеризовался увеличением доли мононенасыщенных жирных кислот: олеиновой (+4,29%) и пальмитолеиновой (+0,58%). Соотношение омега-6 : омега-3 улучшилось с 9,53 : 1 до 8,51 : 1, что является благоприятным фактором с позиции диетологии.

Таблица 3 – Жирнокислотный состав мышечного желудка индейки, %

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа	НД на метод испытания
Миристиновая кислота, C14:0	0,46±0,01	0,83±0,02	ГОСТ Р 55483-2013
Миристолеиновая кислота, C14:1	0,06±0,01	0,06±0,01	
Пентадекановая кислота, C15:0	0,06±0,01	0,06±0,01	
Пальмитиновая кислота, C16:0	18,33±0,42	20,72±0,52	
Пальмитолеиновая кислота, C16:1	2,41±0,06	2,99±0,08	
Гептадекановая кислота, C17:0	0,12±0,01	0,13±0,02	
Стеариновая кислота, C18:0	5,89±0,14	6,21±0,16	
Олеиновая кислота, C18:1n9(c,t)	25,74±0,59	30,03±0,76	
Линолевая кислота, C18:2n6(c,t)	41,97±0,96	34,56±0,88	
γ -Линоленовая кислота, C18:3n6	0,06±0,01	0,09±0,01	
α -Линоленовая кислота, C18:3n3	4,25±0,10	3,90±0,08	
Арахидоновая кислота, C20:0	0,08±0,01	0,08±0,01	
Цис-11-Эйкозеновая кислота, C20:1n9	0,25±0,03	0,29±0,04	
Цис-11,14-Эйкозодиеновая кислота, C20:2	0,10±0,01	0,13±0,01	
Цис-11,14,17-Эйкозатриеновая кислота, C20:3n3	0,16±0,02	0,17±0,03	
Омега-6 (n-6)	42,03	34,65	
Омега-3 (n-3)	4,41	4,07	
Соотношение n-6 : n-3	9,53	8,51	

Таким образом, использование минерально-органического сорбента «Ультра Лайт» в составе подстилки при выращивании индеек способствует повышению пищевой и биологической ценности мышечного желудка,

что обосновывает целесообразность его применения и делает продукт перспективным сырьём для производства диетических и функциональных продуктов питания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дежаткина С. В., Феоктистова Н. А., Панкратова Е. В. [и др.] Биодобавки на основе модифицированного и обогащенного аминокислотами цеолита при выращивании молодняка индеек // *Аграрная наука*. 2021. № 11-12. С. 20–23. DOI 10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-20-23. EDN EPBBDV.
2. Лядова Л. В., Котарев В. И., Белоусов Д. А. Влияние кормовой добавки Профорт на мясную продуктивность индеек кросса «Хайбрид конвертер» // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021. № 1 (53). С. 193–197. DOI 10.18286/1816-4501-2021-1-193-197. EDN GJCUWL.
3. Дельцов А. А., Бачинская В. М., Гончар Д. В. Современное состояние проблемы липидного питания // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2024. № 8. С. 118–125. DOI 10.36871/vet.zoo.bio.202408013. EDN FFLNQL.
4. Петрова Ю. В., Бачинская В. М., Спивак М. А. Сравнительная эффективность применения сорбентов в птицеводстве с целью профилактики микотоксикозов // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2022. № 7. С. 42–48. DOI 10.36871/vet.zoo.bio.202207006. EDN FXBWMM.
5. Onbaşlar E. E. Effect of alternative litter materials on the behaviour of male broilers // *Behavioural Processes*. 2022. Vol. 195. Art. 104566. DOI 10.1016/j.beproc.2021.104566.
6. Varol Avcılar Ö., Yalçın S., Onbaşlar E. E., Ramay M. S. Comparison of slaughter yields and some meat quality parameters in broilers reared on sepiolite-supplemented wood shavings and rice hulls // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98, No. 4. P. 1678–1683. DOI 10.3382/ps/pey536.
7. Антипова Л. В., Шигина А. И. Рациональное использование субпродуктов при переработке индеек // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2017. Т. 79, № 1 (71). С. 119–125. DOI 10.20914/2310-1202-2017-1-119-125. EDN YTNITB.
8. Быкова Н. В. Значение отрасли птицеводства в обеспечении продовольственной безопасности // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2018. № 1 (41). С. 67–70. EDN UPUJBO.
9. Селезнева М. С., Зайцева Е. В. К морфологии желудка сельскохозяйственных птиц // *Ученые записки Брянского государственного университета*. 2016. № 2. С. 76–80. EDN XGVZJP.
10. Бачинская В. М., Васильева В. А., Гончар Д. В. Биологическая ценность и анализ аминокислотного состава разных видов мяса птицы // *Инновационная наука*. 2021. № 12-2. С. 110–113. EDN LGMCOI.
11. Campo M. M., Nute G. R., Wood J. D. [et al.] Modelling the effect of fatty acids in odour development of cooked meat in vitro: Part I – sensory perception // *Meat Science*. 2003. Vol. 63, No. 3. P. 367–375. DOI 10.1016/s0309-1740(02)00095-5.
12. Ishutina N. A. The role of fatty acids in embryonic development (review) // *Bulletin physiology and pathology of respiration*. 2018. Vol. 69. P. 107–114. DOI 10.12737/article_5b985a4bcfb950.60653849.
13. Ren Y., Zhou L., Shi Y. [et al.] Effect of alterations in phospholipids and free fatty acids on aroma-active compounds in instant-boiled chuck tender, sirloin and silverside beef // *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 16. Art. e36382. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e36382.

References

1. Dezhatkina S. V., Feoktistova N. A., Pankratova E. V. [i dr.] Biodobavki na osnove modifitsirovannogo i obogashchennogo aminokislotami ceolita pri vyrashchivanii molodnyaka indeek // *Agrarnaya nauka*. 2021. № 11-12. S. 20–23. DOI 10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-20-23. EDN EPBBDV.
2. Lyadova L. V., Kotarev V. I., Belousov D. A. Vliyanie kormovoy dobavki Profort na myasnuyu produktivnost' indeek krossa «Hajbrid konverter» // *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skhozaystvennoy akademii*. 2021. № 1 (53). S. 193–197. DOI 10.18286/1816-4501-2021-1-193-197. EDN GJCUWL.
3. Del'tsov A. A., Bachinskaya V. M., Gonchar D. V. Sovremennoe sostoyanie problemy lipidnogo pitaniya // *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya*. 2024. № 8. S. 118–125. DOI 10.36871/vet.zoo.bio.202408013. EDN FFLNQL.
4. Petrova Yu. V., Bachinskaya V. M., Spivak M. A. Sravnitel'naya effektivnost' primeneniya sorbentov v pticevodstve s cel'yu profilaktiki mikotoksikozov // *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya*. 2022. № 7. S. 42–48. DOI 10.36871/vet.zoo.bio.202207006. EDN FXBWMM.
5. Onbaşlar E. E. Effect of alternative litter materials on the behaviour of male broilers // *Behavioural Processes*. 2022. Vol. 195. Art. 104566. DOI 10.1016/j.beproc.2021.104566.
6. Varol Avcılar Ö., Yalçın S., Onbaşlar E. E., Ramay M. S. Comparison of slaughter yields and some meat quality parameters in broilers reared on sepiolite-supplemented wood shavings and rice hulls // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98, No. 4. P. 1678–1683. DOI 10.3382/ps/pey536.
7. Antipova L. V., Shigina A. I. Racional'noe ispol'zovanie subproduktov pri pererabotke indeek // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij*. 2017. T. 79, № 1 (71). S. 119–125. DOI 10.20914/2310-1202-2017-1-119-125. EDN YTNITB.
8. Bykova N. V. Znachenie otrasli pticevodstva v obespechenii prodovol'stvennoy bezopasnosti // *Vestnik APK Verhnevolzh'ya*. 2018. № 1 (41). S. 67–70. EDN UPUJBO.
9. Selezneva M. S., Zajtseva E. V. K morfologii zheludka sel'skhozaystvennyh ptic // *Uchenye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016. № 2. S. 76–80. EDN XGVZJP.
10. Bachinskaya V. M., Vasil'eva V. A., Gonchar D. V. Biologicheskaya cennost' i analiz aminokislotnogo sostava raznyh vidov myasa pticy // *Innovatsionnaya nauka*. 2021. № 12-2. S. 110–113. EDN LGMCOI.
11. Campo M. M., Nute G. R., Wood J. D. [et al.] Modelling the effect of fatty acids in odour development of cooked meat in vitro: Part I – sensory perception // *Meat Science*. 2003. Vol. 63, No. 3. P. 367–375. DOI 10.1016/s0309-1740(02)00095-5.
12. Ishutina N. A. The role of fatty acids in embryonic development (review) // *Bulletin physiology and pathology of respiration*. 2018. Vol. 69. P. 107–114. DOI 10.12737/article_5b985a4bcfb950.60653849.
13. Ren Y., Zhou L., Shi Y. [et al.] Effect of alterations in phospholipids and free fatty acids on aroma-active compounds in instant-boiled chuck tender, sirloin and silverside beef // *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 16. Art. e36382. DOI 10.1016/j.heliyon.2024.e36382.

Сведения об авторах

Валентина Михайловна Бачинская – доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», spin-код: 5101-7965.

Гюнай Агарза кызы Вердиева – соискатель кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

Дмитрий Витальевич Гончар – кандидат биологических наук, доцент кафедры паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина», spin-код: 3211-4804.

Александра Алексеевна Попова – обучающаяся, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина», spin-код: 7566-3391.

Information about the authors

Valentina M. Bachinskaya – Doctor of Biological Sciences, Docent, Head of the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Expertise, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Timiryazev State Agrarian University", spin-code: 5101-7965.

Gunay A. Verdieva – applicant of the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Expertise, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Timiryazev State Agrarian University".

Dmitriy V. Gonchar – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Parasitology and Veterinary-Sanitary Expertise, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin", spin-code: 3211-4804.

Aleksandra A. Popova – student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin", spin-code: 7566-3391.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 639.3.08
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.007

ВЛИЯНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СТРЕССА НА ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОДОВИКОВ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) И НИЛЬСКОЙ ТИЛЯПИИ (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) И СПОСОБЫ ИХ КОРРЕКЦИИ

Рамзия Тимергалеевна Маннапова¹, Дмитрий Владимирович Снегирев²,
Оксана Наильевна Яковлева³

^{1, 2, 3}Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

¹ram.mannapova55@mail.ru, ORCID 0000-0002-9092-9862

²antiminc@mail.ru, ORCID 0000-0002-5477-2888

³persona.l765076@mail.ru, ORCID 0009-0000-5972-6998

Реферат. В условиях интенсификации аквакультуры транспортный стресс является одним из ключевых лимитирующих факторов, снижающих иммунную резистентность и продуктивность рыб. В исследовании установлено, что транспортный стресс вызывает выраженную иммуносупрессию, особенно у нильской тилапии, сопровождающуюся резким падением показателей неспецифической резистентности. У радужной форели отмечен кратковременный компенсаторный всплеск бактерицидной активности с последующим истощением клеточного звена иммунитета. Наиболее высокую эффективность продемонстрировала алиментарная подготовка с использованием экстракта прополиса и комплекса витаминов С и Е в течение 12 суток до перевозки. Применение экстракта прополиса обеспечило стабильное превышение показателей бактерицидной, комплементарной и фагоцитарной активности над контролем в 1,3–3,1 раза, повышение выживаемости форели до 96,0% (против 81,0% в контроле) и снижение кормового коэффициента до 1,24. Витамины С и Е также достоверно предотвращали стрессовую иммуносупрессию. Гвоздичное масло и гипотермия оказали лишь умеренное поддерживающее действие. Сделан вывод о целесообразности включения экстракта прополиса и антиоксидантных витаминов в рационы рыб за 12 суток до транспортировки для сохранения иммунологического гомеостаза и минимизации экономических потерь.

Ключевые слова: радужная форель, нильская тилапия, транспортный стресс, бактерицидная активность, фагоцитоз, экстракт прополиса, витамины С и Е, алиментарная подготовка, аквакультура

EFFECT OF TRANSPORT STRESS ON IMMUNOLOGICAL AND PRODUCTIVE PARAMETERS OF YEARLING RAINBOW TROUT (*ONCORHYNCHUS MYKISS*) AND NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) AND METHODS FOR THEIR CORRECTION

Ramziya T. Mannapova¹, Dmitry V. Snegirev², Oksana N. Yakovleva³

^{1, 2, 3}Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russia

¹ram.mannapova55@mail.ru, ORCID 0000-0002-9092-9862

²antiminc@mail.ru, ORCID 0000-0002-5477-2888

³persona.l765076@mail.ru, ORCID 0009-0000-5972-6998

Abstract. Under aquaculture intensification, transport stress is one of the key limiting factors that reduce the immune resistance and performance of fish. The study revealed that transport stress causes pronounced immunosuppression, especially in Nile tilapia, accompanied by a sharp decline in nonspecific resistance parameters. In rainbow trout, a short-term compensatory surge of bactericidal activity was noted, followed by depletion of the cell-mediated immunity. The highest efficiency was demonstrated by alimentary preparation using propolis extract and a complex of vitamins C and E for 12 days before transportation. The use of propolis extract provided a stable increase of bactericidal, complement and phagocytic activity compared with the control by 1.3–3.1 times, an increase in trout survival rate to 96.0% (versus 81.0% in the reference) and a decrease in feed conversion ratio to 1.24. Vitamins C and E also significantly prevented stress-induced immunosuppression. Clove oil and hypothermia had only moderate supportive effect. It is concluded that it is advisable to include propolis extract and antioxidant vitamins in fish diets 12 days before transportation to maintain immunological homeostasis and minimize economic losses.

Keywords: rainbow trout, Nile tilapia, transport stress, bactericidal activity, phagocytosis, propolis extract, vitamins C and E, alimentary preparation, aquaculture

Введение. В условиях курса на продовольственную безопасность и импортозамещение рыбоводство в Российской Федерации приобретает стратегическое значение, а интенсивные технологии выращивания гидробионтов становятся основой товарного производства. Среди объектов промышленной аквакультуры особое место занимают лососевые, в первую очередь радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*), и тепловодные эврибионтные виды, такие как нильская тиляпия (*Oreochromis niloticus*), являющиеся важнейшими источниками полноценного белка, полиненасыщенных жирных кислот и микронутриентов.

Несмотря на достигнутые успехи, интенсивная технология выращивания, особенно в условиях установок замкнутого водоснабжения (УЗВ), неизбежно сопряжена с транспортно-логистическими операциями: перевозкой рыбопосадочного материала для дорастивания, перемещением между производственными корпусами или реализацией товарной продукции [1; 2; 3; 4]. Транспортный стресс является одним из наиболее значимых факторов, вызывающих комплексные нарушения гомеостаза у рыб: гипергликемию, диспротеинемию, иммуносупрессию и дисбиоз кишечника с экспансией условно-патогенной микрофлоры. Это ведёт к снижению колонизационной резистентности, развитию вторичных инфекций, росту отхода поголовья и значительным экономическим потерям [5; 6; 7].

В современной аквакультуре особую актуальность приобретает поиск эффективных, экологически безопасных и экономически обоснованных технологий алиментарной подготовки рыб к стрессовым воздействиям [8; 9; 10; 11]. Использование биологически активных кормовых добавок (экстракты растительного и животного происхождения, антиоксидантные витамины) и методов контролируемой гипотермии позволяет смягчить стресс-ответ, сохранить микробиологический баланс и поддержать иммунную резистентность [11; 12]. Однако видовые особенности стресс-реакции у холодноводной форели и тепловодной тиляпии, а также сравнительная эффективность различных адаптогенов изучены недостаточно, что сдерживает разработку дифференцированных технологий подготовки рыб к транспортировке [13; 14; 15].

Цель исследования: изучить влияние транспортного стресса при перевозке годовиков *Oncorhynchus mykiss* и *Oreochromis niloticus* на иммунную резистентность и рыбоводно-биологические показатели рыб, а также научно обосновать технологию их алиментарной подготовки с применением биологически активных добавок.

Объекты и методы исследований. Исследования проводились в условиях специализированного рыбоводного хозяйства на базе установок замкнутого водоснабжения (УЗВ). Объектами исследования служили клинически здоровые годовики радужной форели и нильской тиляпии. Для оценки влияния различных способов подготовки к транспортировке было сформировано 5 аналогичных по исходной биомассе и количеству групп для каждого вида рыб. Исходная плотность посадки составляла 100 шт./м³. Общее количество рыб в ка-

ждой группе – 175 экз. (150 основных + 25 резервных). Начальная масса *Oncorhynchus mykiss* составила с 1–3 группами 56,8 г, в 4 группе – 64,4 г, в 5 группе – 69,0 г; *Oreochromis niloticus* с 1–3 группами – 125,9 г, в 4 группе – 139,0 г, в 5 группе – 159,5 г. Продолжительность посттранспортировочного периода наблюдения составила 30 суток. Схема эксперимента включала следующие группы:

1. Контрольная: базовый рацион без применения адаптогенов.
2. Опытная: базовый рацион + применение гвондичного масла (в качестве анестетика) непосредственно при перевозке.
3. Опытная: базовый рацион + гипотермия (снижение температуры транспортной воды на 3–5°C) с обеспечением постоянной аэрации.
4. Опытная: базовый рацион, обогащённый стабилизированными формами витаминов С и Е в течение 12 суток до перевозки.
5. Опытная: базовый рацион, обогащённый экстрактом прополиса в течение 12 суток до перевозки.

Во всех группах за 24 часа до транспортировки проводилась выдержка рыб без кормления. Непосредственно при перевозке во всех группах в транспортную воду добавлялся хлорид натрия (NaCl) из расчёта 0,4 г/л для профилактики осмотического стресса.

Иммунологические исследования (бактерицидная, комплементарная и фагоцитарная активность сыворотки крови) проводили до перевозки (фон), а также на 2, 4, 15 и 30-е сутки после начала транспортировки по общепринятым методикам. Рыбоводно-биологические показатели (удельная скорость роста (SGR), кормовой коэффициент (FCR), выживаемость) рассчитывали по результатам контрольных обловов. Статистическую обработку данных проводили с вычислением средней арифметической (M), ошибки средней ($\pm m$) и коэффициента вариации (Cv). Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента (* $P \geq 0,95$; ** $P \geq 0,99$; *** $P \geq 0,999$).

Результаты и их обсуждение. Бактерицидная, комплементарная и фагоцитарная активности являются ключевыми показателями гуморального и клеточного звеньев неспецифической резистентности, отражающих способность организма противостоять патогенной микрофлоре в условиях стресса. Физиологическая норма бактерицидной активности сыворотки крови (БАСК) для радужной форели составляет 45–70%, для нильской тиляпии – 30–50%.

Результаты изучения динамики БАСК представлены в таблице 1. В контрольной группе радужной форели фоновый уровень БАСК до перевозки составлял 44,4%. На 2-е и 4-е сутки после начала стрессового воздействия показатель возрастал до 49,6 и 53,0% соответственно, как компенсаторная защитная реакция. Однако к 15-м и 30-м суткам происходил спад до 48,7 и 45,0%, что свидетельствует об истощении адаптационных резервов организма на фоне пролонгированного транспортного стресса.

В опытных группах форели применение добавок предотвратило иммуносупрессию. Во 2-й группе (гво-

Таблица 1 – Динамика бактерицидной активности сыворотки крови годовиков *Oncorhynchus mykiss* и *Oreochromis niloticus* при перевозке для доращивания на фоне внесения в корма биологических добавок и гипотермии (в %)

Группа и биологическая добавка	Стат. показ.	Срок исследований от начала перевозки (сут.)									
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>					<i>Oreochromis niloticus</i>				
		Фон	2	4	15	30	Фон	2	4	15	30
1-я, контроль, ОУ, из бассейна + NaCl	М	44,4	49,6	53,0	48,7	45,0	27,9	12,7	14,2	15,8	17,5
	±m	1,2	1,0	1,6	1,3	1,2	0,6	0,4	0,3	0,4	0,4
	Cv	8,5	6,4	9,5	8,4	8,4	6,8	10,0	6,7	8,0	7,2
2-я, ОУ + гвоздичное масло + NaCl	М	43,3	56,9	56,5	52,4	54,0	26,8	16,8	17,4	18,9	20,8
	±m	1,0	1,2	1,2	1,5	1,4	0,7	0,4	0,4	0,5	0,5
	Cv	7,2	6,6	6,9	8,9	8,5	8,1	6,6	7,9	9,2	7,9
	P	–	***	–	–	***	–	***	***	***	***
3-я, ОУ + гипотермия на 3–5°C + NaCl	М	43,5	54,2	55,3	50,6	52,7	27,5	15,5	16,6	17,5	19,7
	±m	1,1	1,4	1,3	1,3	1,3	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5
	Cv	7,7	8,3	7,5	8,2	7,7	6,6	7,8	7,7	8,4	8,0
	P	–	*	–	–	***	–	***	***	*	**
4-я, ОУ за 12 сут. ежедневно витамины С и Е + NaCl	М	48,4	54,7	58,7	54,2	56,0	29,7	25,8	27,3	28,6	32,0
	±m	1,1	1,5	1,3	1,2	1,3	0,6	0,5	0,6	0,7	0,9
	Cv	7,0	8,5	6,9	7,0	7,2	6,8	6,6	6,6	7,8	8,9
	P	*	*	*	**	***	–	***	***	***	***
5-я, ОУ + за 12 сут. ежедневно экстракт прополиса + NaCl	М	51,5	58,0	60,3	59,0	60,2	34,3	32,6	35,0	38,6	43,9
	±m	1,4	1,6	1,8	1,5	1,6	0,8	0,7	0,9	1,1	1,1
	Cv	8,3	8,5	9,3	8,0	8,4	7,1	7,3	7,8	9,4	7,9
	P	**	***	**	***	***	***	***	***	***	***

Примечание. Здесь и далее: ОУ – общие условия, с 1–5 группы + по 0,4 г/л чистая NaCl при перевозке. * $P \geq 0,95$; ** $P \geq 0,99$; *** $P \geq 0,999$ – по сравнению с 1-й группой; «–» – различия статистически не значимы ($P < 0,95$).

зидичное масло) на 30-е сутки показатель составил 54,0%, превысив контроль на 20,0%. В 3-й группе (гипотермия) на 2-е сутки значение БАСК составило 54,2% (выше контроля на 9,3%). Более выраженный иммуномодулирующий эффект зарегистрирован в 4-й группе (витамины С и Е), где к 30-м суткам показатель достиг 56,0%, превысив контроль на 24,4%. Наиболее стабильно высокие значения БАСК зафиксированы в 5-й группе (экстракт прополиса): на 2-е сутки она составила 58,0% (выше контроля на 16,9%), а к 30-м суткам достигла 60,2%, превысив контроль в 1,34 раза (на 33,8%) и находясь в пределах верхней границы физиологической нормы.

В контрольной группе нильской тилляпии фоновый уровень БАСК составил 27,9%. Транспортный стресс вызвал резкое снижение показателя до 12,7 и 14,2% на 2-е и 4-е сутки с крайне медленным восстановлением лишь до 17,5% к 30-м суткам. Применение гвоздичного масла (2-я группа) повысило показатель на 2-е сутки до 16,8% (выше контроля на 32,3%). Существенные различия выявлены в 4-й группе (витамины С и Е), где на 2-е сутки показатель составил 25,8% (в 2,03 раза выше контроля), а к 30-м суткам достиг 32,0% (выше контроля на 82,9%). Максимальный эффект продемонстрировала 5-я группа (экстракт прополиса): на 2-е сутки БАСК составила 32,6% (в 2,57 раза выше контроля), а к 30-м

суткам достигла 43,9%, превысив контрольный уровень в 2,51 раза.

Динамика комплементарной активности сыворотки крови (рис. 1) в контрольной группе форели снизилась с фонового значения 36,8 ед./мл до 28,4 и 27,0 ед./мл на 2-е и 4-е сутки, с последующим восстановлением до 39,7 ед./мл к 30-м суткам. В 5-й группе (прополис) на 2-е сутки показатель достиг 48,5 ед./мл (выше контроля на 70,8%), а к 30-м суткам – 58,3 ед./мл (выше контроля на 46,9%).

Аналогичная тенденция наблюдалась у тилляпии: в контроле комплементарная активность снизилась с 13,0 до 10,0 ед./мл на 4-е сутки, тогда как в 5-й группе к 30-м суткам она увеличилась до 28,0 ед./мл, превысив контроль в 1,56 раза.

Анализ фагоцитарной активности лейкоцитов (ФАЛ, табл. 2) показал, что в контрольной группе форели она снизилась с 24,8% до критических 12,5 и 8,14% на 2-е и 4-е сутки, что свидетельствует о глубокой стрессовой иммуносупрессии клеточного звена. Лишь к 30-м суткам показатель восстановился до 30,0%. В 5-й группе (прополис) ФАЛ на 2-е сутки составила 32,7% (в 2,62 раза выше контроля), на 4-е сутки – 25,6% (в 3,14 раза выше), а к 30-м суткам достигла 59,6%, превысив контроль в 1,99 раза. У тилляпии в контрольной группе ФАЛ упала с 15,3 до 9,46% на 4-е сутки, тогда как в 5-й

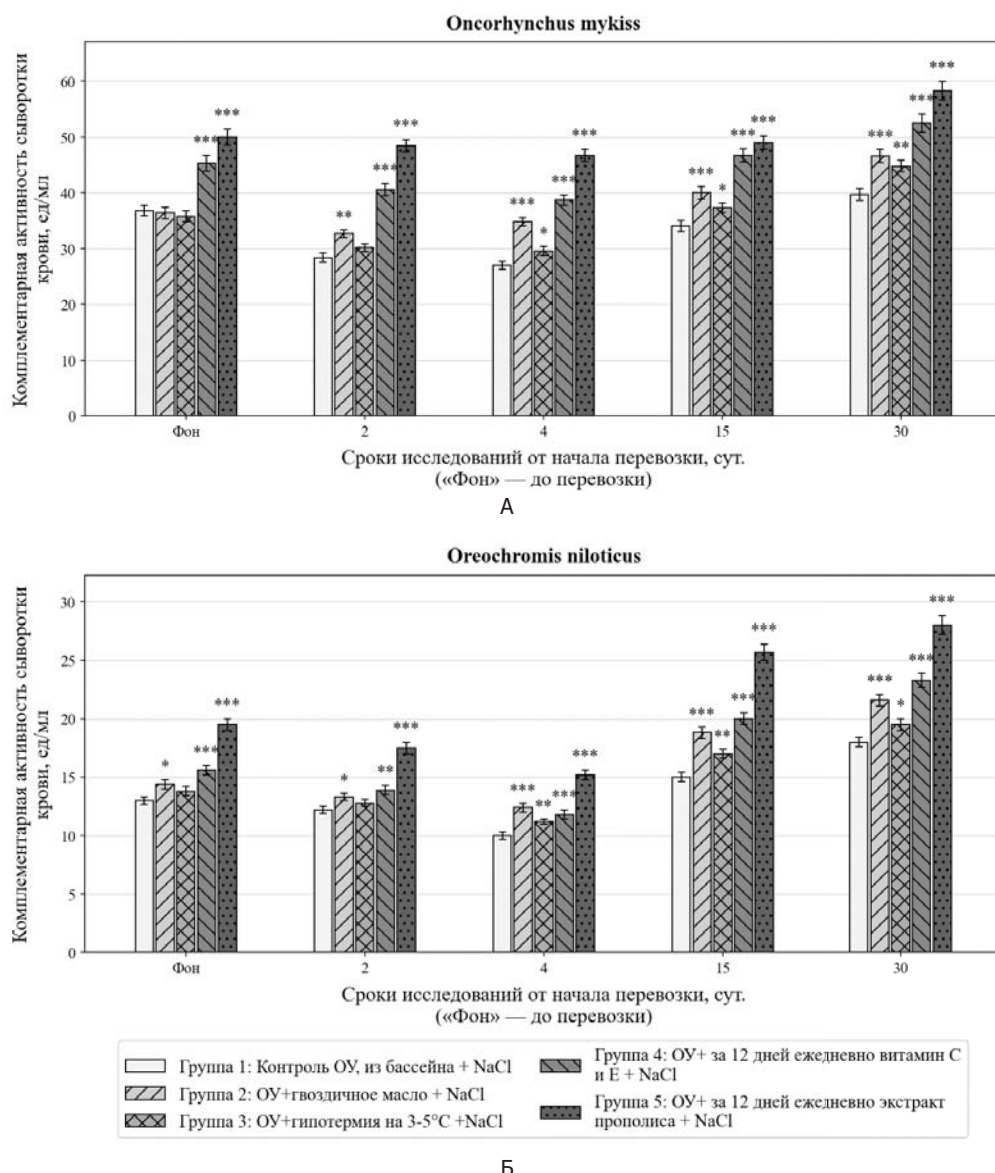


Рисунок 1 – Динамика комплементарной активности сыворотки крови годовиков *Oncorhynchus mykiss* (А) и *Oreochromis niloticus* (Б) при перевозке для доращивания на фоне внесения в корма биологических добавок и гипотермии

группе к 30-м суткам достигла 44,2% (выше контроля на 77,5%).

Лучшие рыбоводно-биологические показатели на фоне перевозки для доращивания годовиков *O. mykiss* установлены в 5-й группе: удельная скорость роста (SGR) достигла 2,16% в сутки, наибольший прирост биомассы составил 10,1 кг, а кормовой коэффициент (FCR) снизился до 1,24. Данная динамика обусловлена высокой биологической активностью компонентов прополиса и успешной предварительной адаптацией рыб, что обеспечило стабильный гематологический профиль, высокий уровень неспецифического иммунитета и нормальный баланс микрофлоры кишечника [6; 11].

Достойные результаты получены в 4-й группе (витамины С и Е), где кормовой коэффициент составил 1,88, в то время как во 2-й и 3-й группах он оставался на стандартном среднем уровне (2,17 и 2,58 соответственно). В контрольной группе скорость роста составила лишь 1,52% в сутки при максимальном расходе корма, мини-

мальном приросте и высоком отходе рыбы, что подтверждает наличие выраженного физиологического стресса.

Выживаемость радужной форели за 30-суточный посттранспортирный период составила в 1-й (контрольной) группе 81,0%, во 2-й – 87,0%, в 3-й – 85,0%, в 4-й – 91,0%, а в 5-й группе достигла 96,0%. Это свидетельствует о высокой эффективности алиментарной подготовки с применением экстракта прополиса и витаминов в смягчении действия стрессовых факторов транспортировки.

Динамика изменения рыбоводно-биологических показателей у нильской тиляпии развивалась по аналогичному сценарию, однако с видовыми особенностями. Эти различия обусловлены фундаментальными физиологическими и метаболическими отличиями представителей семейств лососевых и цихлид, включая разную термическую толерантность, специфику липидного обмена и скорость адаптационных реакций на осмотический и транспортный стресс.

Таблица 2 – Динамика фагоцитарной активности лейкоцитов крови годовиков *Oncorhynchus mykiss* и *Oreochromis niloticus* при перевозке для доращивания на фоне внесения в корма биологических добавок и гипотермии (%), $M \pm m$, C_v , %)

Группа и биологическая добавка	Стат. показ.	Срок исследований от начала перевозки (сут.)									
		<i>Oncorhynchus mykiss</i>					<i>Oreochromis niloticus</i>				
		Фон	2	4	15	30	Фон	2	4	15	30
1-я, контроль, ОУ, из бассейна + NaCl	M	24,8	12,5	8,14	18,8	30,0	15,3	11,3	9,46	16,7	24,9
	$\pm m$	0,62	0,28	0,23	0,56	0,70	0,37	0,33	0,28	0,40	0,72
	C_v	7,9	7,1	8,9	9,4	7,4	7,6	9,2	9,4	7,6	9,1
2-я, ОУ + гвоздичное масло + NaCl	M	25,3	11,7	10,6	27,3	39,7	17,8	15,9	12,8	21,6	29,7
	$\pm m$	0,59	0,26	0,32	0,64	1,18	0,51	0,37	0,31	0,60	0,88
	C_v	7,4	7,0	9,5	7,4	9,4	9,1	7,3	7,7	8,7	9,4
	P	–	–	***	***	***	***	***	***	***	***
3-я, ОУ + гипотермия на 3–5°C + NaCl	M	25,7	12,0	9,62	25,9	33,4	16,0	13,0	11,5	18,9	26,0
	$\pm m$	0,61	0,32	0,28	0,73	0,88	0,40	0,35	0,29	0,52	0,62
	C_v	7,5	8,3	9,3	9,0	8,3	8,0	8,4	7,9	8,7	7,6
	P	–	–	***	***	**	–	**	***	**	–
4-я, ОУ за 12 сут. ежедневно витамины С и Е + NaCl	M	36,7	22,7	18,5	29,0	48,6	25,8	21,8	15,6	29,0	41,8
	$\pm m$	1,09	0,54	0,53	0,68	1,40	0,67	0,59	0,43	0,65	1,20
	C_v	9,4	7,5	9,1	7,5	9,1	8,2	8,5	8,7	7,1	9,1
	P	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
5-я, ОУ + за 12 сут. ежедневно экстракт прополиса + NaCl	M	41,6	32,7	25,6	38,7	59,6	29,5	26,7	18,8	36,7	44,2
	$\pm m$	1,13	0,77	0,74	1,14	1,76	0,81	0,67	0,44	0,89	1,03
	C_v	8,6	7,5	9,1	9,3	9,3	8,7	8,0	7,3	7,6	7,4
	P	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

Выводы:

1. Транспортный стресс при перевозке вызывает выраженное угнетение факторов неспецифической резистентности у обоих видов рыб. У нильской тиляпии он приводит к тотальной иммуносупрессии с крайне медленным восстановлением, тогда как у радужной форели кратковременный компенсаторный всплеск бактерицидной активности сменяется глубоким подавлением фагоцитоза и системы комплемента в острый период стресса.

2. Алиментарная подготовка рыб в течение 12 суток до перевозки с использованием биологически активных добавок существенно улучшает иммунный ответ. Наиболее высокую эффективность продемонстрировал экстракт прополиса, обеспечивший стабильное превышение показателей бактерицидной, комплементарной и фагоцитарной активности над контролем в 1,3–3,1 раза на протяжении всего периода наблюдения.

3. Применение экстракта прополиса позволило повысить выживаемость радужной форели после транспортировки до 96,0% (против 81,0% в контроле), увеличить удельную скорость роста до 2,16% в сутки и снизить кормовой коэффициент до 1,24. Комплекс витаминов С и Е также оказал выраженный иммуностимулирующий эффект, достоверно предотвращая стрессовую иммуносупрессию.

4. Гвоздичное масло и гипотермия обладали лишь умеренным поддерживающим действием и не способствовали полному компенсированию негативного влияния транспортного стресса. Обоснована целесообразность включения экстракта прополиса и антиоксидантных витаминов в рационы *O. mykiss* и *O. niloticus* за 12 суток до транспортировки как наиболее эффективного способа сохранения иммунологического гомеостаза и повышения продуктивных показателей.

Список источников

- Агеев Д. С. Радужная форель как объект аквакультуры // Водные биоресурсы и аквакультура юга России : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Краснодар, 30 мая 2023 года. Краснодар : Кубанский государственный университет, 2023. С. 11–13. ISBN 978-5-8209-2340-1. EDN BFDNKK.
- Алпатов А. В., Богачев А. И., Колончин К. В., Ставцев А. Н. Аквакультура: мировой и российский рынок // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2020. № 11 (68). С. 131–139. DOI 10.33938/2011-131. EDN VYAKUF.
- Жданок С. А., Ильина З. М., Толочко Н. К. Нанотехнологии в агропромышленном комплексе: монография / под ред. Н. К. Толочко. Минск : БГАТУ, 2012. 172 с. ISBN 978-985-519-446-1.
- Пыриков А. С., Власов В. А., Ревякин А. О. Выращивание нильской тиляпии (*O. Niloticus*) на комбикорме с добавкой «Метаболит плюс» // Природобустройство. 2017. № 1. С. 127–135. EDN YRBSWR.
- Снегирев Д. В., Маннапова Р. Т. Фагоцитоз у рыб *Oreochromis niloticus* на фоне развития кандидозов в условиях аквариумного содержания // Тимирязевский биологический журнал. 2023. № 2. С. 69–76. DOI 10.26897/2949-4710-2023-2-69-76. EDN AUCBJC.

6. Снегирев Д. В., Маннапова Р. Т., Маннапов А. Г. Механизмы экологического восстановления иммунной защиты *Oreochromis niloticus* прополисом с сенсibilизаторами на фоне развития кандидамикозов // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 4 (58). DOI 10.51419/202134420. EDN IIZNUH.
7. Маслoбoйшчикoвa В. В. Рыбoвoднo-биoлoгичeскaя хaрaктeристикa сeлeкциoнныx дoстижeний в фoрeлeвoдствe РФ // *Научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 125-летию со дня рождения академика Н. И. Вавилова* : сб. статей, Москва, 05–06 июня 2012 года. М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. С. 56–57. ISBN 978-5-9675-0861-5.
8. Власов В. А., Пырских А. С. Использование в кормлении рыб биологически активной добавки «Метаболит плюс» // *Природообустройство*. 2015. № 5. С. 112–115. EDN TAZYKU.
9. Демет'ев Д. В., Калайда М. Л., Жигин А. В. Использование кормовой добавки «Винивет» в кормлении молоди стальноголового лосося // *Главный зоотехник*. 2021. № 9 (218). С. 19–27. DOI 10.33920/sel-03-2109-03. EDN XNQQMP.
10. Есавкин Ю. И., Жигин А. В., Максименкова А. А. Влияние кормовой добавки «Энзимспорин» на физиолого-биохимические показатели радужной форели в садках на теплых водах // *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2020. № 4 (46). С. 36–40. DOI 10.32935/2221-7312-2020-46-4-36-40. EDN PTSKSB.
11. Маннапова Р. Т., Снегирев Д. В. Экологическая безопасность и очистка поверхностных водоемов от энтеробактерий и вирусов: монография. М. : ООО «Проспект», 2026. 120 с. ISBN 978-5-392-38716-8. EDN MDMSOH.
12. Маленкина К. А., Аринжанов А. Е. Результаты исследований и рекомендации по использованию добавок микроэлементов в кормлении рыб: органические соединения, хелаты, наночастицы и комплексные препараты (обзор) // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2024. № 1. С. 27–49. DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbior.2024.1.27-49. EDN LKIPPB.
13. Кандыбин А. А., Бубунец Э. В. Динамика концентрации аммиака при перевозке карповых рыб в герметичных емкостях // *Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства : материалы VIII Международ. науч.-практ. конф., Макеевка, 17 апреля 2025 г. : в 7 т. / ФГБОУ ВО «Донбасская государственная аграрная академия»*. Макеевка, 2025. Т. 1. С. 112–116.
14. Кошчаев А. Г., Максим Е. А., Козубов А. С. Изучение влияния синбиотической кормовой добавки на показатели роста сеголетков стерляди // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2025. № 118. С. 311–315. DOI 10.21515/1999-1703-118-311-315. EDN XEQXXL.
15. Щербачков Ю. С., Демет'ева Н. В., Терлецкий В. П. [и др.] Встречаемость аномалий у форели ропшинская золотистая // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 11 (164). С. 145–151. DOI 10.36718/1819-4036-2020-11-145-151. EDN RYFPJX.

References

1. Ageev D. S. Raduzhnaya forel' kak ob'ekt akvakul'tury // *Vodnye bioresursy i akvakul'tura yuga Rossii : materialy IV Vseross. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenykh, Krasnodar, 30 maya 2023 goda. Krasnodar : Kubanskij gosudarstvennyj universitet*, 2023. S. 11–13. ISBN 978-5-8209-2340-1. EDN BFDNKK.
2. Alpatov A. V., Bogachev A. I., Kolonchin K. V., Stavtsev A. N. Akvakul'tura: mirovoj i rossijskij rynek // *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom hozyajstve*. 2020. № 11 (68). S. 131–139. DOI 10.33938/2011-131. EDN VYAKUF.
3. Zhdanok S. A., Il'ina Z. M., Tolochko N. K. Nanotekhnologii v agropromyshlennom komplekse: monografiya / pod red. N. K. Tolochko. Minsk : BGATU, 2012. 172 s. ISBN 978-985-519-446-1.
4. Pyrsikov A. S., Vlasov V. A., Revyakin A. O. Vyrashchivanie nil'skoj tilyapii (*O. Niloticus*) na kombikorme s dobavkoj «Metabolit plyus» // *Природообустройство*. 2017. № 1. S. 127–135. EDN YRBSWR.
5. Snegirev D. V., Mannapova R. T. Fagocitoz u ryb *Oreochromis niloticus* na fone razvitiya kandidamikozov v usloviyah akvariumnogo soderzhaniya // *Timiryazevskij biologicheskij zhurnal*. 2023. № 2. S. 69–76. DOI 10.26897/2949-4710-2023-2-69-76. EDN AUCBJC.
6. Snegirev D. V., Mannapova R. T., Mannapov A. G. Mekhanizmy ekologichnogo vosstanovleniya immunoj zashchity *Oreochromis niloticus* propolisom s sensibilizatorami na fone razvitiya kandidamikozov // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 4 (58). DOI 10.51419/202134420. EDN IIZNUH.
7. Masloboishchikova V. V. Rybovodno-biologicheskaya harakteristika selekcionnyh dostizhenij v forelevodstve RF // *Научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 125-летию со дня рождения академика Н. И. Вавилова* : сб. статей, Москва, 05–06 июня 2012 года. М. : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. С. 56–57. ISBN 978-5-9675-0861-5.
8. Vlasov V. A., Pyrsikov A. S. Ispol'zovanie v kormlenii ryb biologicheskij aktivnoj dobavki «Metabolit plyus» // *Природообустройство*. 2015. № 5. С. 112–115. EDN TAZYKU.
9. Dement'ev D. V., Kalajda M. L., Zhigin A. V. Ispol'zovanie kormovoj dobavki «Vinivet» v kormlenii molodi stal'nogolovogo lososya // *Главный зоотехник*. 2021. № 9 (218). С. 19–27. DOI 10.33920/sel-03-2109-03. EDN XNQQMP.
10. Esavkin Yu. I., Zhigin A. V., Maksimenkova A. A. Vliyanie kormovoj dobavki «Enzimsporin» na fiziologo-biohimicheskie pokazateli raduzhnoj foreli v sadkah na teplyh vodah // *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2020. № 4 (46). С. 36–40. DOI 10.32935/2221-7312-2020-46-4-36-40. EDN PTSKSB.
11. Mannapova R. T., Snegirev D. V. Ekologicheskaya bezopasnost' i ochistka poverhnostnyh vodoemov ot enterobakterij i virusov: monografiya. M. : ООО «Проспект», 2026. 120 с. ISBN 978-5-392-38716-8. EDN MDMSOH.
12. Malenkina K. A., Arinzhano A. E. Rezul'taty issledovanij i rekomendacii po ispol'zovaniyu dobavok mikroelementov v kormlenii ryb: organicheskie soedineniya, helaty, nanochasticy i kompleksnye preparaty (obzor) // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2024. № 1. С. 27–49. DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbior.2024.1.27-49. EDN LKIPPB.
13. Kandybin A. A., Bubunets E. V. Dinamika koncentracii ammiaka pri perevozke karpovyh ryb v germetichnyh emkostyah // *Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства : материалы VIII Международ. науч.-практ. конф., Макеевка, 17 апреля 2025 г. : в 7 т. / ФГБОУ ВО «Донбасская государственная аграрная академия»*. Макеевка, 2025. Т. 1. С. 112–116.
14. Koshchaev A. G., Maksim E. A., Kozubov A. S. Izuchenie vliyaniya sinbioticheskoy kormovoj dobavki na pokazateli rosta sеголетков sterlyadi // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2025. № 118. С. 311–315. DOI 10.21515/1999-1703-118-311-315. EDN XEQXXL.
15. Shcherbakov Yu. S., Dement'eva N. V., Terletsij V. P. [i dr.] Vstrechaemost' anomalij u foreli ropshinskaya zolististaya // *Vestnik KrasGAU*. 2020. № 11 (164). С. 145–151. DOI 10.36718/1819-4036-2020-11-145-151. EDN RYFPJX.

Сведения об авторах

Рамзия Тимергалеевна Маннапова – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры микробиологии и иммунологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», spin-код: 8353-2001.

Дмитрий Владимирович Снегирев – старший преподаватель кафедры микробиологии и иммунологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», spin-код: 1957-4681.

Оксана Наильевна Яковлева – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры микробиологии и иммунологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», spin-код: 5936-8304.

Information about the authors

Ramziya T. Mannapova – Doctor of Biological Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Microbiology and Immunology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Timiryazev State Agrarian University", spin-code: 8353-2001.

Dmitry V. Snegirev – senior lecturer of the Department of Microbiology and Immunology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Timiryazev State Agrarian University", spin-code: 1957-4681.

Oksana N. Yakovleva – Candidate of Biological Sciences, senior lecturer of the Department of Microbiology and Immunology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Timiryazev State Agrarian University", spin-code: 5936-8304.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Официальный сайт ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ»:

www.yaragrovuz.ru

РУБРИКИ САЙТА:

- Сведения об образовательной организации –
- Агросоветник – Образование – Абитуриенту –
- Наука и международная деятельность
- (в том числе научный журнал «Вестник АПК Верхневолжья») –
- Дополнительное образование – Факультеты

Все выпуски журнала «Вестник АПК Верхневолжья» в полнотекстовом формате, требования к оформлению рукописей, контакты на страничке:
<http://yaragrovuz.ru/index.php/nauka-i-mezhdunarodnaya-deyatelnost/zhurnal-vestnik-apk-vekhnevolzhya>



Научная статья
 УДК 639.216.4:(282.247.414.2):546.4
 doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.008

ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПОТРЕБЛЕНИИ СУДАКА ИЗ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Александра Александровна Паюта¹, Екатерина Александровна Флёрова²,
 Юлия Владимировна Зайцева³

^{1, 2, 3}Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова, Ярославль, Россия

¹a.payuta@mail.ru, ORCID 0000-0002-0478-4709

²katarinum@mail.ru, ORCID 0000-0002-9745-6746

³zjv9@mail.ru, ORCID 0000-0001-9522-010X

Реферат. Мясо рыбы, богатое белком, незаменимыми жирными кислотами, витаминами и минералами, является источником поддержания здоровья человека и профилактики многих заболеваний. Однако в тканях рыб накапливаются тяжёлые металлы, которые передаются по пищевым цепям и могут поступать в организм человека. Целью работы стала оценка риска для здоровья человека от хронического воздействия металлов при потреблении в пищу мяса судака *Sander lucioperca*, выловленного в Горьковском водохранилище, в котором отмечается высокий уровень антропогенного воздействия, но при этом ведётся промышленный вылов рыб, в том числе судака. В скелетных мышцах 18 особей судака, выловленного на стандартных станциях в Ивановской и Нижегородской областях, на основании элементного состава, полученного ранее, с помощью расчётных методик определяли значение показателей ежедневного и еженедельного поступления металлов с пищей, неканцерогенного и канцерогенного рисков. Полученные данные сравнивали с принятыми отечественными и зарубежными нормативами. В результате исследования выявлено, что при потреблении в пищу мяса судака эссенциальные металлы поступали в организм человека в большей степени, чем неэссенциальные. Как в Ивановской, так и в Нижегородской области суточное и еженедельное поступление металлов не превышало нормы и рекомендуемые дозы. Значения неканцерогенного риска для всех металлов в обеих областях находились на приемлемом уровне. Вероятность возникновения канцерогенных рисков для здоровья, связанных с непрерывным употреблением мяса судака в течение жизни, в настоящее время отсутствует. Тем не менее, значение риска от воздействия смеси канцерогенов при потреблении мяса судака из Ивановской области близко к критическому порогу, поэтому его необходимо постоянно контролировать.

Ключевые слова: судак *Sander lucioperca*, тяжёлые металлы, Горьковское водохранилище, неканцерогенный риск, канцерогенный риск, здоровье человека

ASSESSMENT OF THE RISK TO HUMAN HEALTH WHEN CONSUMPTING PIKE PERCH FROM THE GORKY RESERVOIR

Aleksandra A. Payuta¹, Ekaterina A. Flerova², Yuliya V. Zaitseva³

^{1, 2, 3}P. G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

¹a.payuta@mail.ru, ORCID 0000-0002-0478-4709

²katarinum@mail.ru, ORCID 0000-0002-9745-6746

³zjv9@mail.ru, ORCID 0000-0001-9522-010X

Abstract. Fish meat, rich in protein, essential fatty acids, vitamins and minerals, is a source of human health maintenance and prevention of many diseases. However, heavy metals accumulate in fish tissues, which are transmitted through food chains and can enter the human body. The aim of this paper was to assess the risk to human health from chronic exposure to metals when eating *Sander lucioperca* pike perch meat caught in the Gorky Reservoir, which has a high level of anthropogenic impact but at the same time there is an industrial fishing, including pike perch. In the skeletal muscles of 18 pike perch individuals caught at standard stations in the Ivanovo and Nizhny Novgorod regions, based on previously obtained the elemental composition, the value of the indicators of daily and weekly intake of metals with food, non-carcinogenic and carcinogenic risks was determined using calculation methods. The data obtained were compared with the accepted domestic and foreign standards. As a result of the study, it was revealed that when eating pike perch meat, essential metals entered the human body to a greater extent than non-essential ones. Both in the Ivanovo and Nizhny Novgorod regions, the daily and weekly intake of metals did not exceed norms and recommended doses. The non-carcinogenic risk values for all metals in both regions were at acceptable levels. Currently, there is no likelihood of carcinogenic health risks associated with continuous consumption of pike perch meat throughout life. Nevertheless, the

value of risk from exposure to a mixture of carcinogens when consuming pike perch meat from the Ivanovo region is close to the critical threshold, so it must be constantly monitored.

Keywords: pike perch *Sander lucioperca*, heavy metals, Gorky Reservoir, non-carcinogenic risk, carcinogenic risk, human health

Финансирование: работа выполнена при поддержке Государственного задания НИР № FENZ-2023-0004 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на период 2023–2027 годов.

Введение. Рыба является важным источником высококачественного белка, незаменимых жирных кислот (особенно омега-3), витаминов и минералов, которые играют ключевую роль в укреплении здоровья человека и поддержании правильного роста детей. Считается, что мясо рыбы жизненно необходимо для обеспечения нормального функционирования мозга, сердечнососудистой системы, стимулирования развития, а также для профилактики хронических заболеваний, таких как болезни сердца, диабет и других физиологических проблем со здоровьем [1].

Судак *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) является одной из самых популярных пресноводных рыб благодаря своему белому, вкусному, нежирному, нежному мясу с небольшим количеством межмышечных костей [2]. Мясо судака относится к диетическому продукту и характеризуется высоким содержанием белка [3]. В Горьковском водохранилище – водоёме, который располагается на берегах населённых пунктов с развитой промышленностью и высокой плотностью населения, ведётся промышленный вылов данного вида [4].

На Горьковское водохранилище оказывает влияние высокий уровень антропогенного воздействия. Так, со стоков и водосборов, где ведётся активная хозяйственная деятельность, в его воды поступают загрязняющие вещества, в том числе тяжёлые металлы [5]. Тяжёлые металлы попадают в организм гидробионтов по пищевым цепям и могут накапливаться в тканях человека при употреблении мяса рыбы [6; 7]. Из-за того, что тяжёлые металлы не выводятся организмом, а аккумулируются в разных органах, важно проводить оценку их поступления в организм человека и анализировать уровень хронического воздействия на здоровье населения.

Суточная норма потребления металлов зависит как от концентрации этих веществ в пище, так и от суточного потребления продуктов питания. Кроме того, масса тела человека может влиять на биоаккумуляцию загрязняющих веществ. Расчёт показателей ежедневного (EDI) и еженедельного (EWI) поступления металлов от пищи – это методика, введённая для учёта этих факторов [8]. Показатели неканцерогенного риска (THQ и HI)

Таблица 1 – Ежедневное (EDI) и еженедельное (EWI) поступление микро- и макроэлементов в организм человека при потреблении судака из Горьковского водохранилища

Элемент	EDI		EWI	
	Ивановская область	Нижегородская область	Ивановская область	Нижегородская область
Cd	$7,53 \times 10^{-7}$	$5,15 \times 10^{-7}$	$5,27 \times 10^{-6}$	$3,60 \times 10^{-6}$
Pb	$2,11 \times 10^{-5}$	$1,71 \times 10^{-5}$	$1,48 \times 10^{-4}$	$1,20 \times 10^{-4}$
Al	$3,13 \times 10^{-3}$	$3,31 \times 10^{-3}$	$2,19 \times 10^{-2}$	$2,32 \times 10^{-2}$
Co	$1,12 \times 10^{-6}$	$8,43 \times 10^{-7}$	$7,87 \times 10^{-6}$	$5,90 \times 10^{-6}$
Ni	$1,77 \times 10^{-5}$	$1,25 \times 10^{-5}$	$1,24 \times 10^{-4}$	$8,73 \times 10^{-5}$
Zn	$5,56 \times 10^{-4}$	$5,71 \times 10^{-4}$	$3,89 \times 10^{-3}$	$4,00 \times 10^{-3}$
Cu	$2,34 \times 10^{-4}$	$1,66 \times 10^{-4}$	$1,64 \times 10^{-3}$	$1,16 \times 10^{-3}$
Mn	$2,86 \times 10^{-5}$	$2,96 \times 10^{-5}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$2,07 \times 10^{-4}$
Fe	$6,84 \times 10^{-4}$	$6,03 \times 10^{-4}$	$4,79 \times 10^{-3}$	$4,22 \times 10^{-3}$
Mg	$1,20 \times 10^{-4}$	$1,30 \times 10^{-4}$	$8,39 \times 10^{-4}$	$9,07 \times 10^{-4}$
K	$6,37 \times 10^{-1}$	$6,30 \times 10^{-1}$	4,46	4,41
Li	$4,59 \times 10^{-4}$	$4,90 \times 10^{-4}$	$3,21 \times 10^{-3}$	$3,43 \times 10^{-3}$
Cr	$1,40 \times 10^{-4}$	$1,01 \times 10^{-4}$	$9,82 \times 10^{-4}$	$7,04 \times 10^{-4}$
Sr	$7,51 \times 10^{-5}$	$6,38 \times 10^{-5}$	$5,26 \times 10^{-4}$	$4,46 \times 10^{-4}$
Mo	$4,11 \times 10^{-6}$	$3,60 \times 10^{-6}$	$2,87 \times 10^{-5}$	$2,52 \times 10^{-5}$
Ba	$9,61 \times 10^{-4}$	$1,57 \times 10^{-3}$	$6,73 \times 10^{-3}$	$1,10 \times 10^{-2}$
Bi	$5,89 \times 10^{-7}$	$4,80 \times 10^{-7}$	$4,12 \times 10^{-6}$	$3,36 \times 10^{-6}$

Таблица 2 – Показатели неканцерогенного риска (ТНҚ) мяса судака из Горьковского водохранилища

Элемент	ТНҚ	
	Ивановская область	Нижегородская область
Cd	0,0008	0,0005
Pb	0,0060	0,0049
Al	0,0031	0,0033
Cr	0,0468	0,0335
Mn	0,0002	0,0002
Fe	0,0010	0,0009
Co	0,0028	0,0021
Zn	0,0019	0,0019
Cu	0,0059	0,0042
Ni	0,0009	0,0006
Суммарный коэффициент опасности (HI)	0,0693	0,0521

связаны с длительным воздействием химических веществ, основаны на референтных верхних безопасных пределах и учитывают продолжительность и частоту воздействия, а также количество потреблённого вещества и массы тела человека [9]. Целевой риск развития рака (TR) и суммарный риск развития рака (TTR), относящиеся к показателям канцерогенного риска, используются для описания возрастающей вероятности того, что человек может заболеть раком в течение своей жизни в результате воздействия предполагаемого канцерогена или смеси канцерогенов, поступающих в организм с пищей [10; 11].

Цель работы – провести оценку риска от хронического воздействия металлов при потреблении мяса судака, выловленного в Горьковском водохранилище.

Материалы и методы. Особей судака вылавливали тралом на стандартных станциях Горьковского водохранилища, находящихся на территории Нижегородской и Ивановской областей. Из Нижегородской области было выловлено 6 особей судака, из Ивановской – 12. В скелетных мышцах рыб определяли элементный состав, на основании которого проводили оценку риска для здоровья человека [4]. Для этого по стандартным расчётным методикам определяли значение показателей ежедневного и еженедельного поступления металлов с пищей, неканцерогенного и канцерогенного рисков [11]. Значение еженедельного поступления металлов

с пищей рассчитывали путём умножения показателя суточного поступления металлов на 7. Продолжительность жизни принимали за 70 лет, среднюю массу человека – 70 кг, количество потребляемой пелагической рыбы, к которой относится судак, по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (FAO), составляло 0,013 кг/день. Полученные данные сравнивали с нормативами, указанными в Руководстве по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания (Р 2.1.10.3968-23), Нормам физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации (МР 2.3.1.0253-21) и Location-Specific Environmental Information (US EPA) [12].

Результаты и обсуждения. Вне зависимости от места вылова при потреблении мяса судака в наибольшей степени в организм человека поступали следующие элементы (в порядке уменьшения): калий, алюминий, барий, железо, цинк, литий, медь (табл. 1).

Наименьшее поступление отмечено для следующих металлов (в порядке увеличения): кадмий, висмут, кобальт, молибден, никель, свинец, марганец, стронций.

В целом эссенциальные элементы поступали в организм человека в больших количествах, чем неэссенциальные. Являясь частью многих белков, ферментов и гормонов, жизненно необходимые

Таблица 3 – Показатели канцерогенного риска (TR) мяса судака из Горьковского водохранилища

Элемент	TR	
	Ивановская область	Нижегородская область
Cd	$1,13 \times 10^{-5}$	$7,72 \times 10^{-6}$
Pb	$1,80 \times 10^{-7}$	$1,46 \times 10^{-7}$
Cr	$7,01 \times 10^{-5}$	$5,03 \times 10^{-5}$
Суммарный риск развития рака (TTR)	$8,16 \times 10^{-5}$	$5,82 \times 10^{-5}$

металлы играют важную роль в различных процессах организма человека: участии в обмене веществ, росте клеток, обеспечении иммунитета, работе мозга, сердца и других. Однако, как дефицит, так и избыток эссенциальных металлов могут привести к возникновению различных заболеваний в организме [13]. В то же время пероральный приём неэссенциальных тяжёлых металлов человеком может вызвать хроническую или острую токсичность, проявляющуюся в виде тошноты, рвоты, нерегулярного стула, дисфункции двигательных нейронов, нарушений зрения и слуха, повреждения головного мозга и сердца, гипертонии [7]. В настоящем исследовании полученные показатели поступления металлов в организм человека оказались ниже, чем контрольные значения допустимого суточного поступления и рекомендованной суточной нормы для взрослого населения.

Значения THQ, полученные на основе содержания металлов в мышцах судака, составляли менее единицы, что указывает на отсутствие потенциального риска для здоровья человека (табл. 2).

Для оценки общего риска воздействия тяжёлых металлов мы рассчитали HI, суммируя все значения THQ. Значение HI также было ниже 1, что указывает на отсутствие опасений по поводу неканцерогенного риска для здоровья человека, связанного с высоким уровнем воздействия смеси металлов при употреблении в пищу мяса судака из этих районов вылова [14].

Показатель риска развития рака (TR) оценивает возрастающую вероятность развития рака у человека в результате воздействия потенциально-

го канцерогена в течение определённого периода времени, например, в течение жизни. Допустимый предел риска для канцерогенов колеблется от 10^{-4} до 10^{-6} , при этом значения больше 10^{-4} указывают на риск развития рака [15]. В настоящем исследовании не выявлены риски от каждого отдельно канцерогена, связанные с потреблением мяса судака из Ивановской и Нижегородской областей Горьковского водохранилища (табл. 3).

Тем не менее, уровень TTR в Ивановской области, близкий к критическому порогу в 1×10^{-4} , необходимо подвергать постоянному контролю.

Выводы. Результаты исследования показали роль мяса судака из Ивановской и Нижегородской областей Горьковского водохранилища в передаче в организм человека ряда микро- и макроэлементов, в том числе неэссенциальных. Оценив суточное и еженедельное поступление металлов, мы пришли к выводу, что данные показатели по всем исследованным металлам не превышали нормы и рекомендуемые дозы. При потреблении мяса судака в организм человека в большей степени поступали жизненно необходимые элементы, чем неэссенциальные. Значения неканцерогенного риска для всех металлов в обеих областях находились на приемлемом уровне. В настоящее время не существует вероятности возникновения канцерогенных рисков для здоровья, связанных с непрерывным употреблением мяса судака в течение жизни. Однако значение суммарного канцерогенного риска в Ивановской области, близкое к критическому порогу, необходимо постоянно контролировать, так как в результате деятельности человека его уровень может повыситься.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Noreen S., Hashmi B., Aja P. M., Atoki A. V. Health benefits of fish and fish by-products – a nutritional and functional perspective // *Frontiers in Nutrition*. 2025. Vol. 12. Art. 1564315. DOI 10.3389/fnut.2025.1564315.
2. Tönißen K., Pfuhl R., Franz G. P. [et al.] Impact of spawning season on fillet quality of wild pikeperch (*Sander lucioperca*) // *European Food Research and Technology*. 2022. Vol. 248, № 5. P. 1277–1285. DOI 10.1007/s00217-022-03963-7.
3. Payuta A. A., Flerova E. A. Some Indicators of Metabolism in the Muscles, Liver, and Gonads of Pike-Perch *Sander lucioperca* and Sichel *Pelecus cultratus* from the Gorky Reservoir // *Journal of Ichthyology*. 2019. Vol. 59, № 2. P. 255–262. DOI 10.1134/S0032945219020152.
4. Паюта А. А., Флёрова Е. А., Зайцева Ю. В. Особенности содержания металлов в мышцах судака из Горьковского водохранилища // *Пермский аграрный вестник*. 2025. № 3 (51). С 127–131. DOI 10.47737/2307-2873_2025_51_127. EDN CWJAWR.
5. Томилина И. И., Ложкина Р. А., Гапеева М. В. Оценка качества воды Горьковского водохранилища (р. Волга, Россия) по данным биотестирования и химического анализа // *Трансформация экосистем*. 2025. Т. 8, № 1 (28). С. 145–160. DOI 10.23859/estr-230403. EDN FEQVXP.
6. Кузьмина В. В., Гладков А. В., Баранов Д. А. Влияние состава пищи на динамику двигательных реакций и рациона карпа // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2011. № 2 (14). С. 28–33. EDN OIYOLD.
7. Sarker A., Kim J.-E., Islam A. R. M. T. [et al.]. Heavy metals contamination and associated health risks in food webs – a review focuses on food safety and environmental sustainability in Bangladesh // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29, № 3. P. 3230–3245. DOI 10.1007/s11356-021-17153-7.
8. Chamannejadian A., Sayyad G., Moezzi A., Jahangiri A. Evaluation of estimated daily intake (EDI) of cadmium and lead for rice (*Oryza sativa* L.) in calcareous soils // *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2013. Vol. 10, № 1. Art. 28. DOI 10.1186/1735-2746-10-28.
9. Naughton D. P., Petróczy A. Heavy metal ions in wines: Meta-analysis of target hazard quotients reveal health risks // *Chemistry Central Journal*. 2008. Vol. 2, № 1. Art. 22. DOI 10.1186/1752-153X-2-22.
10. Ahmed S., Uddin M. F., Hossain M. S. [et al.]. Heavy metals contamination in shrimp and crab from southwest regions in Bangladesh: Possible health risk assessment // *Toxicology Reports*. 2023. Vol. 10. P. 580–588. DOI 10.1016/j.toxrep.2023.05.001.
11. Payuta A., Flerova E., Zaitseva Y. Chemical composition, indicators of fish quality and elements concentration in muscles as indicators of *Pelecus cultratus* health // *Fisheries and Aquatic Sciences*. 2025. Vol. 28, № 11. P. 762–772. DOI 10.47853/FAS.2025.e65.

12. Payuta A. A., Flerova E. A., Zaitseva Y. V. Assessment of human health risks caused by consumption of commercial fish caught in the Gorky Reservoir // *Health Risk Analysis*. 2026. № 1. P. 54–64. DOI 10.21668/health.risk/2026.1.05.eng.
13. Jomova K., Makova M., Alomar S. Y. [et al.]. Essential metals in health and disease // *Chemico-Biological Interactions*. 2022. Vol. 367. Art. 110173. DOI 10.1016/j.cbi.2022.110173.
14. Alam M., Rohani M. F., Hossain M. S. Heavy metals accumulation in some important fish species cultured in commercial fish farm of Natore, Bangladesh and possible health risk evaluation // *Emerging Contaminants*. 2023. Vol. 9, Is. 4. Art. 100254. DOI 10.1016/j.emcon.2023.100254.
15. Prabakaran K., Sompongchaiyakul P., Bureekul S. [et al.]. Heavy metal bioaccumulation and risk assessment in fishery resources from the Gulf of Thailand // *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 198. Art. 115864. DOI 10.1016/j.marpolbul.2023.115864.

References

1. Noreen S., Hashmi B., Aja P. M., Atoki A. V. Health benefits of fish and fish by-products – a nutritional and functional perspective // *Frontiers in Nutrition*. 2025. Vol. 12. Art. 1564315. DOI 10.3389/fnut.2025.1564315.
2. Tönißen K., Pfuhr R., Franz G. P. [et al.]. Impact of spawning season on fillet quality of wild pikeperch (*Sander lucioperca*) // *European Food Research and Technology*. 2022. Vol. 248, № 5. P. 1277–1285. DOI 10.1007/s00217-022-03963-7.
3. Payuta A. A., Flerova E. A. Some Indicators of Metabolism in the Muscles, Liver, and Gonads of Pike-Perch *Sander lucioperca* and Sibel *Pelecus cultratus* from the Gorky Reservoir // *Journal of Ichthyology*. 2019. Vol. 59, № 2. P. 255–262. DOI 10.1134/S0032945219020152.
4. Payuta A. A., Flerova E. A., Zaitseva Yu. V. Osobennosti soderzhaniya metallov v myshchah sudaka iz Gor'kovskogo vodohranilishcha // *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2025. № 3 (51). S. 127–131. DOI 10.47737/2307-2873_2025_51_127. EDN CWJAWR.
5. Tomilina I. I., Lozhkina R. A., Gapeeva M. V. Ocenka kachestva vody Gor'kovskogo vodohranilishcha (r. Volga, Rossiya) po dannym biotestirovaniya i himicheskogo analiza // *Transformatsiya ekosistem*. 2025. T. 8, № 1 (28). S. 145–160. DOI 10.23859/estr-230403. EDN FEQVXP.
6. Kuz'mina V. V., Gladkov A. V., Baranov D. A. Vliyanie sostava pishchi na dinamiku dvigatel'nykh reakcij i racionalnogo karpas // *Vestnik APK Verhnevolzh'ya*. 2011. № 2 (14). S. 28–33. EDN OIYOLD.
7. Sarker A., Kim J.-E., Islam A. R. M. T. [et al.]. Heavy metals contamination and associated health risks in food webs – a review focuses on food safety and environmental sustainability in Bangladesh // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29, № 3. P. 3230–3245. DOI 10.1007/s11356-021-17153-7.
8. Chamannejadian A., Sayyad G., Moezzi A., Jahangiri A. Evaluation of estimated daily intake (EDI) of cadmium and lead for rice (*Oryza sativa* L.) in calcareous soils // *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2013. Vol. 10, № 1. Art. 28. DOI 10.1186/1735-2746-10-28.
9. Naughton D. P., Petróczy A. Heavy metal ions in wines: Meta-analysis of target hazard quotients reveal health risks // *Chemistry Central Journal*. 2008. Vol. 2, № 1. Art. 22. DOI 10.1186/1752-153X-2-22.
10. Ahmed S., Uddin M. F., Hossain M. S. [et al.]. Heavy metals contamination in shrimp and crab from southwest regions in Bangladesh: Possible health risk assessment // *Toxicology Reports*. 2023. Vol. 10. P. 580–588. DOI 10.1016/j.toxrep.2023.05.001.
11. Payuta A., Flerova E., Zaitseva Y. Chemical composition, indicators of fish quality and elements concentration in muscles as indicators of *Pelecus cultratus* health // *Fisheries and Aquatic Sciences*. 2025. Vol. 28, № 11. P. 762–772. DOI 10.47853/FAS.2025.e65.
12. Payuta A. A., Flerova E. A., Zaitseva Y. V. Assessment of human health risks caused by consumption of commercial fish caught in the Gorky Reservoir // *Health Risk Analysis*. 2026. № 1. P. 54–64. DOI 10.21668/health.risk/2026.1.05.eng.
13. Jomova K., Makova M., Alomar S. Y. [et al.]. Essential metals in health and disease // *Chemico-Biological Interactions*. 2022. Vol. 367. Art. 110173. DOI 10.1016/j.cbi.2022.110173.
14. Alam M., Rohani M. F., Hossain M. S. Heavy metals accumulation in some important fish species cultured in commercial fish farm of Natore, Bangladesh and possible health risk evaluation // *Emerging Contaminants*. 2023. Vol. 9, Is. 4. Art. 100254. DOI 10.1016/j.emcon.2023.100254.
15. Prabakaran K., Sompongchaiyakul P., Bureekul S. [et al.]. Heavy metal bioaccumulation and risk assessment in fishery resources from the Gulf of Thailand // *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 198. Art. 115864. DOI 10.1016/j.marpolbul.2023.115864.

Сведения об авторах

Александра Александровна Паюта – кандидат биологических наук, научный сотрудник научной лаборатории экомониторинга и контроля качества, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова», spin-код: 2559-7104.

Флёрова Екатерина Александровна – доктор биологических наук, доцент, старший научный сотрудник научной лаборатории экомониторинга и контроля качества, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова», spin-код: 8116-7764.

Юлия Владимировна Зайцева – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научной лаборатории экомониторинга и контроля качества, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова», spin-код: 7741-3550.

Information about the authors

Aleksandra A. Payuta – Candidate of Biological Sciences, Research Officer at the Scientific Laboratory of Ecobiomonitoring and Quality Control, P. G. Demidov Yaroslavl State University, spin-code: 2559-7104.

Ekaterina A. Flerova – Doctor of Biological Sciences, Docent, Senior Research Officer at the Scientific Laboratory of Ecobiomonitoring and Quality Control, P. G. Demidov Yaroslavl State University, spin-code: 8116-7764.

Yuliya V. Zaitseva – Candidate of Biological Sciences, Senior Research Officer at the Scientific Laboratory of Ecobiomonitoring and Quality Control, P. G. Demidov Yaroslavl State University, spin-code: 7741-3550.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья
УДК 636.11:798.26
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.009

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ДВИГАТЕЛЬНЫХ И ПРЫЖКОВЫХ КАЧЕСТВАХ И ИХ ОЦЕНКЕ У ЛОШАДЕЙ АХАЛТЕКИНСКОЙ ПОРОДЫ (ОБЗОР)

Мария Владимировна Блохина¹, Марина Сергеевна Стефаниди²

^{1, 2}Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия

¹7470@student.yarcx.ru

²m.stefanidi@yarcx.ru, ORCID 0000-0002-7415-2563

Реферат. В статье представлен аналитический обзор отечественных и зарубежных исследований, посвящённых двигательным и прыжковым качествам лошадей ахалтекинской породы. Рассмотрены современные представления о влиянии экстерьерных особенностей на локомоцию, биомеханику движений и спортивную работоспособность животных. Проанализированы литературные данные о возможностях использования представителей породы в выездке и конкуре, а также определены основные направления дальнейших исследований в области точной оценки двигательных и прыжковых качеств ахалтекинских лошадей.

Ключевые слова: ахалтекинская порода, двигательные качества, прыжковые качества, биомеханика движений, выездка, конкур, спортивная работоспособность

CURRENT CONCEPTS OF LOCOMOTOR AND JUMPING ABILITIES AND THEIR ASSESSMENT IN AKHAL-TEKE HORSES (REVIEW)

Mariya V. Blokhina¹, Marina S. Stefanidi²

^{1, 2}Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia

¹7470@student.yarcx.ru

²m.stefanidi@yarcx.ru, ORCID 0000-0002-7415-2563

Abstract. The paper presents an analytical review of domestic and foreign studies devoted to the locomotor and jumping abilities of Akhal-Teke horses. Current concepts of the influence of conformational features on locomotion, biomechanics of movements and athletic performance of the animals are considered. Literature data on the potential use of the members of the breed in dressage and show jumping are analyzed, and the main directions for further research in the field of the accurate assessment of locomotor and jumping abilities in Akhal-Teke horses are outlined.

Keywords: Akhal-Teke breed, locomotor qualities, jumping abilities, biomechanics of movements, dressage, show jumping, athletic performance

Введение. Ахалтекинская порода лошадей – одна из старейших верховых пород Туркмении. Распространившись по всему миру, порода обретает всё большую популярность далеко за пределами своей родины [1]. Порода, сформировавшаяся в условиях длительных военных походов и ограниченных кормовых ресурсов, характеризуется высокой резвостью, физической выносливостью и способностью эффективно преодолевать длинные дистанции [2; 3].

Эта порода вызывает много споров: от восторга до неприятия, вызванного, как правило, непониманием её специфики. При этом перепутать ахалтекинца с другими лошадьми невозможно. Экстерьер ахалтекинской породы отличается рядом морфологических особенностей, которые, по данным литературы, способствуют формированию свободных и лёгких движений, а также создают предпосылки для развития высоких прыжковых качеств [1].

Несмотря на малочисленность породы, с 1960 г. по настоящее время наибольший практический интерес в спортивной селекции представляют классические дисциплины конного спорта – выездка и конкур, поскольку именно в них накоплен основной объём данных о спортивной работоспособности ахалтекинских лошадей. Интерес к ним поддерживается благодаря ежегодным выставкам, порода сохраняет свою уникальность и остаётся востребованной на международной арене конного спорта [4].

Целью данного исследования является обобщение и анализ современных представлений о двигательных и прыжковых качествах лошадей ахалтекинской породы, а также существующих и перспективных подходов к их оценке с учётом породных особенностей.

Сопоставление традиционных экспертных и современных инструментальных подходов к оценке двигательных и прыжковых качеств ахалтекинских лошадей

с учётом их породных особенностей составляет научную новизну данной публикации.

Результаты исследований. Экстерьерные особенности лошади являются первичным фактором, определяющим её будущую спортивную специализацию. Для ахалтекинской породы, формировавшейся в условиях длительных переходов, характерен специфический тип телосложения: удлинённый корпус, высокая и длинная шея (приставленная под углом 45° к горизонту), глубокая грудная клетка, длинный наклонный круп и сухие, крепкие конечности [5; 6]. Исторически сложившаяся выносливость, закреплённая в процессе народной селекции, позволяет ахалтекинцам успешно конкурировать на длинных дистанциях с чистокровными верховыми лошадьми, сокращая отставание от них, по мере увеличения дистанции [7]. В скаковой работоспособности происхождение по матери является значимым генетическим фактором, определяющим выносливость и резвостные качества ахалтекинцев, особенно на длинных дистанциях [8].

Для выездки, где ценятся ритм, эластичность и способность к сбору [9], важны такие двигательные качества, как косо поставленная лопатка, развитая мускулатура и удлинённые рычаги конечностей. Это способствует увеличению амплитуды шага и эффективной работе опорно-двигательного аппарата [4; 10].

Лошади ахалтекинской породы отличаются особым характером движений. Если лошади других пород ставят копыто на грунт под острым углом к горизонту, то у ахалтекинцев оно опускается почти отвесно. Такой механизм приземления уменьшает углубление копыта в грунт. Высокая эластичность и «скользящий» характер движений делает езду на ахалтекинцах не только исключительно приятной, но и неумтомительной. Исследования В. Н. Дорофеева показали, что у ахалтекинских лошадей длина шага составляет 81,3 см; длина рыси – 139 см. Процент лошадей, чётко выполняющих эластичные и парадные движения, уступает только арабам [11].

Работа Н. В. Абрамовой [12] остаётся одним из немногих отечественных исследований, содержащих количественную оценку двигательных качеств ахалтекинских лошадей. Несмотря на давность исследования, опубликованных современных аналогов с сопоставимым объёмом точных данных практически не представлено. Представленные автором числовые значения аллюров являются важными для дальнейшего исследования ахалтекинцев по двигательным качествам (табл. 1).

Анализ имеющихся данных показывает, что прибавленная рысь ахалтекинцев отличается не только широким захватом пространства (длина шага до 1,92 м), но

и высокой ритмичностью. Ширина шага у ахалтекинцев в большей степени обеспечивается работой тазового пояса, а не передних конечностей; диагональные ноги на прибавленной рыси остаются практически параллельными (средний угол отклонения $\sim 2,20^\circ$), а копыто ставится на грунт почти вертикально, что свидетельствует о хорошей гибкости тазового пояса и правильной технике движения. Эти особенности делают аллюры ахалтекинцев лёгкими, удобными для всадника и экономичными.

Интерес представляет анализ выставочных оценок молодняка 2022–2024 гг., который показал, что более высокий балл двигательных способностей – у молодых лошадей (в среднем 12,05) приходится на 3-летний возраст. Среди генеалогических линий лучшие показатели (тип, экстерьер, движения) проявили линии Бойноу и Гундогара, с итоговыми оценками 70,51 и 70,56 балла соответственно. Корреляция между оценками движений и экстерьером у 4-летних составляет $r = 0,49$, что подтверждает: качественные аллюры базируются на правильном анатомическом строении [13]. Вместе с тем, представленные исследования преимущественно основаны на экспертной оценке двигательных качеств. Работы, использующие современные методы инструментального анализа локомоции (акселерометрию, системы видеоанализа, инерциальные датчики), применительно к ахалтекинской породе практически отсутствуют, что ограничивает возможность корректного сравнения результатов различных исследований.

Теоретические выводы находят подтверждение в практическом опыте всадников. Так, Уильям Аскинс, описывая подготовку жеребца Хелма, подчеркивает, что, несмотря на «нестандартное» для выездки телосложение (длинная спина), систематический тренинг позволил раскрыть потенциал лошади. Успех был достигнут благодаря уму, спокойному нраву и исключительной выносливости [14]. Данный пример важен, поскольку показывает, что ахалтекинцы могут быть конкурентоспособны в классических дисциплинах при условии грамотного подхода, обходя стереотип о предпочтении массивных теплокровных лошадей. Однако, как отмечается в работах, посвящённых подготовке ахалтекинцев к соревнованиям, успех в значительной степени зависит от учёта их позднеспелости и необходимости строгой дозировки нагрузок [15].

В отличие от двигательных качеств, сведения о прыжковых качествах ахалтекинской породы в литературе крайне ограничены, хотя В. Н. Дорофеев и Н. В. Дорофеева отмечают, что недостаток роста у ахалтекинцев с лихвой компенсируется высокими двигательными качествами. Гибкость в сочетании с высочайшими возможно-

Таблица 1 – Показатели двигательных качеств ахалтекинских лошадей на различных аллюрах в возрасте 2–5 лет (по данным Н. В. Абрамовой, 1996)

Аллюр / Показатель	Длина шага, м	Скорость, м/с	Количество шагов на 25 м	Оценка стиля, балл	Параллельность ног, град.
Шаг	0,69–0,83	1,4–1,6	13	4,2–4,8	Не учитывается
Рысь	1,78–1,92	4,76–5,03	23	3,9–4,8	2,20

стями нервно-мышечной координации и работой мышц обеспечивает и особую прыгучесть ахалтекинцев [16].

Большинство публикаций содержит описательные характеристики техники прыжка либо отдельные примеры успешных спортивных выступлений, тогда как комплексные биомеханические исследования практически отсутствуют. Вместе с тем, имеющиеся данные свидетельствуют о наличии у породы серьёзного потенциала. Ахалтекинцы способны чисто брать препятствия высотой 130–150 см. Однако их техника отличается от общепринятой: они используют меньший подъём передних ног и не так низко опускают шею. Примечательно, что, по наблюдениям Н. В. Абрамовой, стиль прыжка коррелирует со стилем галопа и рыси, но хорошая рысь вовсе не гарантирует прыгучести [12]. Напротив, исследования показывают, что лошади с более коротким шагом, но высоким подъёмом передней ноги, прыгают лучше. Это указывает на то, что селекция на «парадную» рысь может идти вразрез с развитием прыжковых качеств [17].

Исследования, проведённые на других породах, также подтверждают слабую связь между качеством движений и прыжковой способностью. Так, A. Ricard [18; 19] и M. Dugué с соавторами [17] показали, что хорошие аллюры не гарантируют высокого конкурного результата, а между качеством движения и прыжковой способностью существует лишь слабая связь. Это делает отдельное изучение прыжковых качеств ахалтекинцев особенно актуальным.

Современные зарубежные исследования раскрывают биомеханические механизмы, лежащие в основе успешного прыжка. Работа St. George L. и соавторов (2021) [20] демонстрирует, что ключевым фактором является способность лошади координировать работу мышц спины для стабилизации корпуса и точного контроля траектории центра масс (точки равновесия). Исследования M. F. Bobbert et al. (2005) [21] показывают, что задатки техники прыжка проявляются уже в молодом возрасте, что критически важно для спортивного отбора. Данные работ A. Ricard et al. (2020) [18; 19] расширяют это понимание, определяя прыжковую способность не как одиночный параметр (высоту), а как комплекс характеристик: скорость создания вертикального импульса, координацию и экономичность движений. Эти критерии являются универсальными для всех пород.

Подтверждением наличия прыжкового потенциала у ахалтекинской породы служат результаты оценки производителей. Так, жеребец Атом, показавший низкие результаты по двигательным качествам (7,54 балла – последнее место), занял второе место по прыжковым качествам своего потомства (8,87 балла). Этот факт, описанный И. Б. Науменко [22], показывает слабую генетическую корреляцию между «выездковыми» движениями и прыгучестью. Это может свидетельствовать о целесообразности дальнейшего изучения возможности выделения прыжковых качеств в самостоятельное направление селекции.

Анализ динамики развития породы за последние годы показывает, что прогнозы о ведении селекции в направлении спортивного использования [23] оправдались. поголовье растёт, порода получает признание на международном уровне [4; 24]. Однако для дальнейшего прогресса необходимо восполнить пробел в инструментальных исследованиях. Перспективным направлением является внедрение современных инструментальных методов оценки локомоции и прыжковой техники, включая акселерометрию, инерциальные датчики движения (IMU) и системы высокоскоростного видеоанализа, которые уже успешно применяются при оценке спортивных пород лошадей [17; 20]. Их использование позволит дополнить выставочные оценки точными измерениями, ускорит селекцию и повысит конкурентоспособность породы на мировой арене.

Обобщая вышесказанное, можно представить сравнительную характеристику традиционных и перспективных подходов к оценке спортивных качеств ахалтекинских лошадей (табл. 2)

Как видно из таблицы 2, развитие методологии оценки направлено на дополнение традиционных экспертных методов инструментальными измерениями. Такой подход позволит повысить точность селекционного прогноза и сформировать более полное представление о спортивных качествах лошадей.

Таким образом, анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что сведения о двигательных качествах ахалтекинской породы значительно превосходят объём информации о её прыжковых качествах. При этом большинство существующих исследований основано на экспертной оценке, тогда как применение современных методов регистрации движений остаётся единичным. Это определяет одно из направлений

Таблица 2 – Сравнительная характеристика критериев оценки спортивных качеств ахалтекинских лошадей

Направление оценки	Что оценивали раньше	Что оценивают сейчас	Перспективы применения
Двигательные качества	Экспертная оценка аллюров	Биомеханика параметров движений, акселерометрия, видеоанализ	Повышение точности селекции
Прыжковые качества	Визуальная оценка техники прыжка и свободный прыжок	Анализ кинематики прыжка, фаз отталкивания и приземления	Раннее прогнозирование спортивной работоспособности
Оценка спортивной работоспособности	Результаты соревнований	Комплексная оценка спортивных результатов и параметров движения	Повышение точности оценки племенной ценности
Селекционная оценка	Экстерьер и происхождение	Комплекс экстерьера, локомоции, генетических и спортивных показателей	Повышение эффективности отбора производителей

дальнейшей работы, связанное с более широкими исследованиями двигательных и прыжковых качеств ахалтекинских лошадей разных групп с учётом происхождения, используя традиционные и имеющиеся современные методы.

Выводы.

1. Особенности экстерьера ахалтекинских лошадей создают предпосылки для свободных, ритмичных и экономичных движений, подходящих для выездки. Имеющиеся данные подтверждают высокие показатели длины и скорости шага на прибавленной рыси (1,78–1,92 м и 4,76–5,03 м/с соответственно). Вместе с тем, большинство оценок в настоящее время основывается на визуальном экспертном анализе, а данные инструментальных исследований локомоции ахалтекинцев пока ограничены и требуют дальнейшего изучения.

2. Имеющиеся данные свидетельствуют о наличии у ахалтекинской породы прыжкового потенциала. Однако их техника прыжка отличается от общепринятой

модели – они используют меньший подъём передних ног и не опускают шею так низко, как это характерно для полукровных спортивных пород. Учитывая особенности техники прыжка ахалтекинских лошадей, существующие стандартные методы оценки могут не в полной мере отражать их прыжковый потенциал. Это свидетельствует о возможности разработки специализированных дополняющих критериев прогнозирования с учётом породных особенностей.

3. Существующие подходы к оценке спортивных качеств ахалтекинских лошадей преимущественно опираются на экспертное суждение (исключение – спортивные результаты). Расширение применения инструментальных методов исследования локомоции и прыжковой техники, наряду с регулярным проведением ежегодных выставок-выводок, позволят повысить точность оценки работоспособности и племенной ценности, создавая основу для совершенствования селекционной работы.

Список источников

1. Рябова Т. Н. Ахалтекинцы // Коневодство и конный спорт. 2005. № 4. С. 2–4. EDN KWPPNJ.
2. Дурдыев Н. Ахалтекинские лошади в книге рекордов Гиннесса // Академическая публицистика. 2024. № 10-1. С. 474–476. EDN MEVJTW.
3. Колосов Ю. А., Яковлев А. И., Лиховидов А. И., Семенченко С. В. Коневодство : учебник. Персиановский : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный аграрный университет», 2010. 136 с. ISBN 978-5-98252-096-8. EDN SEECGP.
4. Башеков А., Овезгелдиева Э. Анатомия ахалтекинских лошадей // Академическая публицистика. 2024. № 10-1. С. 425–428. EDN DAKAQE.
5. Хасанова Э. Р., Чепуштанова О. В. История создания ахалтекинской породы лошадей // Приоритетные направления развития аграрной науки и технологий : сб. тезисов науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию факультета биотехнологии и пищевой инженерии, Екатеринбург, 18 декабря 2024 года. Екатеринбург : Уральский государственный аграрный университет, 2024. С. 578–580. EDN DTRKJE.
6. Хасанова Э. Р., Шадрин В. А., Чепуштанова О. В. Современное положение алхетикинской породы лошадей // Приоритетные направления развития аграрной науки и технологий : сб. тезисов науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию факультета биотехнологии и пищевой инженерии, Екатеринбург, 18 декабря 2024 года. Екатеринбург : Уральский государственный аграрный университет, 2024. С. 576–577. EDN LWKEOT.
7. Федорова Н. Е. Сравнение резвости лошадей ахалтекинской и чистокровной верховой пород // Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы : сб. материалов III международ. науч.-практ. конф., Луганск, 23–24 ноября 2023 года. Луганск : Луганский государственный аграрный университет им. К. Е. Ворошилова, 2023. С. 232–235. EDN YIUPDC.
8. Устьянцева А. В. Факторы, влияющие на скаковую работоспособность ахалтекинских лошадей // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. 2015. № 7-2. С. 111–114. EDN TKIFZR.
9. Аннамырадов Т., Нурмырадов Д. Физические свойства ахалтекинских лошадей // Академическая публицистика. 2024. № 10-1. С. 15–18. EDN WSJABV.
10. Хасанова Э. Р., Шадрин В. А., Чепуштанова О. В. Особенности экстерьера ахалтекинской породы лошадей // Приоритетные направления развития аграрной науки и технологий : сб. тезисов науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию факультета биотехнологии и пищевой инженерии, Екатеринбург, 18 декабря 2024 года. Екатеринбург : Уральский государственный аграрный университет, 2024. С. 574–575. EDN QDKFMZ.
11. Дорофеев В. Н. Технология тренинга и испытаний молодняка верховых пород лошадей спортивного направления : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.02.04 / Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства. М., 1995. 30 с. EDN ZKSPFL.
12. Абрамова Н. В. Особенности двигательных качеств ахалтекинских лошадей и возможности их использования в селекции : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.02.04 / Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства. ВНИИК, 1996. 18 с. EDN ZKERNZ.
13. Блохина М. В. Анализ выставочной оценки лошадей ахалтекинской породы // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, безопасности сырья и продукции и перспективы развития продуктивного и непродуктивного животноводства : сб. науч. тр. по материалам III Нац. науч.-практ. конф., Ярославль, 23 октября 2025 года. Ярославль : Ярославский государственный аграрный университет, 2025. С. 17–22. ISBN 978-5-98914-295-8. EDN IOLLNK.
14. Akhal-Teke in Sports and as Working Partners // Akhal-Teke Association of America: официальный сайт. URL: <https://akhal-teke.org/the-breed/tekes-in-sports-and-as-working-partners/> (дата обращения: 12.08.2026).
15. Трофименко А. А. Подготовка ахалтекинской лошади к соревнованиям по выездке // Знания молодых – будущее России : сб. статей XXIII Международ. студ. науч. конф., Киров, 09–11 апреля 2025 года. Киров : Вятский государственный агротехнологический университет, 2025. С. 108–113. EDN WROTSX.
16. Дорофеев В. Н., Дорофеева Н. В. Ахалтекинцы в спорте // Коневодство и конный спорт. 1982. № 6. С. 11–12. ISSN 0023-3285.

17. Dugué M., Dumont Saint Priest B., Crichan H. [et al.] Genomic Correlations Between the Gaits of Young Horses Measured by Accelerometry and Functional Longevity in Jumping Competition // *Frontiers of Genetics*. 2021. Vol. 12. Art. 619947. DOI 10.3389/fgene.2021.619947.
18. Ricard A., Dumont Saint Priest B., Danvy S., Barrey E. Accelerometers Provide Early Genetic Selection Criteria for Jumping Horses // *Frontiers of Genetic*. 2020. Vol. 11. Art. 448. DOI 10.3389/fgene.2020.00448.
19. Ricard A., Dumont Saint Priest B., Chassier M. [et al.] Genetic consistency between gait analysis by accelerometry and evaluation scores at breeding shows for the selection of jumping competition horses // *PLoS One*. 2020. Vol. 15, Is. 12 Art. e0244064. DOI 10.1371/journal.pone.0244064.
20. St George L., Clayton H. M., Sinclair J. [et al.] Muscle Function and Kinematics during Submaximal Equine Jumping: What Can Objective Outcomes Tell Us about Athletic Performance Indicators? // *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11, Is. 2. Art. 414. DOI 10.3390/ani11020414.
21. Bobbert M. F., Santamaría S., van Weeren P. R. [et al.] Can jumping capacity of adult show jumping horses be predicted on the basis of submaximal free jumps at foal age? A longitudinal study // *The Veterinary Journal*. 2005. Vol. 170, Is. 2. P. 212–221. DOI 10.1016/j.tvjl.2004.06.009.
22. Науменко И. Б. Оценка некоторых жеребцов-производителей по спортивной работоспособности молодняка лошадей русской верховой породы // *Современные тенденции развития животноводства и зоотехнической науки : сб. статей Всеросс. науч.-практ. конф. с международ. уч., посвящ. 100-летию со дня рождения профессора А. В. Орлова, Москва, 17–18 ноября 2022 года*. М. : РГАУ, 2022. С. 43–47. ISBN 978-5-9675-1967-3. EDN UEQMIB.
23. Краль А. В., Янкина О. Л., Ким Н. А., Приходько А. Н. Ахалтекинская порода лошадей: история, достижения // *Инновации молодых – развитию сельского хозяйства : материалы 59 Всеросс. студ. науч. конф., Уссурийск, 27–31 марта 2023 года*. Уссурийск : Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. С. 152–158. ISBN 978-5-4281-0106-5. EDN EVQUMD.
24. Стефаниди М. С. Совершенствование ахалтекинской породы лошадей // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2008. № 2 (2). С. 20–22. EDN NQXIRH.

References

1. Ryabova T. N. Ahaltekinцы // *Konevodstvo i konnyj sport*. 2005. № 4. S. 2–4. EDN KWPPNJ.
2. Durdyev N. Ahaltekinskie loshadi v knige rekordov Ginnessa // *Akademicheskaya publicistika*. 2024. № 10-1. S. 474–476. EDN MEVJTW.
3. Kolosov Yu. A., Yakovlev A. I., Likhovidov A. I., Semenchenco S. V. *Konevodstvo : uchebnik. Persianovskij : Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Donskoj gosudarstvennyj agrarnyj universitet»*, 2010. 136 s. ISBN 978-5-98252-096-8. EDN SEECGP.
4. Bashekov A., Ovezgeldieva E. Anatomiya ahaltekinskih loshadej // *Akademicheskaya publicistika*. 2024. № 10-1. S. 425–428. EDN DAKAQE.
5. Khasanova E. R., Chepushtanova O. V. Istoriya sozdaniya ahaltekiskoj porody loshadej // *Prioritetnye napravleniya razvitiya agrarnoj nauki i tekhnologii : sb. tezisev nauch.-prakt. konf., posvyashch. 75-letnemu yubileyu fakul'teta biotekhnologii i pishchevoj inzhenerii, Ekaterinburg, 18 dekabrya 2024 goda*. Ekaterinburg : Ural'skij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2024. S. 578–580. EDN DTRKJE.
6. Khasanova E. R., Shadrin V. A., Chepushtanova O. V. Sovremennoe polozhenie alhetikinskoj porody loshadej // *Prioritetnye napravleniya razvitiya agrarnoj nauki i tekhnologii : sb. tezisev nauch.-prakt. konf., posvyashch. 75-letnemu yubileyu fakul'teta biotekhnologii i pishchevoj inzhenerii, Ekaterinburg, 18 dekabrya 2024 goda*. Ekaterinburg : Ural'skij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2024. S. 576–577. EDN LWKEOT.
7. Fedorova N. E. Sroavnenie rezvosti loshadej ahaltekinskoj i chistokrovnoj verhovoj porod // *Integraciya obrazovaniya, nauki i praktiki v APK: problemy i perspektivy : sb. materialov III mezhdunarod. nauch.-prakt. konf., Lugansk, 23–24 noyabrya 2023 goda*. Lugansk : Luganskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. K. E. Voroshilova, 2023. S. 232–235. EDN YIUPDC.
8. Ust'yantseva A. V. Faktory, vliyayushchie na skakovuyu rabotosposobnost' ahaltekinskih loshadej // *Teoreticheskie i prikladnye aspekty sovremennoj nauki*. 2015. № 7-2. S. 111–114. EDN TKIFZR.
9. Annamyradov T., Nurmyradov D. Fizicheskie svojstva ahaltekinskih loshadej // *Akademicheskaya publicistika*. 2024. № 10-1. S. 15–18. EDN WSJABV.
10. Khasanova E. R., Shadrin V. A., Chepushtanova O. V. Osobennosti ekster'era ahaltekinskoj porody loshadej // *Prioritetnye napravleniya razvitiya agrarnoj nauki i tekhnologii : sb. tezisev nauch.-prakt. konf., posvyashch. 75-letnemu yubileyu fakul'teta biotekhnologii i pishchevoj inzhenerii, Ekaterinburg, 18 dekabrya 2024 goda*. Ekaterinburg : Ural'skij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2024. S. 574–575. EDN QDKFMZ.
11. Dorofeev V. N. Tekhnologiya treninga i ispytaniy molodnyaka verhovyh porod loshadej sportivnogo napravleniya : avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk : 06.02.04 / Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut konevodstva. M., 1995. 30 s. EDN ZKSPFL.
12. Abramova N. V. Osobennosti dvigatel'nyh kachestv ahaltekinskih loshadej i vozmozhnosti ih ispol'zovaniya v selekcii : avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk : 06.02.04 / Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut konevodstva. VNIK, 1996. 18 s. EDN ZKERNZ.
13. Blokhina M. V. Analiz vystavochnoj ocenki loshadej ahaltekinskoj porody // *Aktual'nye problemy veterinarnoj mediciny, bezopasnosti syr'ya i produkcii i perspektivy razvitiya produktivnogo i neproduktivnogo zhivotnovodstva : sb. nauch. tr. po materialam III Nac. nauch.-prakt. konf., Yaroslavl', 23 oktyabrya 2025 goda*. Yaroslavl' : Yaroslavskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2025. S. 17–22. ISBN 978-5-98914-295-8. EDN IOLLNK.
14. Akhal-Tekes in Sports and as Working Partners // Akhal-Teke Association of America: oficial'nyj sajт. URL: <https://akhal-teke.org/the-breed/tekes-in-sports-and-as-working-partners/> (data obrashcheniya: 12.08.2026).
15. Trofimenko A. A. Podgotovka ahaltekinskoj loshadi k sorevnovaniyam po vyezdke // *Znaniya molodyh – budushchee Rossii : sb. statej XXIII Mezhdunarod. stud. nauch. konf., Kirov, 09–11 aprelya 2025 goda*. Kirov : Vyatskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet, 2025. S. 108–113. EDN WROTSX.
16. Dorofeev V. N., Dorofeeva N. V. Ahaltekinцы v sporte // *Konevodstvo i konnyj sport*. 1982. № 6. S. 11–12. ISSN 0023-3285.
17. Dugué M., Dumont Saint Priest B., Crichan H. [et al.] Genomic Correlations Between the Gaits of Young Horses Measured by Accelerometry and Functional Longevity in Jumping Competition // *Frontiers of Genetics*. 2021. Vol. 12. Art. 619947. DOI 10.3389/fgene.2021.619947.

18. Ricard A., Dumont Saint Priest B., Danvy S., Barrey E. Accelerometers Provide Early Genetic Selection Criteria for Jumping Horses // *Frontiers of Genetic*. 2020. Vol. 11. Art. 448. DOI 10.3389/fgene.2020.00448.
19. Ricard A., Dumont Saint Priest B., Chassier M. [et al.] Genetic consistency between gait analysis by accelerometry and evaluation scores at breeding shows for the selection of jumping competition horses // *PLoS One*. 2020. Vol. 15, Is. 12. Art. e0244064. DOI 10.1371/journal.pone.0244064.
20. St George L., Clayton H. M., Sinclair J. [et al.] Muscle Function and Kinematics during Submaximal Equine Jumping: What Can Objective Outcomes Tell Us about Athletic Performance Indicators? // *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11, Is. 2. Art. 414. DOI 10.3390/ani11020414.
21. Bobbert M. F., Santamaría S., van Weeren P. R. [et al.] Can jumping capacity of adult show jumping horses be predicted on the basis of submaximal free jumps at foal age? A longitudinal study // *The Veterinary Journal*. 2005. Vol. 170, Is. 2. P. 212–221. DOI 10.1016/j.tvjl.2004.06.009.
22. Naumenko I. B. Ocenka nekotoryh zhrebcev-proizvoditelej po sportivnoj rabotosposobnosti molodnyaka loshadej russkoj verhovoj porody // *Sovremennye tendencii razvitiya zhivotnovodstva i zootekhnicheskoy nauki : sb. statej Vseross. nauch.-prakt. konf. s mezhdunarod. uch., posvyashch. 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora A. V. Orlova, Moskva, 17–18 noyabrya 2022 goda. M. : RGAU, 2022. S. 43–47. ISBN 978-5-9675-1967-3. EDN UEQMIB.*
23. Kral' A. V., Yankina O. L., Kim N. A., Prikhod'ko A. N. Ahaltekinskaya poroda loshadej: istoriya, dostizheniya // *Innovacii molodyh – razvitiyu sel'skogo hozyajstva : materialy 59 Vseross. stud. nauch. konf., Ussurijsk, 27–31 marta 2023 goda. Ussurijsk : Primorskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2023. S. 152–158. ISBN 978-5-4281-0106-5. EDN EVQUMD.*
24. Stefanidi M. S. Sovershenstvovanie ahaltekinskoj porody loshadej // *Vestnik APK Verhnevolzh'ya*. 2008. № 2 (2). S. 20–22. EDN NQXIRH.

Сведения об авторах

Мария Владимировна Блохина – аспирант факультета ветеринарии и зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 6532-2235.

Марина Сергеевна Стефаниди – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 7563-8722.

Information about the authors

Mariya V. Blokhina – Postgraduate student at the Faculty Veterinary and Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 6532-2235.

Marina S. Stefanidi – Candidate of Agricultural Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 7563-8722.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.



Научная статья
УДК 636.082
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.010

ГЕНОТИПИРОВАНИЕ ПОПУЛЯЦИИ КАЛМЫЦКОГО СКОТА ПО SNP-МАРКЕРАМ ГЕНОВ *CAPN1* И *CAST*

А. И. Хахлинов¹, Н. В. Чимидова², А. В. Убушиева³, В. С. Убушиева⁴, А. В. Эриднеев⁵

^{1, 2, 3, 4, 5}Калмыцкий государственный университет им. Б. Б. Городовикова», Элиста, Россия

^{1, 5}Калмыцкий научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М. Б. Нармаева (филиал)
Калмыцкого государственного университета им. Б. Б. Городовикова, Элиста, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виктория Саналовна Убушиева,
vicki_93g@mail.ru, ORCID 0000-0003-0320-7771

Реферат. В статье представлены результаты проведённого генотипирования крупного рогатого скота калмыцкой породы, принадлежащего Региональному научно-производственному центру по воспроизводству сельскохозяйственных животных ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б. Б. Городовикова», по полиморфизмам C316G гена *CAPN* и C282G гена *CAST*. Молекулярно-генетический анализ проводили методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени. По результатам исследования проведена оценка распределения генотипов и аллелей по полиморфизмам C316G гена *CAPN* и C282G гена *CAST* среди исследуемого поголовья крупного рогатого скота калмыцкой породы, рассчитана частота встречаемости генотипов по двум SNP. Распределение генотипов по полиморфизму C316G гена *CAPN* следующее: CC – 1,6%, CG – 17,7%, GG – 80,7%. Отмечается достаточно низкая частота генотипа CC. В популяции отмечалось преобладание аллеля G с частотой 89,5%, частота аллеля C составила 10,5%. По полиморфизму C282G гена *CAST* установлено следующее распределение генотипов: CC – 27,4%, CG – 43,5%, GG – 29,0%. Выявлено преобладание генотипа CG. Частота аллеля C составила 49,2%, аллеля G – 50,2%. Сравнительный анализ наблюдаемых и ожидаемых частот генотипов по полиморфизму C316G гена *CAPN* показал избыток генотипов CC (0,5%) и GG (0,5%), дефицит генотипа CG (1,0%), при этом отклонения между наблюдаемыми и ожидаемыми частотами минимальные; по полиморфизму C282G гена *CAST* – избыток генотипов CC (+3,2%) и GG (3,2%) и существенный дефицит генотипа CG (–6,4%). Несмотря на заметные отклонения, статистический анализ показал, что исследуемые полиморфизмы находятся в равновесии Харди-Вайнберга ($P > 0,05$).

Ключевые слова: генотипирование, кальпаин, кальпастатин, однонуклеотидные полиморфизмы, частота встречаемости, калмыцкий скот

GENOTYPING OF THE KALMYK CATTLE POPULATION BY SNP MARKERS OF THE *CAPN1* AND *CAST* GENES

A. I. Khakhlinov¹, N. V. Chimidova², A. V. Ubushieva³, V. S. Ubushieva⁴, A. V. Eridneev⁵

^{1, 2, 3, 4, 5}Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov, Elista, Russia

^{1, 5}Kalmyk Research Institute of Agriculture named after M. B. Narmaev, Elista, Russia

Author responsible for the correspondence: Viktoriya S. Ubushieva,
vicki_93g@mail.ru, ORCID 0000-0003-0320-7771

Abstract. The article presents the results of genotyping of Kalmyk cattle belonging to the Regional Research and Production Center for the Reproduction of Farm Animals of the FSBEI HE Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov, for polymorphisms C316G of the *CAPN* gene and C282G of the *CAST* gene. Molecular genetic analysis was carried out by the method of polymerase chain reaction in real time. Based on the results of the study, the distribution of genotypes and alleles for polymorphisms C316G of the *CAPN* gene and C282G of the *CAST* gene among the Kalmyk cattle under study was assessed, and the frequency of occurrence of genotypes for two SNPs was calculated. The distribution of genotypes by polymorphism C316G the *CAPN* gene is as follows: CC – 1.6%, CG – 17.7%, GG – 80.7%. There is a rather low frequency of CC genotype. In the population, the predominance of the G allele was noted with a frequency of 89.5%, the frequency of the C allele was 10.5%. The following distribution of genotypes was established for the C282G polymorphism of the *CAST* gene: CC – 27.4%, CG – 43.5%, GG – 29.0%. The predominance of the CG genotype was revealed. The frequency of the C allele was 49.2%, the G allele was 50.2%. A comparative analysis of the observed and expected genotype frequencies for the C316G polymorphism of the *CAPN* gene showed an excess of CC (0.5%) and GG (0.5%) genotypes, a deficiency of the CG genotype (1.0%), while the deviations between the observed and expected frequencies were

minimal. For the C282G polymorphism of the *CAST* gene, there was an excess of CC (+3.2%) and GG (3.2%) genotypes and a significant deficiency of CG genotype (–6.4%). Despite the noticeable deviations, statistical analysis showed that the polymorphisms under study are in Hardy-Weinberg equilibrium ($P > 0.05$).

Keywords: *genotyping, calpain, calpastatin, single nucleotide polymorphisms, frequency of occurrence, Kalmyk cattle*

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 18 мая 2026 года № 075-03-2026-375/3.

Введение. Сохранение и совершенствование генетического разнообразия играет ключевую роль в обеспечении устойчивости системы животноводства [1]. Современные методы молекулярной генетики, такие как геномная селекция, позволяют точно выбирать животных с желательными генетическими маркерами для повышения мясной продуктивности и качества мяса [2]. Важными генами, влияющими на рост, качество мяса и конверсию корма в мясном скотоводстве, являются лептин (*LEP*) [3; 4], тиреоглобулин (*TG*) [4–6], гормон роста (*GH*) [5; 6], кальпаин-кальпастатин (*CAPN-CAST*) (*CAPN1*) [6; 7].

На данный момент информации о специфических генетических исследованиях калмыцкой породы крупного рогатого скота (КРС) немного, так как по сравнению с более распространёнными мясными или молочными породами эта порода менее изучена. В связи с этим в рамках исследования был изучен генетический профиль по генам кальпаина (*CAPN1*) и кальпастатина (*CAST*) у КРС калмыцкой породы. Выбор данных генов обусловлен их ключевой ролью в формировании качественных характеристик мяса, в частности – его нежности.

Ген кальпаин *CAPN1* (кальций-активируемая нейтральная протеаза) расположен на 29 хромосоме [8], он кодирует основную субъединицу протеазы μ -кальпаина и участвует в процессе посмертного размягчения мяса. *CAPN1* кодируется 19 экзонами, 17 интронами и имеет 11055 пар оснований [9]. В интроне 12 были обнаружены два однонуклеотидных полиморфизма (ОНП), которые были использованы для картирования бычьего *CAPN1* на теломерном конце группы сцепления ВТА29 [10], отвечающих за нежность мяса.

Согласно данным GenBank AF248054 и AF252504, CAPN1_316 представляет собой трансверсию гуанина (аллель G) в цитозин (аллель C) в экзоне 9 гена (основание 5709 AF252504) и приводит к замене глицина на аланин (аллель G кодирует глицин, аллель C – аланин) [11; 12], CAPN1_530 – полиморфизм, возникающий в результате перехода аденина (аллель A) в гуанин (аллель G) в экзоне 14 гена (основание 4558 AF248054), который сопровождается аминокислотной заменой изолейцина на валин (аллель A кодирует изолейцин, аллель G – валин) [13]. CAPN1_4751 представляет собой SNP аденин/цитозин, который находится в интроне 21 гена (положение 8676 из AF248054) [14], CAPN1_5331 – аденин/тимин (A/T) полиморфизм, который находится в интроне 1 гена (положение 327 AF252504) [15]. Предпочтительными с точки зрения более нежного мяса были определены аллели C-CAPN1_316, G-CAPN1_530 и C-CAPN1_4751 [16].

Полиморфизм гена *CAPN1* представлен двумя аллелями и, соответственно, тремя генотипами гомо- и гетерозигот – C; G (CC; CG; GG). Анализ данных убоя тушек от бычков казахской белоголовой породы КРС разных генотипов показал, что наибольший предубойный и убойный вес наблюдался у туш животных с гомозиготным генотипом CC. У КРС с желаемыми генотипами CAPN1_CC было значительно больше мышечных волокон в длиннейшей мышце спины, они были меньшего диаметра и содержали меньше соединительной ткани [8]. Анализ генетической структуры исследуемых выборок из популяций КРС по гену *CAPN1* показал, что частота встречаемости предпочтительного аллеля C, ассоциированного с «мраморностью», у КРС абердин-ангусской породы составила 34,3%, у породы лимузин – 14,3%, у породы герефорд – 13,9% [17].

У носителей генотипа CC полиморфизма CAPN1_316 установлена достоверная связь с более высокими показателями прироста у бычков за период заключительного откорма, а также с их предубойной и убойной массой [18].

Однонуклеотидные полиморфизмы (ОНП) гена *CAPN1* у крупного рогатого скота мясных пород оказывают значительное влияние на мраморность и нежность мяса особей с генотипами CC и СТ, чем у животных с генотипом ТТ, так как ферменты кальпаина делают мясо более нежным за счёт декомпозиции Z-дисков скелетной мускулатуры [19].

Таким образом, ген *CAPN1* отвечает за протеолиз белков цитоскелета и промежуточных филаментов. Считается, что эндогенные протеазы, называемые кальпаинами, и их ингибитор (кальпастатин) запускают процесс деградации миофибриллярных белков после убоя [20].

Кальпастатин (*CAST*) является ингибитором кальпаина [6; 7]. Кальпастатин (*CAST*), расположенный в локусе ВТА7 [21], подавляет активность μ - и m -кальпаинов и, следовательно, регулирует посмертный протеолиз, считается наиболее вероятным функциональным фактором, влияющим на нежность мяса у видов домашнего скота [22].

Согласно данным GenBank NM_174003, он расположен в кодирующей области (экзон 7), где отвечает за замену неконсервативной несинонимичной аминокислоты (Thr182Ala – треонин на аланин в позиции 182 аминокислотной последовательности, NM_174003). Существует несколько форм кальпастатина, таких как *CAST*, *CAST1*, *CAST2*, *CAST3* и *CAST4* [23].

Однонуклеотидные полиморфизмы (ОНП) гена *CAST*:c.182A > G и *CAST*:c.1985G > C у корейского скота породы хану оказывали значительное влияние на соч-

ность, но не влияли на другие характеристики [24]. Три SNP, расположенные в интроне 5 (BTA7: g.98533962C>G по UMD 3.0), экзоне 7 (g.98535683A>G) и интроне 12 (g.98545188T>A) гена CAST [25], были достоверно связаны с нежностью мяса через 7 дней после вскрытия у породы Парда-де-Монтанья. Изучение связи ОНП с нежностью мяса у чистопородных бычков породы брахман показало, что генотипы *CAST* были связаны с активностью фермента кальпастатина ($P < 0,01$) и силой сдвига стейков, выдержанных в течение 14 дней после вскрытия ($P < 0,05$) [26].

Основной целью работы стало выявление полиморфных вариантов генов *CAPN1* и *CAST* в популяции калмыцкого скота и оценка частот встречаемости аллелей и генотипов, потенциально связанных с улучшенными мясными качествами.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: 1) провести выделение геномной ДНК из биоматериала (кровь/ушные выщипы) животных калмыцкой породы; 2) выполнить генотипирование по целевым локусам генов *CAPN1* и *CAST* с использованием метода полимеразной цепной реакции в реальном времени (ПЦР-РВ); 3) определить частоты аллелей и генотипов в исследуемой выборке; 4) провести статистический анализ полученных данных, включая проверку соответствия наблюдаемого распределения генотипов по равновесию Харди-Вайнберга.

Материал и методика исследования. Объект исследования – племенной крупный рогатый скот калмыцкой породы ($n = 62$), принадлежащий Региональ-

ному научно-производственному центру по воспроизводству сельскохозяйственных животных ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б. Б. Городовикова» (РНПЦ). Для молекулярно-генетического анализа у животных была взята цельная кровь из яремной вены в вакуумные пробирки с ЭДТА Improvacuter (Improve, Китай). Экстракцию ДНК проводили посредством коммерческого набора «Магно-Прайм ВЕТ» ООО «НекстБио» на автоматической станции выделения нуклеиновых кислот Auto-Pure 96 (Allsheng, Китай). Качество и концентрацию выделенных ДНК определяли на спектрофотометре Nano-500 (Allsheng, Китай). Генотипирование крупного рогатого скота проводилось по полиморфизмам C316G гена *CAPN* и C282G гена *CAST*. Молекулярно-генетический анализ проводили методом ПЦР-РВ на ДНК-амплификаторе Rotor-Gene Q (QIAGEN, США) с использованием реагентов из наборов для определения полиморфизмов C316G гена *CAPN* и C282G гена *CAST* (Синтол, Россия). Реакционную смесь для постановки анализа готовили в объеме 25 мкл в соответствии с инструкцией производителя: реакционная смесь 2,5х – 10 мкл, разбавитель – 10 мкл, ДНК-полимераза – 0,5 мкл, ДНК – 5 мкл. Параметры амплификации устанавливали согласно руководству по применению наборов: 1 этап – 94°C – 3 мин; 2 этап (10 повторов) – 94°C – 20 сек., 58°C – 20 сек., 61°C – 30 сек., 3 этап (30 повторов) – 94°C – 20 сек., 58°C – 20 сек., 61°C – 30 сек.

Интерпретацию результатов генотипирования проводили с помощью программного обеспечения Rotor-Gene 6000 Series Software (рис. 1).

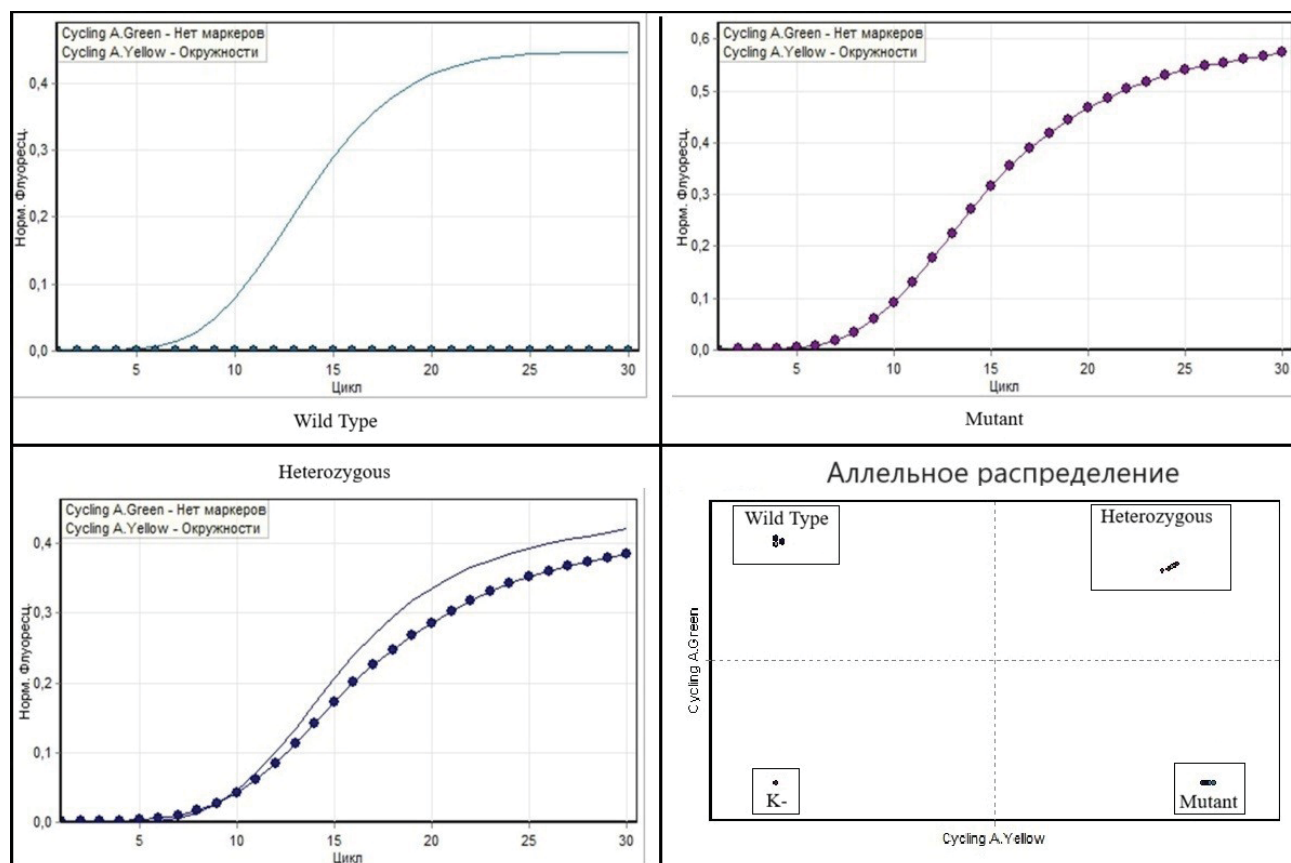


Рисунок 1 – Распределение генотипов по результатам ПЦР-РВ

Первичную обработку данных проводили в среде R (RStudio 2025.09.1 Build 401). Для изучаемых SNP были рассчитаны абсолютные и относительные частоты генотипов и аллелей, наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность. Равновесие Харди-Вайнберга проверяли с помощью χ^2 -теста. Результаты проведённого анализа были визуализированы с использованием пакета R ggplot2. Получены диаграммы распределения генотипов и аллелей, графики сравнения наблюдаемых и ожидаемых частот, сводные диаграммы по уровню гетерозиготности и отклонениям от равновесия Харди-Вайнберга.

Результаты исследования. В результате проведённого молекулярно-генетического анализа выполнена оценка распределения генотипов и аллелей по полиморфизмам C316G гена *CAPN* и C282G гена *CAST* среди исследуемого поголовья крупного рогатого скота калмыцкой породы, на основании которой рассчитана частота встречаемости генотипов по двум SNP в данной популяции (рис. 2).

Как видно на рисунке, по двум исследуемым полиморфизмам генов *CAPN* и *CAST* было выявлено по три генотипа. Так, распределение генотипов по полиморфизму C316G гена *CAPN* следующее: CC – 1,6%, CG – 17,7%, GG – 80,7%. Отмечается достаточно низкая представленность желательного гомозиготного генотипа CC. Анализ распределения аллелей показал преобладание в популяции аллеля G, частота встречаемости которого составила 89,5%, при этом частота аллеля C составила 10,5%.

По полиморфизму C282G гена *CAST* в исследуемой выборке крупного рогатого скота калмыцкой породы установлено следующее распределение генотипов:

CC – 27,4%, CG – 43,5%, GG – 29,0%. Выявлено преобладание гетерозиготного генотипа CG, при этом доли гомозиготных генотипов практически идентичны. По распределению аллелей наблюдается схожая картина: частота аллеля C составила 49,2%, аллеля G – 50,2%.

На основании полученных данных о распределении генотипов были рассчитаны ожидаемые частоты генотипов по двум исследуемым полиморфизмам (рис. 3.)

По результатам сравнительного анализа наблюдаемых и ожидаемых частот генотипов установлено, что по полиморфизму C316G гена *CAPN* наблюдается избыток гомозиготных генотипов CC (0,5%) и GG (0,5%), незначительный дефицит гетерозиготного генотипа CG (1,0%). Отклонения между наблюдаемыми и ожидаемыми частотами минимальные. По полиморфизму C282G гена *CAST* также выявлен избыток гомозигот CC (3,2%) и GG (3,2%) и существенный дефицит гетерозигот CG (6,4%). Несмотря на заметные отклонения, статистический анализ показал, что исследуемые полиморфизмы находятся в равновесии Харди-Вайнберга ($P > 0,05$).

Обсуждение полученных результатов. Проведённые молекулярно-генетические исследования полиморфизмов C316G гена *CAPN* и C282G гена *CAST* у крупного рогатого скота калмыцкой породы позволили выявить распределение генотипов и аллелей в исследуемой популяции, а также оценить соответствие наблюдаемых частот равновесию Харди-Вайнберга.

По результатам генотипирования полиморфизма C316G гена *CAPN* установлено преобладание генотипа GG (80,7%), тогда как частота желательного генотипа CC составила всего лишь 1,6%, а гетерозиготный генотип достигал 17,7%. Соответственно, наблюдается доми-

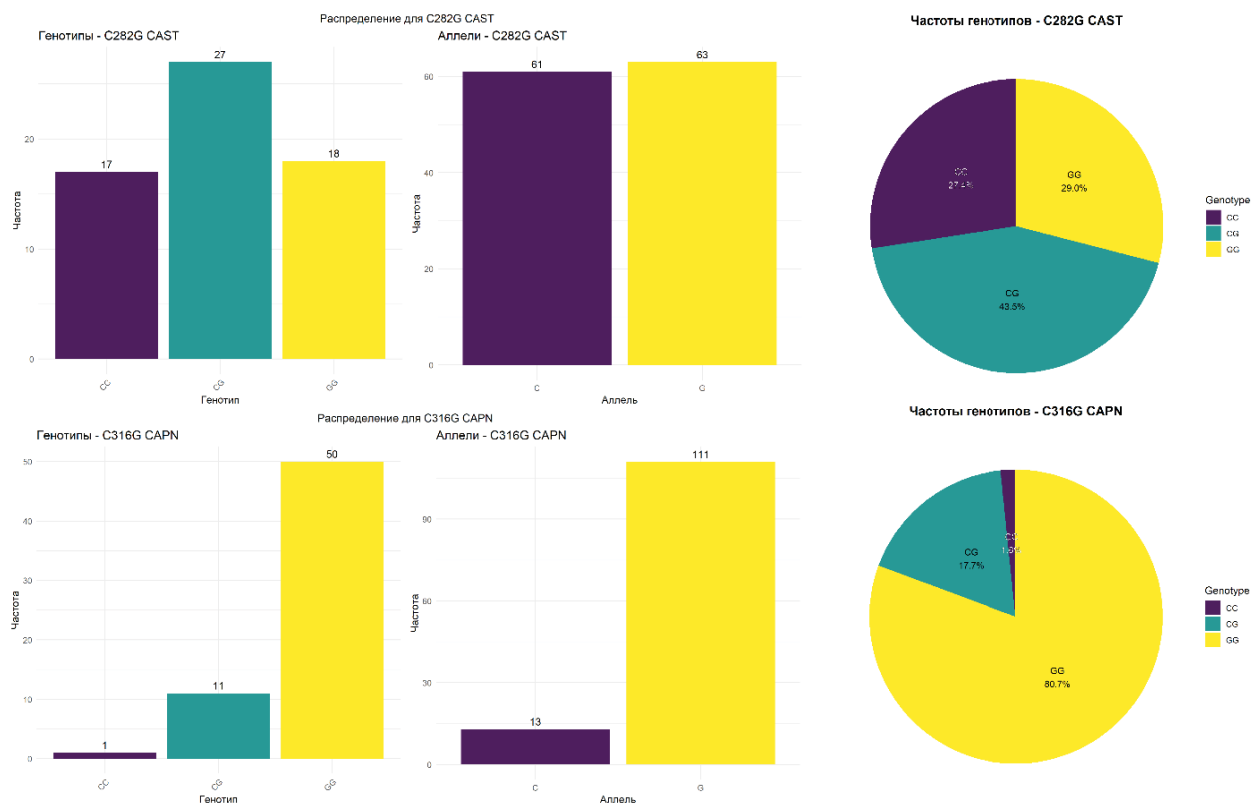


Рисунок 2 – Распределение генотипов и аллелей по полиморфизмам C316G гена *CAPN* и C282G гена *CAST*

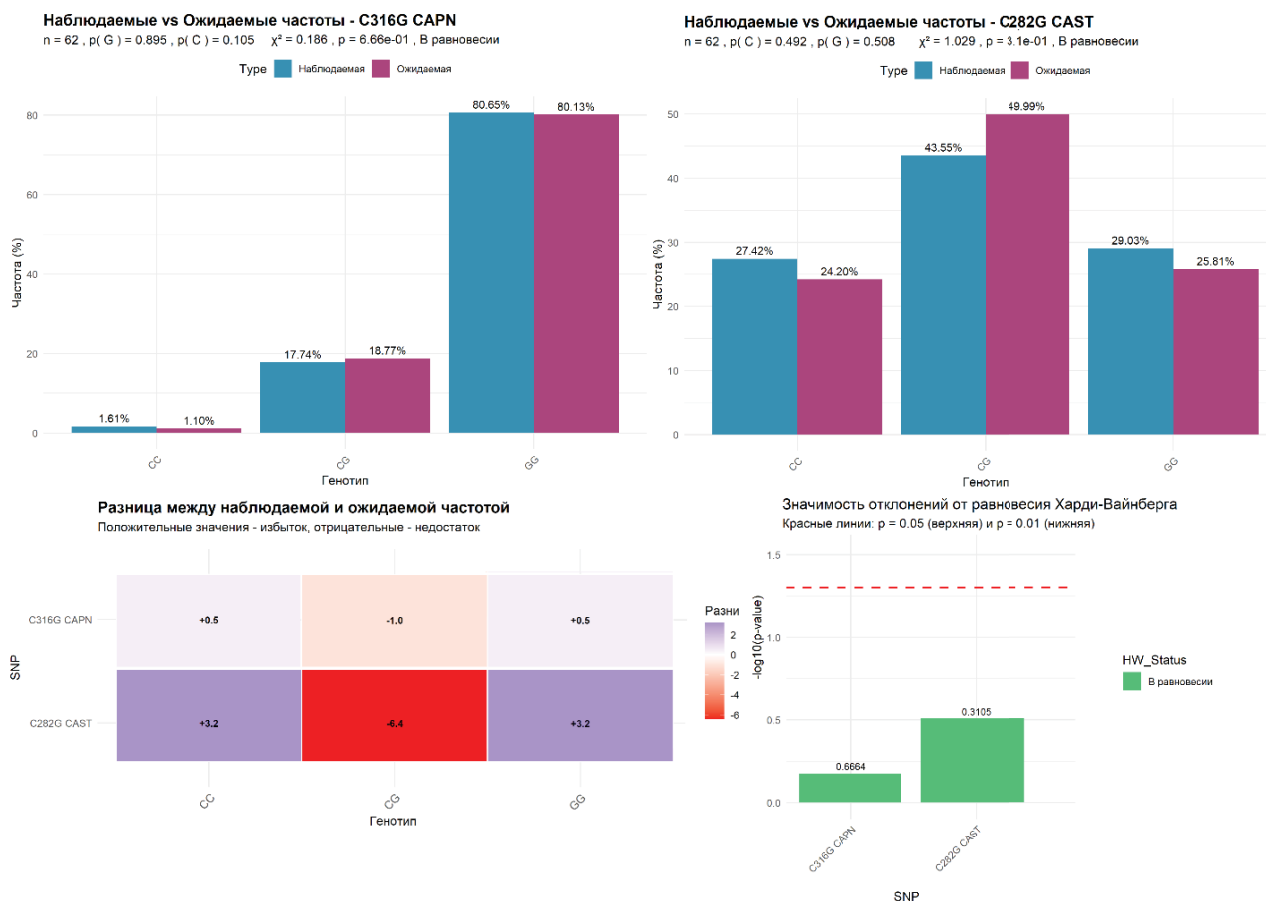


Рисунок 3 – Наблюдаемые и ожидаемые частоты генотипов исследуемых полиморфизмов генов

нирование частоты встречаемости аллеля G (89,5%) над аллелем C (10,5%). Полученные данные согласуются с результатами других авторов. Так, в работе Е. Н. Коноваловой с соавторами (2023) у абердин-ангусской породы также отмечалось преобладание генотипа GG по полиморфизму CAPN1_316, однако частота желательного генотипа была выше – 7,8% для быков и 8,6% – для коров [27]. В исследовании Е. Л. Романишко с соавторами (2022) у крупного рогатого скота мясного направления продуктивности частота предпочтительного аллеля по полиморфизму CAPN1 составила 0,1–0,3 [17].

Низкая частота желательного генотипа CC в изученной популяции калмыцкого скота указывает на необходимость целенаправленной селекционной работы по увеличению количества животных с данным генотипом. Известно, что ген *CAPN1* кодирует μ -кальпаин – основной фермент, участвующий в послеубойном протеолизе миофибриллярных белков и непосредственно влияющий на нежность мяса [28; 29]. В работе С. А. Bonilla et al. (2010) показана положительная ассоциация аллеля C полиморфизма CAPN1_316 с повышенной нежностью говядины в мексиканских популяциях крупного рогатого скота [14]. В исследованиях Плахтюковой и Селионовой (2022) на скоте казахской белоголовой породы также было выявлено влияние генотипа CC гена CAPN1 на показатели мясной продуктивности, при этом животные с желательным генотипом показали лучшие убойные качества [8].

Ген *CAST* является эндогенным ингибитором кальпаинов, регулирующим их протеолитическую активность и, следовательно, влияющим на процесс посмертного размягчения мышечной ткани [30]. Как показано в работе X. Li et al. (2013), в шведских популяциях крупного рогатого скота полиморфизмы гена *CAST* ассоциированы с цветом, мраморностью и влагоудерживающей способностью говядины [31].

Результаты нашего исследования по полиморфизму C282G гена *CAST* показали более равномерное распределение генотипов: CC – 27,4%, CG – 43,5%, GG – 29,0%. Тогда как частоты аллелей оказались практически идентичными (C – 49,2%, G – 50,8%). Сравнительный анализ выявил, что частота гетерозиготного генотипа CG (43,5%) была выше, чем у обоих гомозиготных генотипов. Преобладание гетерозиготного генотипа в исследуемой нами популяции калмыцкого скота характеризуется как потенциально благоприятный фактор, поскольку он обеспечивает оптимальный уровень ингибирования кальпаинов, позволяющего избежать как избыточного протеолиза, приводящего к чрезмерному размягчению, так и недостаточной протеолитической активности, обуславливающей жёсткость мяса. Согласно данным Е. Casas et al. (2006), оптимальное соотношение между протеолитической активностью μ -кальпаина и ингибирующим действием кальпастатина играет ключевую роль в формировании текстурных характеристик мяса [28]. В работе R. A. Curi et al. (2009) также показа-

но, что полиморфизмы генов *CAPN1* и *CAST* ассоциированы с мясными качествами у скота породы нелор и его помесей с *Bos taurus* [29].

Оценка соответствия распределения генотипов равновесию Харди-Вайнберга показала, что по обоим полиморфизмам отклонения наблюдаемых частот от ожидаемых не являются статистически значимыми ($P > 0,05$). По полиморфизму C316G гена *CAPN* выявлен незначительный избыток гомозиготных генотипов (CC и GG) – на 0,5% каждый и соответствующий дефицит гетерозиготного генотипа CG (1,0%). По полиморфизму C282G гена *CAST* отклонения были более выраженными: избыток гомозигот CC и GG составил 3,2% для каждого, а дефицит гетерозигот CG достиг 6,4%. Однако, несмотря на заметные отклонения, статистический анализ не выявил нарушения равновесия Харди-Вайнберга. Полученные результаты согласуются с данными

М. И. Selionova et al. (2020) о полиморфизме генов *CAST*, *GH*, *GDF9* у овец горно-алтайской породы, где также было показано соответствие распределения генотипов равновесию Харди-Вайнберга, что характерно для популяций, находящихся в стабильном состоянии [32]. Однако в работе Е. Н. Коноваловой с соавторами (2023) на абердин-ангусской породе отмечались некоторые отклонения от равновесия по отдельным полиморфизмам генов, что может быть связано с направленным отбором по продуктивным признакам [27].

Выводы. Таким образом, проведенное исследование подтверждает наличие генетического полиморфизма по генам *CAPN* и *CAST* в популяции калмыцкого скота и создаёт основу для дальнейших ассоциативных исследований с целью выявления наиболее эффективных маркеров для улучшения мясных качеств этой ценной отечественной породы.

Список источников

1. Шичкин Г. И., Бутусов Д. В., Сафина Г. Ф. Ежегодник по племенной работе в мясном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2023 год). М.: ФГБНУ ВНИИплем, 2024. 212 с.
2. Petrovic M., Selionova M. I., Petrović V. C. [et al.] The application of modern molecular techniques in animal selection // *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2018. Vol. 34, Is. 4. P. 371–386. DOI 10.2298/BAH1804371P.
3. Nkrumah J. D., Li C., Yu J. [et al.] Polymorphisms in the bovine leptin promoter associated with serum leptin concentration, growth, feed intake, feeding behavior, and measures of carcass merit1 // *Journal of Animal Science*. 2005. Vol. 83, № 1. P. 20–28. DOI 10.2527/2005.83120x.
4. Shin S. C., Chung E. R. Association of SNP Marker in the Leptin Gene with Carcass and Meat Quality Traits in Korean Cattle // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2007. Vol. 20, № 1. P. 1–6.
5. Di Stasio L., Destefanis G., Brugiapaglia A. [et al.] Polymorphism of the *GHR* gene in cattle and relationships with meat production and quality // *Animal Genetics*. 2005. Vol. 36, № 2. P. 138–140. DOI 10.1111/j.1365-2052.2005.01244.x.
6. Curi R. A., Chardulo L. A., Giusti J. [et al.] Assessment of GH1, CAPN1 and CAST polymorphisms as markers of carcass and meat traits in *Bos indicus* and *Bos Taurus*-*Bos indicus* cross beef cattle // *Meat Science*. 2010. Vol. 86, № 4. P. 915–920. DOI 10.1016/j.meatsci.2010.07.016.
7. Lee H. J., Jin S., Kim H.-J. [et al.] Validation Study of SNPs in CAPN1-CAST Genes on the Tenderness of Muscles (*Longissimus thoracis* and *Semimembranosus*) in Hanwoo (Korean Cattle) // *Animals*. 2019. Vol. 9, № 9. Art. 691. DOI 10.3390/ani9090691.
8. Plakhtyukova V., Selionova M. I. Influence of CAPN1 and GH Genotypes on Meat Productivity Indicators of Kazakh White-Headed Cattle // *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2021)*. 2022. P. 121–131. DOI 10.1007/978-3-030-91405-9_14.
9. Casas E., White S. N., Riley D. G. [et al.] Assessment of single nucleotide polymorphisms in genes residing on chromosomes 14 and 29 for association with carcass composition traits in *Bos indicus* cattle1,2 // *Journal of Animal Science*. 2005. Vol. 83, № 1. P. 13–19. DOI 10.2527/2005.83113x.
10. Iglesias P. P., Caffaro M. E., Amadio A. F. [et al.] CAPN1 markers in three Argentinean cattle breeds: Report of a new InDel polymorphism within intron 17 // *Molecular Biology Reports*. 2011. Vol. 38, № 3. P. 1645–1649. DOI 10.1007/s11033-010-0275-z.
11. Smith T. P., Casas E., Rexroad C. E. [et al.] Bovine CAPN1 maps to a region of BTA29 containing a quantitative trait locus for meat tenderness. // *Journal of Animal Science*. 2000. Vol. 78, № 10. P. 2589–2594. DOI 10.2527/2000.78102589x.
12. Miquel M. C., Villarreal E., Mezzadra C. [et al.] The association of CAPN1 316 marker genotypes with growth and meat quality traits of steers finished on pasture // *Genetics and Molecular Biology*. 2009. Vol. 32, № 3. P. 491–496. DOI 10.1590/s1415-47572009000300011.
13. Corva P., Soria L. A., Schor A. [et al.] Association of CAPN1 and CAST gene polymorphisms with meat tenderness in *Bos taurus* beef cattle from Argentina // *Genetics and Molecular Biology*. 2007. Vol. 30, № 4. P. 1064–1069. DOI 10.1590/S1415-47572007000600006.
14. Bonilla C. A., Rubio M. S., Rincon A. M. S. [et al.] Association of CAPN1 316, CAPN1 4751 and TG5 markers with bovine meat quality traits in Mexico // *Genetics and Molecular Research*. 2010. Vol. 9, № 4. P. 2395–2405. DOI 10.4238/vol9-4gmr959.
15. Седы Т. А., Преснякова А. К., Павлова И. Ю. [и др.] Полиморфизм гена кальпаина 1 CAPN1 530 в связи с мясной продуктивностью крупного рогатого скота герефордской и лимузинской пород // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36, № 11. С. 62–68. DOI 10.53859/02352451_2022_36_11_62. EDN RFEMWV.
16. Page B. T., Casa E., Heaton M. P. [et al.] Evaluation of single-nucleotide polymorphisms in CAPN1 for association with meat tenderness in cattle // *Journal of Animal Science*. 2002. Vol. 80, № 12. P. 3077–3085. DOI 10.2527/2002.80123077x.
17. Романишко Е. Л., Киреева А. И., Михайлова М. Е., Шейко Р. И. Исследование полиморфизма rs17872000 в генах кальпаина (CAPN1) и rs109221039 кальпастина (CAST) у крупного рогатого скота мясного направления продуктивности // *Молекулярная и прикладная генетика*. 2022. Т. 32. С. 88–96. DOI 10.47612/1999-9127-2022-32-88-96. EDN BHCDWBW.
18. Коновалова Е. Н., Евстафьева Л. В., Селионова М. И. [и др.] Связь полиморфизмов генов лептина и кальпаина-1 с эффективностью откорма и убойными качествами крупного рогатого скота мясных пород // *Молочное и мясное скотоводство*. 2024. № 2. С. 31–35. DOI 10.33943/MMS.2024.91.72.007. EDN QZREEF.
19. Casas E., Kehrl M. E. A Review of Selected Genes with Known Effects on Performance and Health of Cattle // *Frontiers in Veterinary Science*. 2016. Vol. 3. Art. 113. DOI 10.3389/fvets.2016.00113.

20. Bhat Z. F., Morton J. D., Mason S. L. [et al.] Role of calpain system in meat tenderness: A review // Food Science and Human Wellness. 2018. Vol. 7, № 3. P. 196–204. DOI 10.1016/j.fshw.2018.08.002.
21. Pringle T. D., Williams S. E., Lamb B. S. [et al.] Carcass Characteristics, the Calpain Proteinase System, and Aged Tenderness of Angus and Brahman Crossbred Steers // Journal of Animal Science. 1997. Vol. 75, № 11. P. 2955–2961. DOI 10.2527/1997.75112955x.
22. Enriquez-Valencia C. E., Pereira G. L., Malheiros J. M. [et al.] Effect of the g.98535683A > G SNP in the CAST gene on meat traits of Nellore beef cattle (*Bos indicus*) and their crosses with *Bos taurus* // Meat Science. 2017. Vol. 123. P. 64–66. DOI 10.1016/j.meatsci.2016.09.003.
23. Cônsolo N. R. B., Ferrari V. B., Mesquita L. G. [et al.] Zilpaterol hydrochloride improves beef yield, changes palatability traits, and increases calpain-calpastatin gene expression in Nellore heifers // Meat Science. 2016. Vol. 121. P. 375–381. DOI 10.1016/j.meatsci.2016.07.005.
24. Lee S.-H., Kim S. C., Chai H. H. [et al.] Mutations in calpastatin and μ -calpain are associated with meat tenderness, flavor and juiciness in Hanwoo (Korean cattle): Molecular modeling of the effects of substitutions in the calpastatin/ μ -calpain complex // Meat Science. 2014. Vol. 96, № 4. P. 1501–1508. DOI 10.1016/j.meatsci.2013.11.026.
25. Calvo J. H., Iguácel L. P., Kirinus J. K. [et al.] A new single nucleotide polymorphism in the calpastatin (CAST) gene associated with beef tenderness // Meat Science. 2014. Vol. 96, Is. 2, Part A. P. 775–782. DOI 10.1016/j.meatsci.2013.10.003.
26. Smith T., Thomas M. G., Bidner T. D. [et al.] Single nucleotide polymorphisms in Brahman steers and their association with carcass and tenderness traits // Genetics and Molecular Research : GMR. 2009. Vol. 8, № 1. P. 39–46. DOI 10.4238/vol8-1gmr537.
27. Коновалова Е. Н., Селионова М. И., Гладырь Е. А. [и др.] ДНК-анализ полиморфизма генов миостатина, лептина и кальпаина 1 у российской популяции крупного рогатого скота абердин-ангусской породы // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 4. С. 622–637. DOI 10.15389/agrobiology.2023.4.622rus. EDN KVFATF.
28. Casas E., White S. N., Wheeler T. L. [et al.] Effects of calpastatin and μ -calpain markers in beef cattle on tenderness traits // Journal of Animal Science. 2006. Vol. 84, Is. 3. P. 520–525. DOI 10.2527/2006.843520x.
29. Curi R. A., Chardulo L. A., Mason M. C. [et al.] Effect of single nucleotide polymorphisms of *CAPN1* and *CAST* genes on meat traits in Nellore beef cattle (*Bos indicus*) and in their crosses with *Bos taurus* // Animal Genetics. 2009. Vol. 40, Is. 4. P. 456–462. DOI 10.1111/j.1365-2052.2009.01859.x.
30. Hood J. L., Brooks W. H., Roszman T. L. Differential compartmentalization of the calpain/calpastatin network with the endoplasmic reticulum and Golgi apparatus // The Journal of Biological Chemistry. 2004. Vol. 279, № 41. P. 43126–43135. DOI 10.1074/jbc.M408100200.
31. Li X., Ekerljung M., Lundström K. [et al.] Association of polymorphisms at *DGAT1*, *leptin*, *SCD1*, *CAPN1* and *CAST* genes with color, marbling and water holding capacity in meat from beef cattle populations in Sweden // Meat Science. 2013. Vol. 94, Is. 2. P. 153–158. DOI 10.1016/j.meatsci.2013.01.010.
32. Selionova M. I., Chizhova L. N., Surzhikova E. S. [et al.] Polymorphism of *CAST*, *GH*, *GDF9* genes of Gorno-Altai sheep breed // Siberian Herald of Agricultural Science. 2020. Vol. 50, № 1. P. 92–100. DOI 10.26898/0370-8799-2020-1-11.

References

1. Shichkin G. I., Butusov D. V., Safina G. F. Ezhegodnik po plemennoj rabote v myasnom skotovodstve v hozyajstvakh Rossijskoj Federacii (2023 god). M. : FGBNU VNIImplem, 2024. 212 s.
2. Petrovic M., Selionova M. I., Petrović V. C. [et al.] The application of modern molecular techniques in animal selection // Biotechnology in Animal Husbandry. 2018. Vol. 34, Is. 4. P. 371–386. DOI 10.2298/BAH1804371P.
3. Nkrumah J. D., Li C., Yu J. [et al.] Polymorphisms in the bovine leptin promoter associated with serum leptin concentration, growth, feed intake, feeding behavior, and measures of carcass merit1 // Journal of Animal Science. 2005. Vol. 83, № 1. P. 20–28. DOI 10.2527/2005.83120x.
4. Shin S. C., Chung E. R. Association of SNP Marker in the Leptin Gene with Carcass and Meat Quality Traits in Korean Cattle // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2007. Vol. 20, № 1. P. 1–6.
5. Di Stasio L., Destefanis G., Brugiapaglia A. [et al.] Polymorphism of the *GHR* gene in cattle and relationships with meat production and quality // Animal Genetics. 2005. Vol. 36, № 2. P. 138–140. DOI 10.1111/j.1365-2052.2005.01244.x.
6. Curi R. A., Chardulo L. A., Giusti J. [et al.] Assessment of *GH1*, *CAPN1* and *CAST* polymorphisms as markers of carcass and meat traits in *Bos indicus* and *Bos Taurus*-*Bos indicus* cross beef cattle // Meat Science. 2010. Vol. 86, № 4. P. 915–920. DOI 10.1016/j.meatsci.2010.07.016.
7. Lee H. J., Jin S., Kim H.-J. [et al.] Validation Study of SNPs in *CAPN1*-*CAST* Genes on the Tenderness of Muscles (*Longissimus thoracis* and *Semimembranosus*) in Hanwoo (Korean Cattle) // Animals. 2019. Vol. 9, № 9. Art. 691. DOI 10.3390/ani9090691.
8. Plakhtyukova V., Selionova M. I. Influence of *CAPN1* and *GH* Genotypes on Meat Productivity Indicators of Kazakh White-Headed Cattle // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2021). 2022. P. 121–131. DOI 10.1007/978-3-030-91405-9_14.
9. Casas E., White S. N., Riley D. G. [et al.] Assessment of single nucleotide polymorphisms in genes residing on chromosomes 14 and 29 for association with carcass composition traits in *Bos indicus* cattle1,2 // Journal of Animal Science. 2005. Vol. 83, № 1. P. 13–19. DOI 10.2527/2005.83113x.
10. Iglesias P. P., Caffaro M. E., Amadio A. F. [et al.] *CAPN1* markers in three Argentinean cattle breeds: Report of a new InDel polymorphism within intron 17 // Molecular Biology Reports. 2011. Vol. 38, № 3. P. 1645–1649. DOI 10.1007/s11033-010-0275-z.
11. Smith T. P., Casas E., Rexroad C. E. [et al.] Bovine *CAPN1* maps to a region of BTA29 containing a quantitative trait locus for meat tenderness. // Journal of Animal Science. 2000. Vol. 78, № 10. P. 2589–2594. DOI 10.2527/2000.78102589x.
12. Miquel M. C., Villarreal E., Mezzadra C. [et al.] The association of *CAPN1* 316 marker genotypes with growth and meat quality traits of steers finished on pasture // Genetics and Molecular Biology. 2009. Vol. 32, № 3. P. 491–496. DOI 10.1590/s1415-47572009000300011.
13. Corva P., Soria L. A., Schor A. [et al.] Association of *CAPN1* and *CAST* gene polymorphisms with meat tenderness in *Bos taurus* beef cattle from Argentina // Genetics and Molecular Biology. 2007. Vol. 30, № 4. P. 1064–1069. DOI 10.1590/S1415-47572007000600006.
14. Bonilla C. A., Rubio M. S., Rincon A. M. S. [et al.] Association of *CAPN1* 316, *CAPN1* 4751 and *TG5* markers with bovine meat quality traits in Mexico // Genetics and Molecular Research. 2010. Vol. 9, № 4. P. 2395–2405. DOI 10.4238/vol9-4gmr959.

15. Sedykh T. A., Presnyakova A. K., Pavlova I. Yu. [i dr.] Polimorfizm gena kal'paina 1 CAPN1 530 v svyazi s myasnoj produktivnost'yu krupnogo rogatogo skota gerefordskoj i limuzinskoj porod // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. T. 36, № 11. S. 62–68. DOI 10.53859/02352451_2022_36_11_62. EDN RFEMWV.
16. Page B. T., Casa E., Heaton M. P. [et al.] Evaluation of single-nucleotide polymorphisms in CAPN1 for association with meat tenderness in cattle // Journal of Animal Science. 2002. Vol. 80, № 12. P. 3077–3085. DOI 10.2527/2002.80123077x.
17. Romanishko E. L., Kireeva A. I., Mikhajlova M. E., Shejko R. I. Issledovanie polimorfizma rs17872000 v genah kal'paina (CAPN1) i rs109221039 kal'pastatina (CAST) u krupnogo rogatogo skota myasnogo napravleniya produktivnosti // Molekulyarnaya i prikladnaya genetika. 2022. T. 32. S. 88–96. DOI 10.47612/1999-9127-2022-32-88-96. EDN BHCDBW.
18. Konovalova E. N., Evstaf'eva L. V., Selionova M. I. [i dr.] Svyaz' polimorfizmov genov leptina i kal'paina-1 s effektivnost'yu otkorma i ubojnymi kachestvami krupnogo rogatogo skota myasnyh porod // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2024. № 2. S. 31–35. DOI 10.33943/MMS.2024.91.72.007. EDN QZREEF.
19. Casas E., Kehrl M. E. A Review of Selected Genes with Known Effects on Performance and Health of Cattle // Frontiers in Veterinary Science. 2016. Vol. 3. Art. 113. DOI 10.3389/fvets.2016.00113.
20. Bhat Z. F., Morton J. D., Mason S. L. [et al.] Role of calpain system in meat tenderness: A review // Food Science and Human Wellness. 2018. Vol. 7, № 3. P. 196–204. DOI 10.1016/j.fshw.2018.08.002.
21. Pringle T. D., Williams S. E., Lamb B. S. [et al.] Carcass Characteristics, the Calpain Proteinase System, and Aged Tenderness of Angus and Brahman Crossbred Steers // Journal of Animal Science. 1997. Vol. 75, № 11. P. 2955–2961. DOI 10.2527/1997.75112955x.
22. Enriquez-Valencia C. E., Pereira G. L., Malheiros J. M. [et al.] Effect of the g.98535683A > G SNP in the CAST gene on meat traits of Nellore beef cattle (*Bos indicus*) and their crosses with *Bos taurus* // Meat Science. 2017. Vol. 123. P. 64–66. DOI 10.1016/j.meatsci.2016.09.003.
23. Cônsolo N. R. B., Ferrari V. B., Mesquita L. G. [et al.] Zilpaterol hydrochloride improves beef yield, changes palatability traits, and increases calpain-calpastatin gene expression in Nellore heifers // Meat Science. 2016. Vol. 121. P. 375–381. DOI 10.1016/j.meatsci.2016.07.005.
24. Lee S.-H., Kim S. C., Chai H. H. [et al.] Mutations in calpastatin and μ -calpain are associated with meat tenderness, flavor and juiciness in Hanwoo (Korean cattle): Molecular modeling of the effects of substitutions in the calpastatin/ μ -calpain complex // Meat Science. 2014. Vol. 96, № 4. P. 1501–1508. DOI 10.1016/j.meatsci.2013.11.026.
25. Calvo J. H., Iguácel L. P., Kirinus J. K. [et al.] A new single nucleotide polymorphism in the calpastatin (CAST) gene associated with beef tenderness // Meat Science. 2014. Vol. 96, Is. 2, Part A. P. 775–782. DOI 10.1016/j.meatsci.2013.10.003.
26. Smith T., Thomas M. G., Bidner T. D. [et al.] Single nucleotide polymorphisms in Brahman steers and their association with carcass and tenderness traits // Genetics and Molecular Research : GMR. 2009. Vol. 8, № 1. P. 39–46. DOI 10.4238/vol8-1gmr537.
27. Konovalova E. N., Selionova M. I., Gladyr' E. A. [i dr.] DNK-analiz polimorfizma genov miostatina, leptina i kal'paina 1 u rossijskoj populyacii krupnogo rogatogo skota aberdin-angusskoj porody // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2023. T. 58, № 4. S. 622–637. DOI 10.15389/agrobiology.2023.4.622rus. EDN KVFATF.
28. Casas E., White S. N., Wheeler T. L. [et al.] Effects of calpastatin and μ -calpain markers in beef cattle on tenderness traits // Journal of Animal Science. 2006. Vol. 84, Is. 3. P. 520–525. DOI 10.2527/2006.843520x.
29. Curi R. A., Chardulo L. A., Mason M. C. [et al.] Effect of single nucleotide polymorphisms of CAPN1 and CAST genes on meat traits in Nellore beef cattle (*Bos indicus*) and in their crosses with *Bos taurus* // Animal Genetics. 2009. Vol. 40, Is. 4. P. 456–462. DOI 10.1111/j.1365-2052.2009.01859.x.
30. Hood J. L., Brooks W. H., Roszman T. L. Differential compartmentalization of the calpain/calpastatin network with the endoplasmic reticulum and Golgi apparatus // The Journal of Biological Chemistry. 2004. Vol. 279, № 41. P. 43126–43135. DOI 10.1074/jbc.M408100200.
31. Li X., Ekerljung M., Lundström K. [et al.] Association of polymorphisms at DGAT1, leptin, SCD1, CAPN1 and CAST genes with color, marbling and water holding capacity in meat from beef cattle populations in Sweden // Meat Science. 2013. Vol. 94, Is. 2. P. 153–158. DOI 10.1016/j.meatsci.2013.01.010.
32. Selionova M. I., Chizhova L. N., Surzhikova E. S. [et al.] Polymorphism of CAST, GH, GDF9 genes of Gorno-Altai sheep breed // Siberian Herald of Agricultural Science. 2020. Vol. 50, № 1. P. 92–100. DOI 10.26898/0370-8799-2020-1-11.

Сведения об авторах

Арсланг Иванович Хахлинов – директор Регионального научно-производственного центра по воспроизводству сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова»; директор, Калмыцкий научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М. Б. Нармаева (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова», spm-код: 9568-5977.

Надежда Васильевна Чиминова – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии и животноводства, ведущий научный сотрудник Регионального научно-производственного центра по воспроизводству сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова», spm-код: 3221-7432.

Алтана Вадимовна Убушиева – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии и животноводства, ведущий научный сотрудник Регионального научно-производственного центра по воспроизводству сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова», spm-код: 7219-0185.

Виктория Саналовна Убушиева – старший преподаватель кафедры биотехнологии и животноводства, научный сотрудник Регионального научно-производственного центра по воспроизводству сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова», spm-код: 1991-8614.

Арслан Васильевич Эриднеев – заместитель директора по воспроизводству Регионального научно-производственного центра по воспроизводству сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова»; заместитель директора, Калмыцкий научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. М. Б. Нармаева (филиал) федераль-

ного государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова».

Information about the authors

Arslang I. Khakhlinov – Director of the Regional Research and Production Center for Reproduction of Farm Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov”; Director, Kalmyk Research Institute of Agriculture named after M. B. Narmaev (branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov”, spin-code: 9568-5977.

Nadezhda V. Chimidova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology and Animal Husbandry, Leading Research Officer of the Regional Research and Production Center for Reproduction of Farm Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov”, spin-code: 3221-7432.

Altana V. Ubushieva – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biotechnology and Animal Husbandry, Leading Research Officer of the Regional Research and Production Center for Reproduction of Farm Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov”, spin-code: 7219-0185.

Viktoriya S. Ubushieva – Senior Lecturer of the Department of Biotechnology and Animal Husbandry, Research Officer of the Regional Research and Production Center for Reproduction of Farm Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov”, spin-code: 1991-8614.

Arltan V. Eridneev – Deputy Director for Reproduction of the Regional Research and Production Center for Reproduction of Farm Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov”; Deputy Director, Kalmyk Research Institute of Agriculture named after M. B. Narmaev (branch) Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kalmyk State University named after B. B. Gorodovikov”.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ ФГБОУ ВО «ЯРОСЛАВСКИЙ ГАУ» В 2025 ГОДУ ВЫШЛА КОЛЛЕКТИВНАЯ МОНОГРАФИЯ

АВТОРЫ:

**Н. С. ФУРАЕВА, Е. А. ЗВЕРЕВА, С. С. ВОРОБЬЕВА, М. М. КОРЕНЕВ, В. И. ХРУСТАЛЕВА,
А. Е. КОЛГАНОВ, Н. А. ШАЕХОВА, С. И. СОКОЛОВА, И. В. САФРОНОВА**

СЕЛЕКЦИОННО-ПЛЕМЕННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ И СОХРАНЕНИЮ ЯРОСЛАВСКОЙ ПОРОДЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА 2024–2030 ГОДЫ

Селекционно-племенные мероприятия по совершенствованию и сохранению ярославской породы крупного рогатого скота в Российской Федерации на 2024–2030 годы разработаны с целью сохранения и совершенствования.

В мероприятиях проанализирована племенная база крупного рогатого скота ярославской породы в РФ, дана характеристика продуктивных и производственных показателей, проведена оценка экстерьера коров-первотёлок, сделан анализ генеалогической структуры породы, изучены селекционно-генетические параметры продуктивных признаков, даны рекомендации по совершенствованию и сохранению породы.

Монография подготовлена коллективом авторов с привлечением специалистов и руководителей сельхозпредприятий, Департаментов АПК и Министерств сельского хозяйства Ярославской, Ивановской, Тверской, Вологодской и Костромской областей, занимающихся разведением ярославской породы крупного рогатого скота; а также при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научно-исследовательской работы (рег. № 1024112200006-7-4.2.1).

Издание предназначено для руководителей и специалистов организаций по племенному и товарному животноводству, разводящих скот ярославской породы, научных сотрудников, преподавателей и обучающихся сельскохозяйственных вузов.

УДК 636.082.2; ББК 46.6:45.3; ISBN 978-5-98914-293-4; 254 СТР.

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:

**150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ»
e-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru**

Научная статья
 УДК 636.2.082.13:575.174
 doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.011

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ЯРОСЛАВСКОЙ ПОРОДЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Л. А. Калашникова¹, Н. В. Рыжова², А. Е. Калашников³, Я. А. Хабибрахманова⁴,
 Т. Б. Ганченкова⁵, М. В. Волкова-Оливейра⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, Лесные Поляны, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Евгеньевич Калашников,
 aekalashnikov@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1600-7357

Реферат. Генофонд ярославского скота под угрозой: активное скрещивание с голштинами размывает его генетическое своеобразие, чистопородное поголовье сокращается. Порода ценна адаптивностью и продуктивными качествами – потеря её уникальности была бы невосполнимой. Нужна объективная оценка генетической структуры с применением молекулярно-генетических маркеров (STR и SNP-чипов), чтобы разработать критерии породной принадлежности и повысить эффективность селекционных программ. В мире геномная селекция опирается на чипы Illumina и Affymetrix. Данная работа даёт референсную базу для них: унификация генотипирования микросателлитов, эталонные профили пород, валидация SNP, оптимизация алгоритмов, точная паспортизация по стандартам ЕЭК. Проведено исследование 823 голов с анализом по STR-локусам. Анализировались: общее и среднее число аллелей на локус, эффективное число аллелей, индекс Шеннона, наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность, коэффициент инбридинга. Для каждой породной группы определены свои аллельные профили и уровни гетерозиготности. Максимальное аллельное разнообразие отмечено в группе Y75–88; у чистопородных Y100 – умеренное, с равновесием Харди – Вайнберга. Три локуса дискриминативны: SPS115, TGLA126, BM2113. Выявлены маркеры для различения пород. В чистопородных группах разнообразие оптимальное. Популяции равновесны, но местами есть инбридинг. Создана база STR-профилей для идентификации особей, контроля происхождения, оценки степени родства, мониторинга разнообразия и стандартизации генотипирования. Показатели: аллелей на локус – 3,47–8,40, эффективных – до 4,53, индекс Шеннона – 1,1–1,6, ожидаемая гетерозиготность – 0,6–0,8, инбридинг – от –0,29 до +0,11. Эти результаты – основа для генетического мониторинга и селекции ярославской породы.

Ключевые слова: STR, порода, ярославская порода, крупный рогатый скот, дифференциация, генетические чипы

GENETIC DIFFERENTIATION OF THE YAROSLAVL CATTLE BREED

L. A. Kalashnikova¹, N. V. Ryzhova², A. E. Kalashnikov³, Ya. A. Khabibrakhmanova⁴,
 T. B. Ganchenkova⁵, M. V. Volkova-Oliveira⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6}All Russian Research Institute of Animal Breeding, Lesnye Polyany, Russia

Author responsible for the correspondence: Aleksandr E. Kalashnikov,
 aekalashnikov@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1600-7357

Abstract. The gene pool of Yaroslavl cattle is under threat: active crossbreeding with Holstein erodes its genetic identity, and the purebred population is declining. The breed is valuable for its adaptability and productive qualities – the loss of its uniqueness would be irreparable. An objective assessment of the genetic structure using molecular genetic markers (STR and SNP chips) is needed in order to develop breed criteria and increase the efficiency of breeding programs. In the world, genomic selection relies on Illumina and Affymetrix chips. This work provides a reference base for them: unification of microsatellite genotyping, reference breed profiles, SNP validation, optimization of algorithms, accurate certification according to EEC standards. A study of 823 heads was conducted with analysis by STR loci. Total and average number of alleles per locus, effective number of alleles, Shannon index, observed and expected heterozygosity, inbreeding coefficient were analyzed. For each breed group, its own allelic profiles and levels of heterozygosity were determined. The highest allelic diversity was found in Y75–88; purebred Y100 showed moderate diversity. Three loci were discriminative: SPS115, TGLA126, BM2113. Markers for breed differentiation have been identified. In purebred groups, the diversity was optimal. Populations are equilibrium, but there is inbreeding in some groups. A reference set of STR profiles (823 animals, 15 loci) and allele frequency tables were formed for individual identification, origin control, relatedness assessment, diversity monitoring and genotyping standardization. Indicators: alleles per locus – 3.47–8.40, effective – up to 4.53, Shannon index – 1.1–1.6, expected heterozygosity – 0.6–0.8, inbreeding – from –0.29 to +0.11. These results are the basis for genetic monitoring and selection of the Yaroslavl breed.

Keywords: STR, breed, Yaroslavl breed, cattle, differentiation, gene array

Введение. В современной геномной селекции крупного рогатого скота стандартные STR-маркеры уступают место SNP-чипам (BovineSNP50, BovineHD и др.) и методам массового параллельного секвенирования (NGS) с возможностью таргетного секвенирования низкого покрытия. Причины перехода связаны с ограниченной информативностью STR-панелей, сложностью унификации данных в рамках ЕАЭС (Решение Коллегии ЕЭК №74 от 17.12.2024). Подходы ISAG тоже меняются: внедряются панели SNP (ISAG100+100, ISAG-Interbull, GenoEx-PSE), используется минимум 300 маркеров, создаются новые референсные базы данных [1; 2–4]. NGS даёт экономически эффективное полногеномное секвенирование, выявление известных и новых SNP, глубину покрытия при target-low-pass 0,1–5×. Точность интерпретации зависит от корректной импутации на референтных образцах с покрытием 10–30× [5].

Ярославская порода крупного рогатого скота обладает ценными адаптивными и продуктивными характеристиками, но для её сохранения нужна надёжная генетическая поддержка. Референсная база на основе STR-анализа – ключевой этап перехода к SNP- и NGS-технологиям [6]. Референсная база ФГИАС ПР обеспечит совместимость данных в рамках ЕАЭС, поможет определить пороговые значения генетических параметров (частоты аллелей, гетерозиготность, инбридинг) для SNP-типирования, разработать защищённые генетические паспорта и внедрить автоматизированный подбор родительских пар с ИИ (как в STR/SNPmaeSTRo) [7–9].

Переход на SNP-технологии осложняется необходимостью импутации, однако использование животных в качестве референтной группы сохраняет преимущество данных и диагностическую ценность. Ожидаемые результаты: повышение надёжности племенного учёта, ускорение селекционного прогресса, укрепление конкурентоспособности породы, интеграция её через ФГИАС ПР в международную систему ICAR/Interbull. Создание референсной базы – сегодня стратегически важный шаг для сохранения генетического потенциала породы и развития племенной работы в России [3; 5; 7].

Цель работы – анализ референсной базы генетических показателей банка ДНК ярославской породы КРС на основе STR-анализа для последующего перехода к технологии SNP-чипов в соответствии с требованиями ЕЭК.

Материалы и методы. Объектом исследования служила выборка из 823 голов крупного рогатого скота, депонированная в криобанке ДНК ФГБНУ «ВНИИплем». Генотипирование по 15 микросателлитным локусам выполнено с использованием набора COrDIS Cattle (Россия). Концентрацию и чистоту ДНК определяли на спектрофотометре LuShang N500 (Китай). Продукты ПЦР разделяли капиллярным электрофорезом на приборе ABI Prism 3130 (Applied Biosystems, США) с внутренним стандартом S550 («Синтол»/COrDIS, Россия) [9].

В работе проанализированы следующие группы: чистопородные ярославские животные Y100 ($n = 40$); помеси с долей ярославской крови 75–88% ($n = 333$), 53–74% ($n = 56$), 50% ($n = 8$), 35–44% ($n = 4$) и 22–28% ($n = 3$); нетели YN ($n = 170$); быки-производители из

Ивановской области B_Iv ($n = 28$) и Ярославской области B_Ya ($n = 51$); голштинские коровы H ($n = 130$) в качестве сравнительного референта. Группы Y50 ($n = 8$), Y35–44 ($n = 4$), Y22–28 ($n = 3$) малочисленны; выводы по ним носят предварительный характер.

Биоматериал получен от племенных предприятий АО «Ярославское по племенной работе» (г. Ярославль) и АО «ГЦВ» (п. Быково, Московская область). Происхождение и долю кровности животных подтверждали по данным системы «Селэкс» (ПЛИНОР, Россия).

Фрагментный анализ рассчитан в программе GeneMapper v.5.0. Статистическую обработку вели с помощью пакета GenAIEx v.6.5 (Австралия) в среде MS Excel. Данные сверяли с референсными профилями международной базы ISAG [10].

Результаты и обсуждение. Для каждой выборки (ярославские разных кровностей и голштины) по 15 микросателлитным маркерам определяли стандартные популяционные показатели. В расчёт брали наблюдаемое и ожидаемое число аллелей N_a и N_e , индекс Шеннона I , гетерозиготность H_o , H_e , μH_e и коэффициент инбридинга F . Последний интерпретировали так: положительные значения – дефицит гетерозигот (инбридинг, ассортативность), отрицательные – их избыток (аутбридинг, отбор против гомозигот), нулевые – равновесие Харди-Вайнберга.

Между группами выявили заметные расхождения по параметрам N_a , N_e и I , что говорит о разной величине генетического потенциала. Оценка H_o и H_e также выявила неоднородность популяций в зависимости от доли ярославской крови. Анализ генетических параметров H_o , H_e выявил неоднородность популяций в зависимости от степени кровности. Обнаружены межгрупповые различия по коэффициенту инбридинга F , при этом использование скорректированных значений μH_e повысило достоверность сравнений на малых выборках.

В ряде групп животных отмечено снижение N_a и N_e , что свидетельствует о генетическом обеднении, которое возникло вследствие изоляции генетических линий. Повышенные значения параметра F свидетельствуют об ограниченности генофонда и интенсивной селекции, а это снизило адаптационный потенциал породы и увеличило риски накопления неблагоприятных сочетаний гомозигот. Избыток гетерозиготности, напротив, связан с подбором неродственных животных или селекционным давлением, что уменьшает гомозиготное состояние животных.

Анализ аллелофонда выявил различия в генетической структуре ярославского скота. В группе животных с высокой кровностью Y100 по параметрам N_a , N_e отмечено снижение генетического разнообразия, тогда как в группах Y50 и Y35–44 зафиксированы отрицательные значения F , указывающие на избыток гетерозигот, что обусловлено интенсивной гибридизацией с голштинскими быками. Группа нетелей YN по полиморфизму заняла промежуточное положение, в то время как быки-производители групп B_Iv, B_Ya показали достаточные значения N_e , но быки требуют постоянного мониторинга, т. к. их генофонд оказывает ключевое влияние на генетический потенциал будущего потомства.

Анализ генетического разнообразия также выявил низкие значения N_e в группах чистокровных (Y100) и помесных животных (Y53–74 и Y22–28). Значение N_e было определено в группе ярославских быков B_Ya (3,75), тогда как в группах нетелей YN, быков из Ивановской области B_Iv и голштин Н этот показатель был в диапазоне 3,98–4,32. B_Ya имеет уникальный аллельный профиль и значимый резерв. Число редких аллелей (с частотой встречаемости $\leq 25\%$) варьировалось от 1 (низкой кровности Y22–28) до 12 (высокой кровности Y75–88), а аллелей с частотой $\leq 50\%$ – от 4 до 29 соответственно. Группа животных высокой кровности Y75–88 характеризовалась максимальным разнообразием благодаря её большой численности, низкому инбридингу у животных в группе и широкому спектру использованных в ней быков.

Группа быков B_Ya ($N_e = 3,75$) показала умеренную полиморфность, что подтверждает ключевую роль быков в поддержании генетического разнообразия стада. Средние значения N_e у быков B_Iv и нетелей YN свидетельствовали о сбалансированном уровне полиморфизма, а референтная группа Н ($N_e = 4$) показала стабильную генетическую структуру [11] (табл. 1).

Межгрупповые различия наиболее выражены у гибридов разной кровности. Максимальные значения N_a , N_e , I получены для Y75–88 ($N_a = 8,4 \pm 0,53$; $N_e = 4,53 \pm 0,38$; $I = 1,64 \pm 0,08$) и близки к голштинским Н (соответственно, $7,53 \pm 0,43$; $3,98 \pm 0,31$; $1,54 \pm 0,08$). Наименьшие – у Y22–28 ($3,47 \pm 0,23$; $2,89 \pm 0,24$; $1,09 \pm 0,08$). Наибольшая наблюдаемая гетерозиготность H_o зафиксирована в группах промежуточной кровности – Y35–44 ($0,883 \pm 0,041$) и Y50 ($0,833 \pm 0,034$), несмотря на обеднённый аллельный спектр. Коэффициент инбридинга F отрицателен для Y35–44 ($-0,290 \pm 0,044$) и Y50 ($-0,163 \pm 0,031$), что говорит об избытке гетерозигот, тогда как у чистопородных Y100 F близок к нулю ($0,019 \pm 0,023$) – признак генетического равновесия и стабильности ярославского скота. Полученные данные свидетельствуют о сложной связи между кровностью, разнообразием и инбридингом. Снижение разнообразия сопряжено с уменьшением доли ярославской крови. Также прослеживается влияние селекционных мероприятий и инбридинга на популяционную структуру [12].

Выявлены различия между B_Ya и B_Iv: $N_e = 3,75$ против 4,08, число редких аллелей ($\leq 25\%$) – 5 против 2, число аллелей с частотой $\leq 50\%$ – 13 против 9. Здесь следует заметить, что группа низкокровных гибридов Y22–28 характеризовалась $N_a = 52$ и минимумом редких аллелей, что указывает на её генетическое обеднение. В то же время Y75–88 ($N_a = 126$, 12 редких аллелей) и Н ($N_a = 113$, высокий уровень редких аллелей) выступают как резервуары генетического разнообразия. Высокое разнообразие Y75–88 обусловлено оптимальным балансом кровности и минимальным инбридингом. Обеднение Y22–28 связано с ограниченным генофондом, интенсивным отбором и накоплением гомозиготных комбинаций. Высокая гетерозиготность в группах низкой кровности (Y35–44, Y50) при низком N_a может

быть результатом недавнего эффекта гибридизации или селективного давления (табл. 2) [13–15].

Анализ генетического разнообразия генетических групп КРС выявил неоднородную структуру с выделением стабильных (Y100, YN) и проблемных (Y35–44, Y50) групп. Установлены следующие показатели: диапазон N_a составил 3,47–8,4 (минимум – в Y22–28, максимум – в Y75–88). Выявлена немонотонная зависимость между уровнем голштинизации и аллельным разнообразием, указывающая на возможное сужение генофонда в помесных группах. Значения N_e находились в пределах 2,89–4,53, причём во всех группах $N_e < N_a$, что подтверждает неравномерное распределение аллелей. Индекс I варьировал от 1,09 до 1,64, при этом зафиксировано последовательное снижение в ряду Y75–88 – Y100 – Y50. Все значения I не превышали $\ln(N_a)$, что соответствует теоретическим ожиданиям.

Снижение N_a в группах молодых животных может быть обусловлено селекционным давлением, сокращением численности популяции [14] или недостаточным временем для накопления аллелей. Неравенство N_e и N_a указывает на структурную неоднородность популяций, а корреляция динамики индекса I с изменениями N_a подтверждает связь между числом аллелей и их равномерностью в популяциях [16]. Результаты согласуются с данными о зависимости аллельного пула от происхождения быков-производителей, достоверном снижении аллельного разнообразия в современных популяциях ($p < 0,001$) и ранее полученными показателями для породы: $N_a = 6,41$, $N_e = 3,58$, $F_{is} = -0,019$ [16–19].

При оценке соответствия равновесию Харди-Вайнберга установлены межгрупповые различия. В группе чистопородных животных Y100 преобладал избыток гетерозигот (BM1818: $F = -0,130$; CSSM66: $F = -0,059$), за исключением локусов BM2113 ($F = 0,228$) и SPS115 ($F = 0,229$). Группа Y75–88 характеризовалась значениями F , близкими к равновесным (BM1824: 0,021; TGLA227: $-0,022$). В группе Y53–74 отмечены разные отклонения: избыток гетерозигот по TGLA126 ($F = -0,312$) и INRA23 ($F = -0,199$) при дефиците по BM1824 ($F = 0,128$). Группа Y50 показала значительный избыток гетерозигот (BM1824: $F = -0,407$; TGLA122: $F = -0,219$; TGLA126: $F = -0,349$). Для группы Y35–44 по четырём локусам получены отрицательные значения F : $-0,524$ (TGLA126 и TGLA227) и $-0,455$ (BM1824 и ETH3), что говорит об избытке гетерозигот. Такие показатели отражали различия в генетической структуре и в интенсивности отбора между сравниваемыми выборками.

Для группы Y22–28 характерен широкий размах значений F : по локусам CSSM66 и ETH3 зафиксирован избыток гетерозигот ($-0,500$ и $-0,636$), тогда как по TGLA53 и ILSTS6, напротив, их дефицит (0,333). Группа нетелей YN показала равновесное состояние (TGLA122: 0,003; INRA23: $-0,035$). У быков из Ивановской области B_Iv отмечена контрастная картина: наблюдали положительные значения параметра F по локусу ETH225 (0,431) и отрицательные по TGLA122 ($-0,163$), при этом ярославские быки B_Ya показали умеренные значения (TGLA227: 0,170). В контрольной группе Н значения F в большинстве локусов были око-

Таблица 1 – Предварительные данные по аллельному разнообразию и гетерозиготности в группах животных ярославской породы различной кровности

Параметр	Y100 (чистая ярославская популяция)	Y75-88 (ярославская, 75-88%)	Y53-74 (ярославская, 53-74%)	Y50 (низкокровная группа)	Y35-44 (ярославская, 35-44%)	Y22-28 (ярославская, 22-28%)	YN (ярославские нетели)	B_IV (быки-про- изводители, Ивановская обл.)	B_Ya (быки- производи- тели)	H (голштинская порода, контроль)
Общее число аллелей (N_a)	105	126	107	75	63	52	94	69	82	113
Число аллелей с частотой $\geq 5\%$ (N_a Freq. $\geq 5\%$)	75	76	70	75	63	52	63	50	48	72
Аллели с ча- стотой $\leq 25\%$	9	12	11	5	5	1	9	2	5	11
Аллели с ча- стотой $\leq 50\%$	25	29	27	14	7	4	21	9	13	27

Таблица 2 – Обобщённые генетические показатели популяций крупного рогатого скота по микросателлитным маркерам

Популяционная группа	Среднее число аллелей (N_a / CV в долях от единицы)	Эффективное число аллелей (N_e / CV)	Индекс Шеннона (H / CV)	Наблюдаемая гетерозиготность (H_o / CV)	Ожидаемая гетерозиготность (H_e / CV)	Несмещённая ожидаемая гетерозиготность (μH_e / CV)	Коэффициент инбридинга (F / CV)
Y100	7,00 / 0,25	3,99 / 0,26	1,55 / 0,17	0,720 / 0,140	0,729 / 0,087	0,738 / 0,088	0,019 / 0,117
Y75-88	8,40 / 0,22	4,53 / 0,16	1,64 / 0,35	0,747 / 0,115	0,745 / 0,110	0,746 / 0,110	-0,0017 / 0,0228
Y53-74	7,13 / 0,20	3,74 / 0,11	1,49 / 0,27	0,760 / 0,132	0,703 / 0,086	0,716 / 0,086	-0,071 / 0,117*
Y50	5,00 / 0,14	3,78 / 0,09	1,41 / 0,29	0,833 / 0,122	0,717 / 0,086	0,764 / 0,092	-0,163 / 0,113
Y35-44	4,20 / 0,94	3,49 / 0,11	1,29 / 0,28	0,883 / 0,186	0,677 / 0,148	0,774 / 0,164	-0,290 / 0,177
Y22-28	3,47 / 0,28	2,89 / 0,39	1,09 / 0,29	0,710 / 0,437	0,610 / 0,217	0,733 / 0,226	-0,152 / 0,263*
YN	6,27 / 0,38	4,32 / 0,33	1,58 / 0,22	0,742 / 0,154	0,738 / 0,144	0,740 / 0,144	-0,0051 / 0,1046*
B_IV	4,60 / 0,35	4,08 / 0,36	1,54 / 0,20	0,677 / 0,210	0,730 / 0,120	0,744 / 0,120	0,073 / 0,212*
B_Ya	5,47 / 0,31	3,75 / 0,28	1,48 / 0,23	0,690 / 0,180	0,700 / 0,190	0,710 / 0,190	0,113 / 0,010
H	7,53 / 0,27	3,98 / 0,33	1,54 / 0,19	0,740 / 0,110	0,726 / 0,110	0,729 / 0,110	-0,074 / 0,021

Примечание: * – данные были нестабильны.

лонулевыми (BM1824: $-0,060$; TGLA53: $0,032$), лишь с незначительными отклонениями в локусе ETH3 ($-0,146$) и SPS115 ($-0,120$).

Выявлено, что полученные результаты в целом согласуются с ранее установленными параметрами генетического разнообразия для ярославской породы ($N_a = 6,41$; $N_e = 3,58$; $F_{is} = -0,019$). Выявленные в настоящей работе закономерности в целом соответствуют общепринятым наблюдениям зависимости состава аллельного пула от генетических линий быков-производителей ярославской породы [20; 21]. Наблюдаемые величины инбридинга F в контрольной группе голштин Н объясняется отсутствием значимой интрогрессии ярославского скота в голштинскую породу [22]. Установлено, что группы животных с промежуточной кровностью характеризовались наименьшими отклонениями от равновесия Харди-Вайнберга, в то время как выявленный избыток гетерозигот в группах Y35–44 и Y50 может быть обусловлен селекционными мероприятиями в племенных хозяйствах. Внимания заслуживают локусы SPS115, TGLA126 и ETH225, – для них выявили экстремальные значения F , а это требует дополнительного изучения [23] и дальнейших независимых исследований ярославской породы [24; 25].

Распределение аллелей по группам существенно различалось, что даёт возможность отличать чистопородных животных от помесей. В локусе SPS115 частота аллеля 248 п.н. у ярославских групп (Y75–88, Y53–74, YN, B_Iv) составила 62,5–70,6%, у B_Ya – 37,5%, у Н – 1,0%. Частота аллеля 252 п.н. у B_Ya и Н – 25,0% и 27,7% соответственно, в остальных группах – 3,8–10,2%. Таким образом, отсутствие аллеля 115 п.н. в локусе TGLA126 также служит дифференцирующим признаком для группы чистокровных быков B_Y (табл. 3).

В локусе BM2113 выявлена противоположная динамика для частот аллелей. Здесь аллель 135 п.н. в группах Y75–88, Y53–74, YN и B_Iv варьировал в диапазоне частот от 32,5% до 45,0%, тогда как в голштинах Н его частота составила 2,9%. Аллель 137 п.н. достигал в Н 42,9%, а в остальных группах менее 18,8%, – он также эффективен для дифференциации Н. В локусе ETH225 наблюдали частоты аллеля 148 п.н. во всех группах животных в диапазоне 21,4–43,8%. Группа Н отличалась повышенным содержанием аллеля 150 п.н. (30,4%), минимальной частотой аллеля 146 п.н. (1%), однако информативность локуса в целом другим маркерам уступала. По TGLA122 частота аллеля 143 п.н. варьировала от 34,1% (Y53–74) до 61,6% (YN); у Н – 36,2%; у B_Iv и B_Ya – по 25,0%. Аллель 147 п.н. отсутствовал в B_Iv; у B_Ya – 12,5%. Можно предположить, что совокупное использование изученных локусов эффективно дифференцирует популяции, при этом BM2113 и TGLA122 демонстрируют наиболее чёткие различия между группами.

В результате можно сделать заключение, что открыта эффективная система маркеров для определения породной принадлежности на основе комбинации трех локусов: SPS115 (248/252 п.н.), TGLA126 (115/117) и BM2113 (135/137).

В локусе TGLA126 (115/117) и BM2113 (135/137) такой набор маркеров позволил чётко дифференцировать

группы высококровных гибридных животных и быков из Ивановской области (Y75–88, Y53–74, YN, B_Iv) от групп быков B_Ya и потенциальных гибридных особей. Для гибридных животных характерно сочетание признаков обеих родительских линий: присутствие аллеля 248 п.н. в SPS115 с аллелем 115 п.н. в TGLA126, а также гетерозиготность по локусам BM2113 (135/137) и ETH225 (148/150).

Аллели BM1818 270 – $0,012$ – $0,088$; TGLA122 147 – $0,027$ – $0,125$, вероятно, возникли вследствие дрейфа и практически не влияют на разделение групп. Напротив, локус BM1818 хорошо дифференцировал выборки по трём аллельным вариантам – 262, 264 и 266 п.н. Аллель 262 п.н. демонстрировал стабильно высокие частоты во всех группах ($0,263$ – $0,500$). Аллель 264 п.н. характеризовался как потенциально дифференцирующий: в группах Y75–88, Y53–74, YN и B_Ya его частота составляла $0,116$ – $0,138$, в B_Iv достигала $0,250$, а в Н она снижалась до $0,031$. Аллель 266 п.н. являлся доминирующим во всех выборках ($0,375$ – $0,604$). Аллель 270 п.н. фиксировался как редкий ($0,012$ – $0,088$), что не вносит значимого вклада в межгрупповую дискриминацию.

Локус CSRM60 оказался слабо полиморфным: во всех группах доминировал аллель 102 п.н. ($0,450$ – $0,750$), аллель 92 п.н. встречался с умеренной частотой (Y75–88 – $0,163$; Y53–74 – $0,125$; YN – $0,268$; B_Iv – $0,250$; Н – $0,150$; B_Ya – аллель 92 отсутствует), других вариантов не обнаружено, поэтому его дискриминационная ценность низка.

По локусу BM1824 выделялись четыре аллеля – 178, 180, 182, 188 п.н. Частота 178 п.н. была сходной в Y75–88, B_Iv и Н ($0,163$ – $0,219$) и ниже – в Y53–74 и B_Ya ($0,089$ – $0,125$). Аллель 180 варьировал от $0,173$ до $0,313$ в Y75–88, B_Iv и Н и от $0,125$ до $0,174$ – в Y53–74 и B_Ya. Аллель 182 преобладал у быков из обеих областей ($0,313$ – $0,375$) против $0,134$ – $0,288$ в остальных группах. Наиболее выраженные межгрупповые различия дал аллель 188: у голштин – $0,431$, в Y53–74 – $0,333$, у нетелей – $0,411$, а в Y75–88 и группах быков – $0,188$ – $0,375$.

В локусе CSSM66 зафиксированы аллели 185, 189, 193 и 197 п.н. Вариант 185 чаще встречался в B_Iv – $43,8\%$, Н – $19,6\%$, в остальных выборках – $0,163$ – $0,250$. Частота 189 у нетелей составила $0,348$, у голштин – $0,300$, в Y53–74 – $0,218$, в Y75–88 и у ярославских быков – $0,100$ – $0,250$. Для аллеля 193 максимальные значения отмечены в Y75–88 ($0,288$) и Y53–74 ($0,153$), в прочих группах – $0,096$ – $0,250$. Аллель 197 варьировал от $0,096$ до $0,333$ и отсутствовал у B_Iv. Наибольшей дифференцирующей способностью среди аллелей CSSM66 обладал 185 п.н., разделяющий B_Iv и Н от остальных групп.

По локусу ETH10 доминировали два аллеля – 217 и 219 п.н. Аллель 217 чаще встречался в Y75–88 ($0,308$), Y53–74 ($0,249$), YN ($0,291$) и Н ($0,265$), у быков из обеих областей его частота была ниже ($0,063$ и $0,125$). Аллель 219, напротив, преобладал у быков (B_Iv – $0,313$, B_Ya – $0,250$) и голштин ($0,319$), в Y53–74 и YN его доля составляла $0,385$ и $0,391$, в Y75–88 – $0,487$.

В локусе ETH3 наибольший полиморфизм отмечен у голштин (аллели 113, 115, 117, 129 п.н.). Аллель

117 доминировал во всех группах (0,303–0,446), кроме Н (0,108). Частота 129 варьировала: Н – 0,258, Y53–74 – 0,237, Y75–88 – 0,138, YN – 0,125, B_Iv – 0,188, B_Ya – 0,375. Аллели 113 и 115 присутствовали исключительно у голштинов (0,265 и 0,431), что делает их надёжными маркерами этой группы.

По локусу TGLA227 выявлено пять аллелей – 81, 89, 91, 97, 99 п.н. Частота 81 составила 0,238 в Y75–88, 0,141 – в Y53–74, 0,107 – в YN, отсутствовала в B_Iv; у B_Ya – 12,5%; у Н – 8,1%. Аллель 89 преобладал в B_Iv (0,375) и Н (0,296), в остальных группах – 0,113–0,131. Аллель 91 отмечен в Y75–88 (0,200), Y53–74 (0,138), YN (0,223) и Н (0,069), в B_Iv – 0,063. Аллель 97 достигал 0,500 в B_Ya, 0,238 – в Y75–88, 0,212 – в Y53–74, 0,232 – в YN, 0,188 – в B_Iv и 0,039 – в Н. Аллель 99 присутствовал в Y53–74 (0,027), YN (0,036), B_Ya (0,125) и Н (0,284), отсутствуя в остальных группах. Наибольшую диагностическую ценность показали аллели 91 (для Y75–88, Y53–74, YN) и 99 (для Н и B_Ya).

В локусе TGLA53 аллель 154 чаще встречался в Y75–88 (0,325), YN (0,309), B_Iv (0,250), снижаясь до 0,225 (Y53–74), 0,125 (B_Ya) и 0,010 (Н). Аллель 160 наиболее распространён в B_Iv (0,375) и Y75–88 (0,338) и Н (0,246), в остальных группах – 0,125–0,246. Аллель 150 являлся уникальным маркером голштинов (0,422).

По локусу ILSTS6 основные аллели – 292, 294, 296 п.н. Аллель 292 встречался с высокой частотой во всех группах (0,221–0,327), включая быков (0,250). Аллель 294 достигал максимума у нетелей (0,411), в Y53–74 (0,294) и у голштинов (0,369), тогда как в Y75–88, B_Iv и B_Ya его частота была ниже (0,138, 0,125, 0,250 соответственно). Аллель 296 преобладал в Y75–88 (0,338) и Y53–74 (0,233), в остальных выборках – 0,073–0,250.

Маркеры BM1818 и BM1824 показали высокую информативность для породной идентификации. По BM1818 аллель 266 п.н. у ярославских животных регистрировали с частотой 37,5–53,6%; у нетелей YN – 53,6%; у голштинов Н – 60,4%. Аллель 262 у ярославского скота – 25,0–35,6%, у B_Ya – 50,0%, у Н – 26,5%. Аллель 264 давал умеренные различия (11,6–25,0% против 3,1% у Н). По BM1824 аллель 182 в ярославской породе встречался с частотой 13,4–37,5% (у голштинов в середине диапазона), аллель 188 колебался от 15,0% (Y75–88) до 41,1% (YN); у Н – 43,1%. Лocus BM1818 полиморфен, однако аллель 266 не породоспецифичен: у голштинов (0,604) выше, чем у ярославских групп (0,375–0,536). Для породной паспортизации BM1818 не рекомендуется.

В локусе BM2113 частота аллеля 135 п.н. у ярославских животных составила 32,5–50%, у голштинов – менее 2,9%; аллель 127 встречался с частотой 12,5–37,5% у ярославского скота и 18,1% – у голштинов. Лocus CSRM60 (аллель 102) давал высокие частоты у ярославского скота (45–75%) и 53,8% – у голштинов, но его информативность относительна. По ETH3 аллель 117 в ярославской популяции варьировал от 30,3 до 44,6% (у быков – 31,3–37,5%), у голштинов – равно 10,8%; аллель 129, напротив, у ярославского скота – 12,5–37,5%; у B_Ya – 37,5%; у Н – 25,8%. Таким образом, BM2113 и ETH3 оказались наиболее информативными для дифференциации.

По маркеру SPS115 частота аллеля 248 п.н. у ярославских животных колебалась от 37,5 до 70,6% (у нетелей – 62,5%, у быков – 37,5%), у голштинов – около 1%, что подтверждает его вспомогательную диагностическую ценность. Сходные межгрупповые различия зафиксированы также по локусам CSSM66, ETH10, ETH225, TGLA122, TGLA126, TGLA227, TGLA53, ILSTS6 и INRA23.

Частота аллеля 266 п.н. (BM1818) при снижении доли ярославской крови оставалась стабильно высокой (до 60,4% у Н). Частоты аллелей 117 (ETH3) и 248 (SPS115) сохранялись на высоком уровне во всех ярославских группах скота, включая быков. По локусам BM1824 и TGLA** прослеживалась корреляция между изменением частот аллелей и долей голштинской крови. Наибольшей общей информативностью обладает SPS115.

Практическая апробация STR-анализа на образцах криобанка подтвердила эффективность ряда маркеров для определения породной принадлежности. Ведущие дифференцирующие локусы: ETH3 (117 п.н.) и SPS115 (248 п.н.) – надёжные индикаторы (SPS115 дополнительно рекомендуется для контроля качества генотипирования); BM2113 (135 п.н.) эффективно определяет кровность; ETH225 (146 п.н.) хорошо дополняет систему. Для оценки уровня кровности также информативны BM1824, TGLA**, ETH225 и BM2113. При составлении генетических паспортов следует учитывать редкие аллели: BM1818 (270 п.н.), SPS115 (252 п.н.), CSSM66 (193/197 п.н.).

Выявленные закономерности обусловлены селекционным отбором, интрогрессией голштинской породы через быков и помесных матерей, стабильностью частот ETH3 и SPS115, а также вариабельностью BM1824 и TGLA**, отражающих динамику генетического материала при гибридизации.

Сравнение с литературой подтверждает значимость высокополиморфных локусов BM2113, TGLA53, TGLA122 [26], в настоящей работе для паспортизации рекомендованы SPS115, TGLA126, BM2113. Однако по TGLA126 и ETH225 наши аллельные профили расходятся с данными [22; 25; 27]. Группа чистопородных ярославских быков B_Ya показала высокое $N_e = 3,75$, что выше общепринятых популяционных показателей ($N_e \sim 3,58$, $Ar = 6,136$) и свидетельствует о важном генетическом резерве [22; 28; 29]. Для оценки породной принадлежности при голштинизации рекомендуется комплексный подход: кластерный расчёт F_{ST} по каждому STR-локусу, дополнительно по SNP, статистическая проверка различий частот (критерий Фишера, χ^2), оценка равновесия Харди-Вайнберга и формирование панелей маркеров с приватными аллелями для мониторинга на уровне субпопуляций [30; 31]. Методологическая основа работы базируется на принципах интерпретации базовых аллелей и аллельной приватности, рекомендованных FAO [32].

Разработанная референсная база данных по STR-локусам является основой для последующей интеграции генетической информации о ярославской породе в международную систему обмена данными. Для этого

Таблица 3 – Частоты базовых аллелей микросателлитных маркеров в популяциях крупного рогатого скота ярославской породы при различной доле кровности

Локус	Аллель, п.н.	Y75-88	Y53-74	YN	B_ Iv	B_ Ya	H
BM1818	262	0,263 (Ср.)*	0,356 (Выс.)	0,321 (Выс.)	0,250 (Ср.)	0,500 (Выс.)	0,265 (Ср.)
	264	0,138 (Пот.)	0,120 (Пот.)	0,116 (Пот.)	0,250 (Ср.)	0,125 (Пот.)	0,031 (Оч. н.)
	266	0,513 (Выс.)	0,479 (Выс.)	0,536 (Выс.)	0,438 (Выс.)	0,375 (Выс.)	0,604 (Выс.)
	270	0,088 (Н.)	0,038 (Оч. н.)	0,018 (Оч. н.)	0,063 (Н.)	–	0,012 (Оч. н.)
Bm1824	178	0,163 (Пот.)	0,163 (Пот.)	0,089 (Н.)	0,125 (Пот.)	0,125 (Пот.)	0,219 (Пот.)
	180	0,275 (Ср.)	0,174 (Пот.)	0,161 (Пот.)	0,313 (Ср.)	0,125 (Пот.)	0,173 (Пот.)
	182	0,288 (Ср.)	0,260 (Ср.)	0,134 (Пот.)	0,313 (Выс.)	0,375 (Выс.)	0,158 (Пот.)
	188	0,150 (Пот.)	0,333 (Выс.)	0,411 (Выс.)	0,188 (Пот.)	0,375 (Выс.)	0,431 (Выс.)
Bm2113	125	0,138 (Пот.)	0,196 (Пот.)	0,125 (Пот.)	0,125 (Пот.)	0,125 (Пот.)	0,118 (Пот.)
	127	0,225 (Ср.)	0,176 (Пот.)	0,348 (Выс.)	0,125 (Пот.)	0,375 (Выс.)	0,181 (Пот.)
	134	–	–	–	–	–	0,02 (Оч. н.)
	135	0,450 (Выс.)	0,325 (Выс.)	0,330 (Выс.)	0,438 (Выс.)	0,500 (Выс.)	0,029 (Н.)
CSRM60	137	0,113 (Пот.)	0,179 (Пот.)	0,098 (Н.)	0,188 (Пот.)	0,167 (Пот.)	0,429 (Выс.)
	92	0,163 (Пот.)	0,125 (Пот.)	0,268 (Ср.)	0,250 (Ср.)	–	0,150 (Пот.)
	102	0,450 (Выс.)	0,602 (Выс.)	0,545 (Выс.)	0,500 (Выс.)	0,750 (Выс.)	0,538 (Выс.)
	185	0,163 (Пот.)	0,192 (Пот.)	0,143 (Пот.)	0,438 (Выс.)	0,250 (Ср.)	0,196 (Пот.)
CSSM66	189	0,100 (Н.)	0,218 (Пот.)	0,348 (Выс.)	0,250 (Ср.)	0,250 (Ср.)	0,300 (Выс.)
	193	0,288 (Ср.)	0,153 (Пот.)	0,116 (Н.)	0,125 (Пот.)	0,250 (Ср.)	0,096 (Н.)
	197	0,188 (Пот.)	0,101 (Н.)	0,098 (Н.)	–	0,333 (Выс.)	0,096 (Н.)
	217	0,308 (Выс.)	0,249 (Ср.)	0,291 (Ср.)	0,063 (Н.)	0,125 (Пот.)	0,265 (Ср.)
ETH10	219	0,487 (Выс.)	0,385 (Выс.)	0,391 (Выс.)	0,313 (Выс.)	0,250 (Ср.)	0,319 (Выс.)
	146	0,113 (Пот.)	0,141 (Пот.)	0,054 (Н.)	0,250 (Ср.)	0,375 (Выс.)	0,010 (Н.)
	148	0,350 (Выс.)	0,245 (Ср.)	0,214 (Ср.)	0,438 (Выс.)	0,250 (Ср.)	0,415 (Выс.)
	150	0,200 (Пот.)	0,227 (Пот.)	0,339 (Выс.)	–	0,125 (Пот.)	0,304 (Выс.)

Продолжение таблицы 3

Локус	Аллель, п.н.	Y75-88	Y53-74	YN	V_iv	V_Ya	H
ETH3	113	–	–	–	–	–	0,265 (Ср.)
	115	–	–	–	–	–	0,431 (Выс.)
	117	0,325 (Выс.)	0,303 (Выс.)	0,446 (Выс.)	0,313 (Выс.)	0,375 (Выс.)	0,108 (Пот.)
SPS115	129	0,138 (Пот.)	0,237 (Пот.)	0,125 (Пот.)	0,188 (Пот.)	0,375 (Выс.)	0,258 (Выс.)
	248	0,688 (Выс.)	0,706 (Выс.)	0,625 (Выс.)	0,625 (Выс.)	0,375 (Выс.)	0,010 (Н.)
	252	0,038 (Н.)	0,102 (Н.)	0,080 (Н.)	–	0,250 (Ср.)	0,277 (Ср.)
TGLA122	143	0,413 (Выс.)	0,341 (Выс.)	0,616 (Выс.)	0,250 (Ср.)	0,250 (Ср.)	0,362 (Выс.)
	147	0,063 (Н.)	0,078 (Н.)	0,027 (Н.)	–	0,125 (Пот.)	0,027 (Н.)
TGLA126	115	0,413 (Выс.)	0,278 (Ср.)	0,357 (Выс.)	0,250 (Ср.)	0,375 (Выс.)	0,029 (Н.)
	117	0,363 (Выс.)	0,515 (Выс.)	0,411 (Выс.)	0,500 (Выс.)	0,250 (Ср.)	0,473 (Выс.)
TGLA227	81	0,238 (Ср.)	0,141 (Пот.)	0,107 (Н.)	–	0,125 (Пот.)	0,081 (Н.)
	89	0,113 (Пот.)	0,131 (Пот.)	0,116 (Пот.)	0,375 (Выс.)	–	0,296 (Выс.)
	91	0,200 (Ср.)	0,138 (Пот.)	0,223 (Ср.)	0,063 (Н.)	–	0,069 (Н.)
	97	0,238 (Ср.)	0,212 (Ср.)	0,232 (Ср.)	0,188 (Пот.)	0,500 (Выс.)	0,039 (Н.)
	99	–	0,027 (Н.)	0,036 (Н.)	–	0,125 (Пот.)	0,284 (Выс.)
TGLA53	150	–	–	–	–	–	0,422 (Выс.)
	154	0,325 (Выс.)	0,225 (Ср.)	0,309 (Выс.)	0,250 (Ср.)	0,125 (Пот.)	0,010 (Н.)
	160	0,338 (Выс.)	0,189 (Пот.)	0,173 (Пот.)	0,375 (Выс.)	0,125 (Пот.)	0,246 (Ср.)
ILSTS6	292	0,325 (Выс.)	0,221 (Ср.)	0,277 (Ср.)	0,250 (Ср.)	0,250 (Ср.)	0,327 (Выс.)
	294	0,138 (Пот.)	0,294 (Выс.)	0,411 (Выс.)	0,125 (Пот.)	0,250 (Ср.)	0,369 (Выс.)
	296	0,338 (Выс.)	0,233 (Ср.)	0,143 (Пот.)	0,125 (Пот.)	0,250 (Ср.)	0,073 (Н.)
INRA23	214	0,400 (Выс.)	0,390 (Ср.)	0,321 (Ср.)	0,25 (Пот.)	0,625 (Выс.)	0,362 (Ср.)

* Условные обозначения частот: Оч. н. – очень низкая (<0,05); Н. – низкая (0,05–0,14); Пот. – потенциально характерная (0,15–0,29); Ср. – средняя (0,30–0,44); Выс. – высокая (≥ 0,45).

необходимо обеспечить соответствие генотипических данных требованиям платформы GenoEx-PSE (Parentage SNP Exchange) Международной службы оценки быков (Interbull Centre), включая использование рекомендованной ISAG панели SNP-маркеров и соблюдение протоколов контроля качества данных ICAR. Регулярная (не реже 3-х раз в год) загрузка генотипов чистопородных животных в GenoEx-GDE (Genotype Data Exchange) позволит включить ярославскую породу в международные геномные оценки, что является критическим условием для конкурентоспособности и её признания на мировом уровне.

Выводы. Проведённое генотипирование чистопородных ярославских животных, гибридов разной кровности и голштинского референта позволило выявить следующие закономерности. У чистопородной группы Y100 отмечено обеднение генофонда – снижение эффективного числа аллелей и дефицит редких вариантов, что связано с малочисленностью популяции и интенсивным отбором. Напротив, группа гибридов с высокой долей ярославской крови (Y75–88) характеризовалась максимальным генетическим разнообразием благодаря большому поголовью и широкому спектру использованных быков.

Особого внимания заслуживает группа быков-производителей В_Ya, обладающая уникальным аллельным профилем и эффективным числом аллелей ($N_e = 3,75$), что подтверждает их роль как генетического резерва породы. В группах с пониженной кровностью (Y22–28, Y35–44, Y50) – предварительно отмечен из-

быток гетерозигот, вероятно, обусловленный недавней гибридизацией. Отклонения от равновесного состояния Харди – Вайнберга в изученных выборках связаны с инбридингом, аутбридингом и направленным селекционным давлением.

Установлена дифференцирующая способность маркеров SPS115, TGLA126, BM2113, дополнительно ETH3, рекомендуемых для породной паспортизации и оценки доли кровности у племенных животных. Избыток гетерозигот в группах Y35–44 и Y50 прямо указывает на интенсивное скрещивание с голштинскими быками. Выявленные закономерности подтверждают необходимость систематического мониторинга генетического состояния ярославской породы. Разработанные маркерные панели (SPS115, TGLA126, BM2113) обеспечивают надёжную идентификацию породной принадлежности и должны быть включены в обязательную программу селекционного контроля.

Благодарности. Авторы выражают признательность Министерству сельского хозяйства Российской Федерации за финансовое обеспечение и организационную поддержку работы в рамках государственного задания № НИОКТР 126022417930-3 по теме «Проведение исследований по генетической характеристике отечественных пород крупного рогатого скота на основе STR-маркеров генома с целью разработки критериев определения породной принадлежности животных». Все манипуляции с биологическим материалом выполняли в соответствии с этическими требованиями. Конфликт интересов отсутствует.

Список источников

1. КонсультантПлюс: официальный сайт // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354514/ (дата обращения: 17.12.2024).
2. Евразийская экономическая комиссия: унификация процессов апробации селекционных достижений в животноводстве // Официальный сайт ЕЭК. URL: <https://eec.eaeunion.org/en/news/gosudarstva-eaes-unifitsiruyut-protsessy-aprobatcii-selektionnykh-dostizheniy-v-zhivotnovodstve-i-o/> (дата обращения: 09.07.2026).
3. McClure M. C., McCarthy J., Flynn P. [et al.] SNP Data Quality Control in a National Beef and Dairy Cattle System and Highly Accurate SNP Based Parentage Verification and Identification // *Frontiers in Genetics*. 2018. Vol. 9. Art. 84. DOI 10.3389/fgene.2018.00084.
4. Allendorf F. W. Genetics and the conservation of natural populations: Allozymes to genomes // *Molecular Ecology*. 2017. Vol. 26 (2). P. 420–430. DOI 10.1111/mec.13948.
5. Jiang Y., Song H., Gao H., Zhang Q. Exploring the optimal strategy of imputation from SNP array to whole-genome sequencing data in farm animals // *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13. DOI 10.3389/fgene.2022.963654.
6. Fabbri M. C., Proto G. G., Tiezzi F. [et al.] Key genomic regions identified through selection signatures distinguish cattle breeds reared in Sardinia Island // *BMC Genomics*. 2025. Vol. 26. Art. 995. DOI 10.1186/s12864-025-12204-6.
7. Nurtrisha W. A., Ramadani L., Fa'rifah R. Y. [et al.] Artificial Intelligence for Precision Livestock Farming: A Systematic Review of Applications, Models, and Evaluation Metrics // *JUSIFO (Jurnal Sistem Informasi)*. 2025. Vol. 11, № 2. P. 121–132. DOI 10.19109/jusifo.v11i2.31179.
8. Ducrocq V. Development of Genomic Selection in Dairy Cattle in Two Emerging Countries: South Africa and India // 68. Annual Meeting of the European Association for Animal Production (EAAP). Tallinn, Estonia : Wageningen Academic Publishers, 2017.
9. Калашникова Л. А., Новиков А. А., Калашников А. Е. [и др.] Методические рекомендации по стандартным методам генетической идентификации и оценке достоверности происхождения животных. Изд. 2, доп. Лесные Поляны : Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, 2025. 168 с. EDN VSWGXE.
10. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update // *Bioinformatics*. 2012. Vol. 28, Is. 19. P. 2537–2539. DOI 10.1093/bioinformatics/bts460.
11. Абдельманова А. С., Форнара М. С., Бакоев Н. Ф., Зиновьева Н. А. Идентификация полиморфизмов локуса BoLA-DRB3.2 в образцах черно-пестрого скота разных временных периодов // *Аграрная наука*. 2024. № 12. С. 104–108. DOI 10.32634/0869-8155-2024-389-12-104-108. EDN GCXRRV.
12. Гонтов М. Е., Кольцов Д. Н., Дмитриева В. И. Объективный способ сохранения генов отечественных малочисленных пород скота // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2023. № 4. С. 78–81. DOI 10.31857/2500-2082/2023/4/78-81. EDN DLNNJD.
13. Alexandre P. A., Li Y., Hine B. C. [et al.] Bias, dispersion, and accuracy of genomic predictions for feedlot and carcass traits in Australian Angus steers // *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2021. Vol. 53. Art. 77. DOI 10.1186/s12711-021-00673-8.

14. Cartuche-Macas L. F., Gutierrez-Reinoso M. A., Chacón E. [et al.] Ecuadorian Holstein-Friesian cattle paternal lineages: Demographic structure, inbreeding evolution, and genetic diversity // PloS One. 2025. Vol. 20 (2). Art. e0318730. DOI 10.1371/journal.pone.0318730.
15. Eusebi P. G., Martinez A., Cortes O. Genomic Tools for Effective Conservation of Livestock Breed Diversity // Diversity. 2020. Vol. 12, Is. 1. Art. 8. DOI 10.3390/d12010008.
16. Abdelmanova A. S., Kharzinova V. R., Volkova V. V. [et al.] Genetic Diversity of Historical and Modern Populations of Russian Cattle Breeds Revealed by Microsatellite Analysis // Genes. 2020. Vol. 11, Is. 8. Art. 940. DOI 10.3390/genes11080940.
17. Зиновьева Н. А., Доцев А. В., Сермягин А. А. [и др.] Изучение генетического разнообразия и популяционной структуры российских пород крупного рогатого скота с использованием полногеномного анализа SNP // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 6. С. 788–800. DOI 10.15389/agrobiology.2016.6.788rus. EDN XGVQXZ.
18. Ruvinskiy D., Igoshin A., Yurchenko A. [et al.] Resequencing the Yaroslavl cattle genomes reveals signatures of selection and a rare haplotype on BTA28 likely to be related to breed phenotypes // Animal Genetics. 2022. Vol. 53, Is. 5. P. 680–684. DOI 10.1111/age.13230.
19. Weir B. S., Cockerham C. C. Estimating F -Statistics for the Analysis of Population Structure // Evolution; international journal of organic evolution. 1984. Vol. 38, Is. 6. P. 1358–1370. DOI 10.1111/j.1558-5646.1984.tb05657.x.
20. Чернецова Н. В. Генетический мониторинг использования быков-производителей ярославской породы : 06.02.01 – Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных : дис. ... канд. биол. наук / Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела. п. Лесные Поляны Московской обл., 2009. 118 с. EDN QENGTR.
21. Абдельманова А. С., Мишина А. И., Волкова В. В. [и др.] Сравнительный анализ аллелофонда современных и исторических образцов ярославской и холмогорской пород крупного рогатого скота по микросателлитам // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии : сб. тезисов докладов 20-й Всероссийской конференции молодых учёных, посвященной памяти академика РАСХН Георгия Сергеевича Муромцева, Москва, 27–29 октября 2020 года. М. : ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», 2020. С. 87–88. DOI 10.48397/ARRIAB.2020.20.049. EDN YRGNTS.
22. Ильина А. В., Абрамова М. В., Зырянова С. В. [и др.] Полиморфизм микросателлитных локусов ярославского скота в стадах различного селекционного значения // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 4 (73). С. 198–206. DOI 10.31677/2072-6724-2024-73-4-198-206. EDN GRQINL.
23. Зиновьева Н. А., Сермягин А. А., Доцев А. В. [и др.] Генетические ресурсы животных: развитие исследований аллелофонда российских пород крупного рогатого скота – миниобзор // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 4. С. 631–641. DOI 10.15389/agrobiology.2019.4.631rus. EDN FCIGOD.
24. Зиновьева Н. А., Абдельманова А. С., Доцев А. В. [и др.] Сравнительное исследование геномной архитектуры современных и исторических образцов двух российских пород крупного рогатого скота // Биотехнология: состояние и перспективы развития : материалы международного конгресса, Москва, 26–29 октября 2021 года. Вып. 19. М. : ООО «Экспо-биоим-технологии», 2021. С. 338–340. DOI 10.37747/2312-640X-2021-19-338-340. EDN LBZQOQ.
25. Абдельманова А. С., Волкова В. В., Доцев А. В., Зиновьева Н. А. Характеристика генетического разнообразия современной и архивной популяций крупного рогатого скота черно-пестрой породы с использованием микросателлитных маркеров // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 2. С. 34–38. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10207. EDN NSDGGW.
26. Абдельманова А. С., Денискова Т. Е., Волкова В. В. [и др.] Сравнительная оценка уровня геномного инбридинга у пород крупного рогатого скота, находящихся под различным селекционным давлением // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 9. С. 48–53. DOI 10.53859/02352451_2023_37_9_48. EDN IWGZYK.
27. Шаталина О. С., Ткаченко И. В., Ярышкин А. А. Генетическая структура популяции голштинизированного черно-пестрого скота по микросателлитным локусам // Генетика. 2021. Т. 57, № 2. С. 205–213. DOI 10.31857/S0016675821020090. EDN HUEAQD.
28. Тамарова Р. В. Состояние и перспективы развития племенного молочного скотоводства в Ярославской области // Вестник АПК Верхневолжья. 2011. № 1 (13). С. 43–48. EDN OIVYVV.
29. Абдельманова А. С., Харзинова В. Р., Форнара М. С. [и др.] Оценка генетических взаимосвязей пород крупного рогатого скота черно-пестрого корня с предковыми популяциями на основе полногеномного SNP-генотипирования современных и музейных образцов // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59, № 4. С. 605–619. DOI 10.15389/agrobiology.2024.4.605rus. EDN WEHODK.
30. Crow J. F. Wright and Fisher on Inbreeding and Random Drift // Genetics. 2010. Vol. 184, Is. 3. P. 609–611. DOI 10.1534/genetics.109.110023.
31. Chakraborty R. Analysis of Genetic Structure of Populations: Meaning, Methods, and Implications // Human Population Genetics: A Centennial Tribute to J. B. S. Haldane. 1993. P. 189–206.
32. Weir B. S. Estimating F -Statistics: A Historical View // Philosophy of Science. 2012. Vol. 79, Is. 5. P. 637–643. DOI 10.1086/667904.

References

1. Konsul'tantPlyus: oficial'nyj sajt // Konsul'tantPlyus. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354514/\(data_obrashcheniya: 17.12.2024\)](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354514/(data_obrashcheniya: 17.12.2024)).
2. Evrazijskaya ekonomicheskaya komissiya: unifikaciya processov aprobacii selekcionnyh dostizhenij v zhivotnovodstve // Oficial'nyj sajt EEK. URL: <https://eec.eaeunion.org/en/news/gosudarstva-eaes-unifitsiruyut-protsessy-aprobatsii-selektsionnykh-dostizheniy-v-zhivotnovodstve-i-o/> (data_obrashcheniya: 09.07.2026).
3. McClure M. C., McCarthy J., Flynn P. [et al.] SNP Data Quality Control in a National Beef and Dairy Cattle System and Highly Accurate SNP Based Parentage Verification and Identification // Frontiers in Genetics. 2018. Vol. 9. Art. 84. DOI 10.3389/fgene.2018.00084.
4. Allendorf F. W. Genetics and the conservation of natural populations: Allozymes to genomes // Molecular Ecology. 2017. Vol. 26 (2). P. 420–430. DOI 10.1111/mec.13948.
5. Jiang Y., Song H., Gao H., Zhang Q. Exploring the optimal strategy of imputation from SNP array to whole-genome sequencing data in farm animals // Frontiers in Genetics. 2022. Vol. 13. DOI 10.3389/fgene.2022.963654.

6. Fabbri M. C., Proto G. G., Tiezzi F. [et al.] Key genomic regions identified through selection signatures distinguish cattle breeds reared in Sardinia Island // BMC Genomics. 2025. Vol. 26. Art. 995. DOI 10.1186/s12864-025-12204-6.
7. Nurtrisha W. A., Ramadani L., Fa'rifah R. Y. [et al.] Artificial Intelligence for Precision Livestock Farming: A Systematic Review of Applications, Models, and Evaluation Metrics // JUSIFO (Jurnal Sistem Informasi). 2025. Vol. 11, № 2. P. 121–132. DOI 10.19109/jusifo.v11i2.31179.
8. Ducrocq V. Development of Genomic Selection in Dairy Cattle in Two Emerging Countries: South Africa and India // 68. Annual Meeting of the European Association for Animal Production (EAAP). Tallinn, Estonia : Wageningen Academic Publishers, 2017.
9. Kalashnikova L. A., Novikov A. A., Kalashnikov A. E. [i dr.] Metodicheskie rekomendacii po standartnym metodam geneticheskoy identifikacii i ocenke dostovernosti proiskhozhdeniya zhivotnyh. Izd. 2, dop. Lesnye Polyany : Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut plemennogo dela, 2025. 168 s. EDN VSWGXE.
10. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update // Bioinformatics. 2012. Vol. 28, Is. 19. P. 2537–2539. DOI 10.1093/bioinformatics/bts460.
11. Abdel'manova A. S., Fornara M. S., Bakoev N. F., Zinov'eva N. A. Identifikaciya polimorfizmov lokusa BoLA-DRB3.2 v obrazcah cherno-pestrogo skota raznyh vremennyh periodov // Agrarnaya nauka. 2024. № 12. S. 104–108. DOI 10.32634/0869-8155-2024-389-12-104-108. EDN GCXRRV.
12. Gontov M. E., Kol'tsov D. N., Dmitrieva V. I. Ob'ektivnyj sposob sohraneniya genov otechestvennyh malochislennyh porod skota // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2023. № 4. S. 78–81. DOI 10.31857/2500-2082/2023/4/78-81. EDN DLNNJD.
13. Alexandre P. A., Li Y., Hine B. C. [et al.] Bias, dispersion, and accuracy of genomic predictions for feedlot and carcass traits in Australian Angus steers // Genetics, Selection, Evolution: GSE. 2021. Vol. 53. Art. 77. DOI 10.1186/s12711-021-00673-8.
14. Cartuche-Macas L. F., Gutierrez-Reinoso M. A., Chacón E. [et al.] Ecuadorian Holstein-Friesian cattle paternal lineages: Demographic structure, inbreeding evolution, and genetic diversity // PLoS One. 2025. Vol. 20 (2). Art. e0318730. DOI 10.1371/journal.pone.0318730.
15. Eusebi P. G., Martinez A., Cortes O. Genomic Tools for Effective Conservation of Livestock Breed Diversity // Diversity. 2020. Vol. 12, Is. 1. Art. 8. DOI 10.3390/d12010008.
16. Abdelmanova A. S., Kharzinova V. R., Volkova V. V. [et al.] Genetic Diversity of Historical and Modern Populations of Russian Cattle Breeds Revealed by Microsatellite Analysis // Genes. 2020. Vol. 11, Is. 8. Art. 940. DOI 10.3390/genes11080940.
17. Zinov'eva N. A., Dotsev A. V., Sermiyagin A. A. [i dr.] Izuchenie geneticheskogo raznoobraziya i populyacionnoj struktury Rossijskikh porod krupnogo rogatogo skota s ispol'zovaniem polnogenomnogo analiza SNP // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2016. T. 51, № 6. S. 788–800. DOI 10.15389/agrobiology.2016.6.788rus. EDN XGVQXZ.
18. Ruvinskiy D., Igoshin A., Yurchenko A. [et al.] Resequencing the Yaroslavl cattle genomes reveals signatures of selection and a rare haplotype on BTA28 likely to be related to breed phenotypes // Animal Genetics. 2022. Vol. 53, Is. 5. P. 680–684. DOI 10.1111/age.13230.
19. Weir B. S., Cockerham C. C. Estimating F -Statistics for the Analysis of Population Structure // Evolution; international journal of organic evolution. 1984. Vol. 38, Is. 6. P. 1358–1370. DOI 10.1111/j.1558-5646.1984.tb05657.x.
20. Chernetsova N. V. Geneticheskij monitoring ispol'zovaniya bykov-proizvoditelej yaroslavskoj porody : 06.02.01 – Diagnostika boleznej i terapiya zhivotnyh, patologiya, onkologiya i morfologiya zhivotnyh : dis. ... kand. biol. nauk / Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut plemennogo dela. p. Lesnye Polyany Moskovskoj obl., 2009. 118 s. EDN QEHGTR.
21. Abdel'manova A. S., Mishina A. I., Volkova V. V. [i dr.] Sravnitel'nyj analiz allelofonda sovremennyh i istoricheskikh obrazcov yaroslavskoj i holmogorskoj porod krupnogo rogatogo skota po mikrosatelitam // Biotekhnologiya v rastenievodstve, zhivotnovodstve i sel'skohozyajstvennoj mikrobiologii : sb. tezisev dokladov 20-j Vserossijskoj konferencii molodyh uchonyh, posvyashchennoj pamyati akademika RASHN Georgiya Sergeevicha Muromtseva, Moskva, 27–29 oktyabrya 2020 goda. M. : FGBNU «Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut sel'skohozyajstvennoj biotekhnologii», 2020. S. 87–88. DOI 10.48397/ARRIAB.2020.20.049. EDN YRGNTS.
22. Il'ina A. V., Abramova M. V., Zyryanova S. V. [i dr.] Polimorfizm mikrosatelitnyh lokusov yaroslavskogo skota v stadah razlichnogo selekcionnogo znacheniya // Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet). 2024. № 4 (73). S. 198–206. DOI 10.31677/2072-6724-2024-73-4-198-206. EDN GRQINL.
23. Zinov'eva N. A., Sermiyagin A. A., Dotsev A. V. [i dr.] Geneticheskie resursy zhivotnyh: razvitie issledovanij allelofonda Rossijskikh porod krupnogo rogatogo skota – miniobzor // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2019. T. 54, № 4. S. 631–641. DOI 10.15389/agrobiology.2019.4.631rus. EDN FCIGOD.
24. Zinov'eva N. A., Abdel'manova A. S., Dotsev A. V. [i dr.] Sravnitel'noe issledovanie genomnoj arhitektury sovremennyh i istoricheskikh obrazcov dvuh Rossijskikh porod krupnogo rogatogo skota // Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya : materialy mezhdunarodnogo kongressa, Moskva, 26–29 oktyabrya 2021 goda. Vyp. 19. M. : OOO «Ekspo-biohim-tehnologii», 2021. S. 338–340. DOI 10.37747/2312-640X-2021-19-338-340. EDN LBZQOQ.
25. Abdel'manova A. S., Volkova V. V., Dotsev A. V., Zinov'eva N. A. Harakteristika geneticheskogo raznoobraziya sovremennoj i arhivnoj populyacij krupnogo rogatogo skota cherno-pestrogoj porody s ispol'zovaniem mikrosatelitnyh markerov // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 2. S. 34–38. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10207. EDN NSDGWG.
26. Abdel'manova A. S., Deniskova T. E., Volkova V. V. [i dr.] Sravnitel'naya ocenka urovnya genomnogo inbridinga u porod krupnogo rogatogo skota, nahodyashchih'sya pod razlichnym selekcionnym davleniem // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37, № 9. S. 48–53. DOI 10.53859/02352451_2023_37_9_48. EDN IWGZYK.
27. Shatalina O. S., Tkachenko I. V., Yaryshkin A. A. Geneticheskaya struktura populyacii golshtinizirovannogo cherno-pestrogo skota po mikrosatelitnym lokusam // Genetika. 2021. T. 57, № 2. S. 205–213. DOI 10.31857/S0016675821020090. EDN HUEAQD.
28. Tamarova R. V. Sostoyanie i perspektivy razvitiya plemennogo molochnogo skotovodstva v Yaroslavskoj oblasti // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2011. № 1 (13). S. 43–48. EDN OIVYVV.
29. Abdel'manova A. S., Kharzinova V. R., Fornara M. S. [i dr.] Ocenka geneticheskikh vzaimosvyazey porod krupnogo rogatogo skota cherno-pestrogo kornya s predkovymi populyაციями na osnove polnogenomnogo SNP-genotipirovaniya sovremennyh i muzejnyh obrazcov // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2024. T. 59, № 4. S. 605–619. DOI 10.15389/agrobiology.2024.4.605rus. EDN WEHODK.
30. Crow J. F. Wright and Fisher on Inbreeding and Random Drift // Genetics. 2010. Vol. 184, Is. 3. P. 609–611. DOI 10.1534/genetics.109.110023.
31. Chakraborty R. Analysis of Genetic Structure of Populations: Meaning, Methods, and Implications // Human Population Genetics: A Centennial Tribute to J. B. S. Haldane. 1993. P. 189–206.

32. Weir B. S. Estimating F -Statistics: A Historical View // *Philosophy of Science*. 2012. Vol. 79, Is. 5. P. 637–643. DOI 10.1086/667904.

Сведения об авторах

Любовь Александровна Калашникова – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории ДНК технологий отдела генетики сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», spin-код: 8451-0320.

Наталья Владимировна Рыжова – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ДНК технологий отдела генетики сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», spin-код: 4631-7257.

Александр Евгеньевич Калашников – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ДНК технологий отдела генетики сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», spin-код: 2087-2029.

Язиля Аминовна Хабибрахманова – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ДНК технологий отдела генетики сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», spin-код: 4563-5207.

Татьяна Борисовна Ганченкова – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ДНК технологий отдела генетики сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», spin-код: 9139-4048.

Мария Валерьевна Волкова-Оливейра – биоинформатик лаборатории ДНК технологий отдела генетики сельскохозяйственных животных, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела».

Information about the authors

Lyubov' A. Kalashnikova – Doctor of Biological Sciences, Full Professor, Chief Research Officer at the Laboratory of DNA Technologies of the Department of Genetics of Farm Animals, All Russian Research Institute of Animal Breeding, spin-code: 8451-0320.

Natalya V. Ryzhova – Candidate of Biological Sciences, Senior Research Officer at the Laboratory of DNA Technologies of the Department of Genetics of Farm Animals, All Russian Research Institute of Animal Breeding, spin-code: 4631-7257.

Aleksandr E. Kalashnikov – Candidate of Biological Sciences, Leading Research Officer at the Laboratory of DNA Technologies of the Department of Genetics of Farm Animals, All Russian Research Institute of Animal Breeding, spin-code: 2087-2029.

Yazilya A. Khabibrakhmanova – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of DNA Technologies of the Department of Genetics of Farm Animals, All Russian Research Institute of Animal Breeding, spin-code: 4563-5207.

Tatyana B. Ganchenkova – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of DNA Technologies of the Department of Genetics of Farm Animals, All Russian Research Institute of Animal Breeding, spin-code: 9139-4048.

Mariya V. Volkova-Oliveira – bioinformatics scientist at the Laboratory of DNA Technologies of the Department of Genetics of Farm Animals, All Russian Research Institute of Animal Breeding.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.



Научная статья
УДК 636.2.034.082:575.113:519.853
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.012

К ВОПРОСУ ПОИСКА КОМПРОМИССА ОПТИМАЛЬНОЙ СОЧЕТАЕМОСТИ КРОВНОСТИ И ПРОДУКТИВНОГО ДОЛГОЛЕТИЯ В СЕЛЕКЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЯРОСЛАВСКОЙ ПОРОДЫ

**Александр Леонидович Буканов¹, Валентина Ивановна Дорохова²,
Татьяна Александровна Разумная³**

^{1, 2, 3}Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Леонидович Буканов,
bukanov@yarcx.ru, ORCID 0009-0007-2595-2664

Реферат. В работе представлен методический подход к поиску оптимальной доли кровности по голштинской породе, обеспечивающей компромисс между молочной продуктивностью и продуктивным долголетием у коров ярославской породы. Исследование выполнено на базе одного из племенных заводчиков Ярославской области ($n = 975$ коров, из них 76 генотипированных). Проведён корреляционный, регрессионный и дисперсионный анализ с группировкой животных по биологическим ступеням скрещивания: F1 (50% кровности по голштинской породе), F2 (75%) и F3–F4 (80–94%). Установлено, что все три группы являются Парето-оптимальными по четырём критериям (удой, белок, жир, долголетие). Группа F2 (75%) лидирует по удою на пике лактации (9448,6 кг), F1 (50%) – по массовой доле белка (3,38%), F3–F4 (80–94%) – по жирности (4,10%) и продуктивному долголетию (839,1 дня). Генотип-специфичный анализ выявил отрицательную связь между кровностью и числом лактаций у животных с генотипом BB по гену *DGAT1* ($R^2 = 0,260$). Предложена стратегия селекции, направленная на поддержание всех трёх ступеней с сохранением чистопородного ядра для обеспечения биоразнообразия популяции ярославских коров.

Ключевые слова: ярославская порода, кровность, продуктивное долголетие, молочная продуктивность, граница Парето, *DGAT1*, *CSN3*, *LGB*, селекция, биоразнообразие, прицензионное животноводство

ON THE ISSUE OF FINDING A COMPROMISE AND OPTIMAL BALANCE BETWEEN BREED PURITY AND PRODUCTIVE LONGEVITY IN BREEDING TO IMPROVE THE YAROSLAVL CATTLE BREED

Aleksandr L. Bukanov¹, Valentina I. Dorokhova², Tat'yana A. Razumnaya³

^{1, 2, 3}Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia

Author responsible for the correspondence: Aleksandr L. Bukanov,
bukanov@yarcx.ru, ORCID 0009-0007-2595-2664

Abstract. The paper presents a methodological approach to finding the optimal proportion of blood purity in the Holstein breed which provides a compromise between milk performance and productive longevity in Yaroslavl cows. The study was performed on the basis of one of the breeding farms of the Yaroslavl region ($n = 975$ cows, of which 76 were genotyped). Correlation, regression and variance analysis was carried out with a grouping of animals by biological stages of crossing: F1 (50% of blood purity by Holstein), F2 (75%) and F3–F4 (80–94%). It has been established that all three groups are Pareto-optimal according to four criteria (milk yield, protein, fat, longevity). The F2 group (75%) leads in milk yield at the peak of lactation (9448.6 kg), F1 (50%) – in the mass fraction of protein (3.38%), F3–F4 (80–94%) – in fat content (4.10%) and productive longevity (839.1 days). Genotype-specific analysis revealed a negative relationship between blood purity and number of lactations in animals with the BB genotype for the *DGAT1* gene ($R^2 = 0.260$). A breeding strategy aimed at maintaining all three stages with the preservation of a purebred core was proposed to ensure the biodiversity of Yaroslavl cow population.

Keywords: Yaroslavl cattle breed, blood purity, productive longevity, milk performance, Pareto frontier, *DGAT1*, *CSN3*, *LGB*, breeding, biodiversity, precision livestock farming

Финансирование: исследования выполнены за счёт средств федерального бюджета в 2026 г. по теме «Разработка способа сохранения ценного генофонда ярославской породы крупного рогатого скота при использовании межпородного скрещивания» (Пер. № НИОКТР 125052006206-5).

К вопросу поиска компромисса оптимальной сочетаемости кровности и продуктивного долголетия в селекции по совершенствованию ярославской породы

Введение. Молочное скотоводство России базируется на использовании высокопродуктивного голштинского скота, что привело к интенсивной голштинизации отечественных пород, в том числе ярославской [1]. С одной стороны, это позволило существенно повысить удой, с другой – привело к снижению продуктивного долголетия, ухудшению воспроизводительных качеств и потере уникального генофонда ярославской породы. Исследования показывают, что селекция на высокую продуктивность часто сопровождается нежелательными побочными эффектами, включая ухудшение здоровья и сокращение срока продуктивного использования [2; 3]. В частности, установлено, что ген *DGAT1* объясняет около 4% аддитивной генетической дисперсии по молочной продуктивности и 2,5% – по смертности, что указывает на антагонистический плейотропный эффект этого гена на продуктивность и долголетие [4].

В условиях нарастающих вызовов продовольственной безопасности и необходимости сохранения биоразнообразия сельскохозяйственных животных актуальным является поиск компромисса между уровнем молочной продуктивности и продолжительностью продуктивного использования коров. Исследования на ярославской породе показали, что максимальные показатели продолжительности жизни выявлены у чистопородных коров и животных с кровностью 26–50% [5; 6]. Однако остаётся неясным, как генотип по генам-кандидатам модифицирует эту зависимость.

Цель исследования – разработать методику поиска оптимальной сочетаемости кровности по голштинской породе и продуктивного долголетия с учётом генотипа по генам *DGAT1*, *CSN3* и *LGB* для селекции ярославского скота.

Задачи:

1. Провести анализ продуктивного долголетия и молочной продуктивности коров ярославской породы в зависимости от доли кровности.
2. Оценить генотип-специфичные эффекты кровности на удой и долголетие.
3. Предложить оптимальные диапазоны кровности для селекции с учётом сохранения биоразнообразия.

Материал и методика исследования. Исследования проведены на базе АО «Племзавод Ярославка» Ярославской области. Объектом исследования послужили 975 коров ярославской породы, из которых 76 голов были генотипированы по генам-кандидатам (*DGAT1*, *CSN3*, *LGB*). Данные получены из базы «СЕЛЭКС. Молочный Скот».

Животные были сгруппированы по доле кровности в соответствии с поколениями скрещивания: F1 (50% кровности по голштинской породе, $n = 506$), F2 (75%, $n = 193$) и F3–F4 (80–94%, $n = 242$). Такая группировка обеспечивает биологическую осмысленность и минимизирует внутригрупповой разброс по сравнению с произвольными диапазонами. Животные с кровностью вне указанных ступеней ($n = 56$) исключены из анализа из-за малой численности.

Для анализа использованы следующие признаки: удой за 305 дней первой и максимальной лактации, массовая доля жира и белка, продуктивное долголетие в днях (рассчитано как дата выбытия минус дата первого отёла), количество лактаций.

Для поиска компромисса между четырьмя критериями (удой, массовая доля белка, массовая доля жира, продуктивное долголетие) применён метод анализа границы Парето. Точка А Парето-доминирует точку В, если А не уступает В по всем критериям и превосходит хотя бы по одному из них. Множество недоминируемых точек образует границу Парето [7; 8]. Для визуализации использована диаграмма параллельных координат. Статистическая значимость различий проверена с помощью Kruskal-Wallis и Dunn's test. Для оценки генотип-специфичных трендов использован регрессионный анализ с разделением по генотипам *DGAT1*, *CSN3* и *LGB*. Все расчёты выполнены в программном комплексе «Нейрокор» [9].

Результаты исследования. Анализ продуктивного долголетия показал значимые различия между группами. Результаты представлены в таблице 1.

Группа F3–F4 (80–94%) имеет наибольшее продуктивное долголетие (839,1 дня), что на 205,7 дня больше, чем в группе F1 ($P < 0,01$). Группа F2 (75%) занимает промежуточное положение (751,3 дня), но её

Таблица 1 – Продуктивное долголетие и количество лактаций коров в зависимости от кровности по голштинской породе

Группа кровности	Продуктивное долголетие, дн.			Количество лактаций		
	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Cv	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Cv
F1 (50%)	145	633,39±28,93	55,00	403	1,84±0,04	46,26
F3–F4 (80–94%)	83	839,08±58,61	63,64	171	2,23±0,09	54,35
F2 (75%)	39	751,28±128,33	106,68	101	1,72±0,14	81,31

Примечание: различия между F3–F4 и F1 по продуктивному долголетию значимы (Dunn's test: $P < 0,01$).

результат менее надёжен из-за высокого C_v (106,7%) и малого числа наблюдений ($n = 39$). Полученные данные согласуются с результатами исследований на ярославской породе, где максимальные показатели продолжительности жизни выявлены у чистопородных коров и животных с кровностью 26–50% [5; 6].

Данные по молочной продуктивности представлены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 видно, что группа F2 лидирует по удою за 305 дней максимальной лактации (9448,6 кг), что на 540 кг выше, чем у F1 ($P < 0,01$), и на 154 кг выше, чем у F3–F4. Однако по массовой доле бел-

Таблица 2 – Молочная продуктивность коров разных групп кровности (максимальная лактация)

Группа кровности	n	Удой за 305 дн. макс. лакт., кг		Массовая доля жира за 305 дн. макс. лакт., %		Массовая доля белка за 305 дн. макс. лакт., %	
		$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Cv	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Cv	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Cv
F1 (50%)	391	8908,37±108,17	24,01	4,06±0,02	9,90	3,38±0,01	4,88
F3–F4 (80–94%)	168	9294,52±149,32	20,82	4,10±0,04	11,56	3,36±0,01	4,00
F2 (75%)	86	9448,55±203,24	19,95	4,02±0,05	11,59	3,34±0,02	4,52

Примечание: полужирным шрифтом выделены лучшие значения по каждому критерию.

ка в молоке коров группа F1 сохраняет преимущество (3,38%), что на 0,04 процентных пунктов выше, чем у группы F2, и на 0,02 п.п. выше, чем у F3–F4 ($P < 0,01$). Что касается массовой доли жира в молоке коров за 305 дней максимальной лактации, то по этому показателю лидирует группа F3–F4 (4,10%), превышая F1 (4,06%) и F2 (4,02%).

Для оценки влияния генотипов по генам *DGAT1*, *CSN3* и *LGB* на связь между кровностью и долголетием

проведён регрессионный анализ отдельно для каждого генотипа (рис. 1–3).

Анализ показал, что только у животных с генотипом ВВ наблюдается умеренная отрицательная связь между кровностью и числом лактаций ($R^2 = 0,260$) (рис. 1). С ростом кровности с 50 до 80% число лактаций у них снижается с 3,4 до 2,2. Для генотипов АА и АВ связь отсутствует. Это означает, что аллель В гена *DGAT1* в сочетании с высокой кровностью по голштинской породе

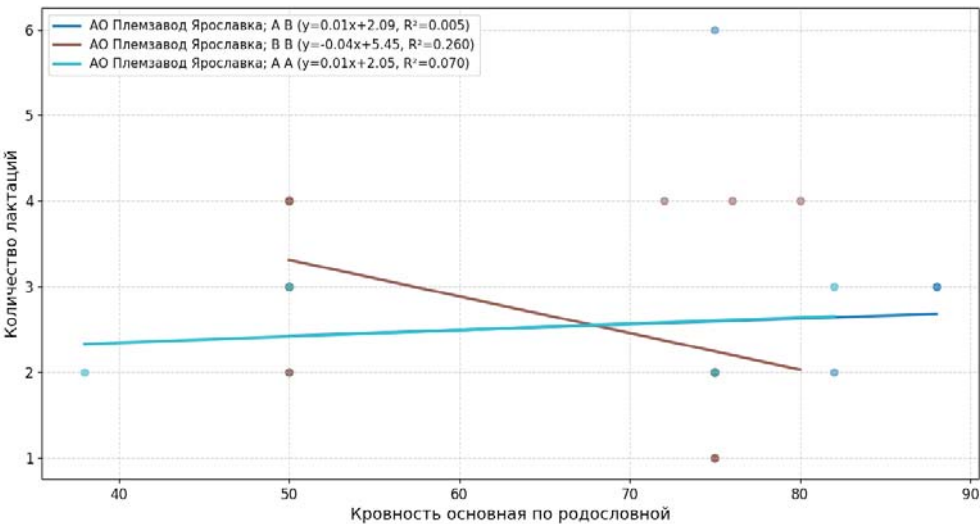


Рисунок 1 – Сравнительная регрессия: количество лактаций – кровность по генотипам *DGAT1*

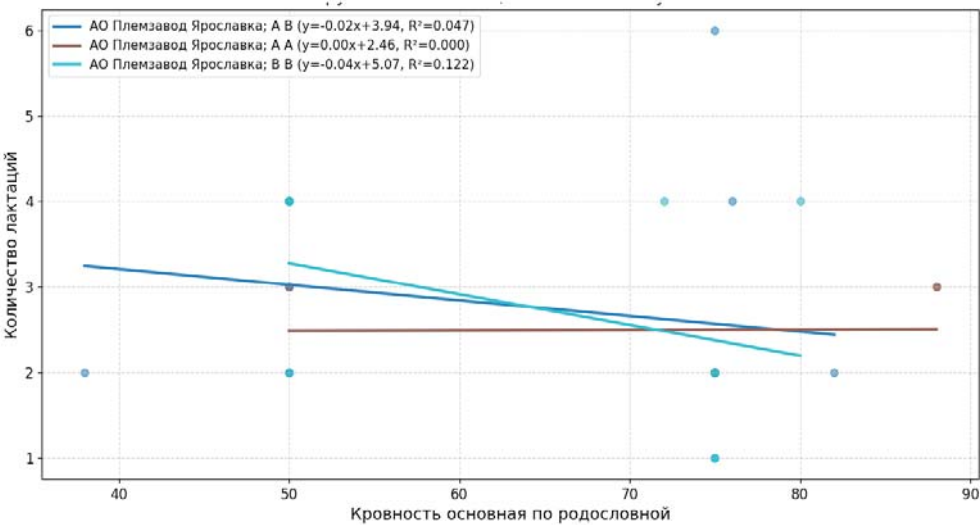


Рисунок 2 – Сравнительная регрессия: количество лактаций – кровность по генотипам бета-лактоглобулина

К вопросу поиска компромисса оптимальной сочетаемости кровности и продуктивного долголетия в селекции по совершенствованию ярославской породы

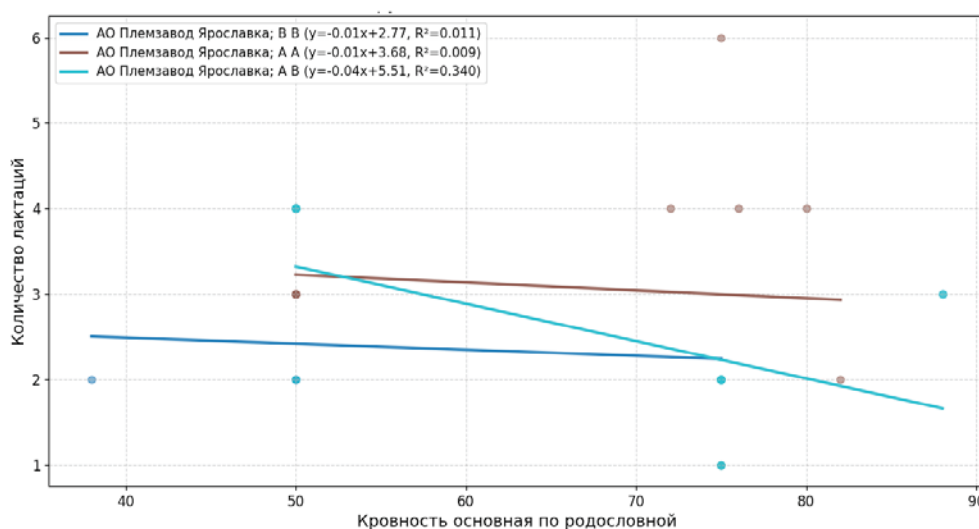


Рисунок 3 – Сравнительная регрессия: количество лактаций – кровность по генотипам каппа-казеина

даёт отрицательный эффект на продуктивное долголетие. Данный результат согласуется с известным плеiotропным эффектом *DGAT1*: аллель, ассоциированный с повышенной жирностью молока, может негативно влиять на продолжительность продуктивного использования [4; 10; 11].

Для гена *LGB* также наблюдается тенденция к снижению числа лактаций с ростом кровности у генотипа BB ($R^2 = 0,122$), однако связь слабее, чем для *DGAT1* (рис. 2). Исследования на симментальской породе показывают, что наибольшее продуктивное долголетие характерно для животных с генотипом *BLG* BB, что может указывать на породоспецифичность эффекта [12].

Наиболее сильная отрицательная связь между кровностью и числом лактаций выявлена у гетерозиготного генотипа *CSN3* AB ($R^2 = 0,340$). Это может ука-

зывать на то, что гетерозиготность по каппа-казеину в сочетании с высокой кровностью по голштинцу снижает продуктивное долголетие. В то же время многочисленные исследования показывают, что носители гетерозиготного генотипа *CSN3* AB достоверно превосходят животных с генотипом *CSN3* AA по продолжительности использования на 0,39 лактации ($P < 0,05$) и пожизненному удою – на 2401 кг молока ($P < 0,05$) [13; 14]. Выявленное расхождение с литературными данными может быть обусловлено несколькими методическими причинами. Во-первых, численность подгруппы гетерозигот AB, для которой построена регрессия, недостаточна для получения статистически надёжной оценки. Во-вторых, учёт продуктивного долголетия в конкретном хозяйстве может иметь особенности (например, разная стратегия выбраковки коров в зависимости от уровня продуктив-

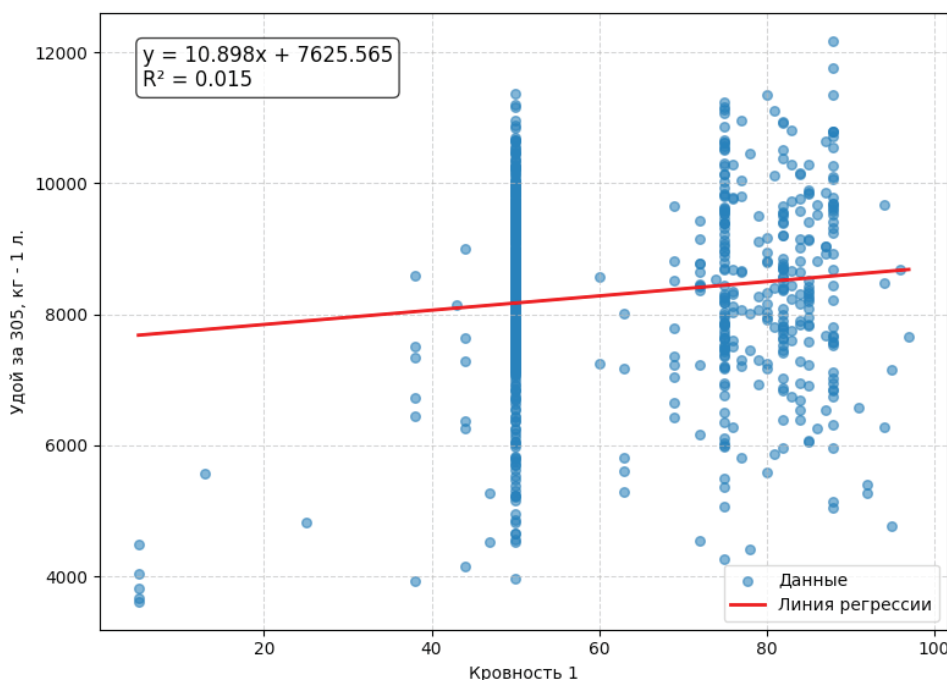
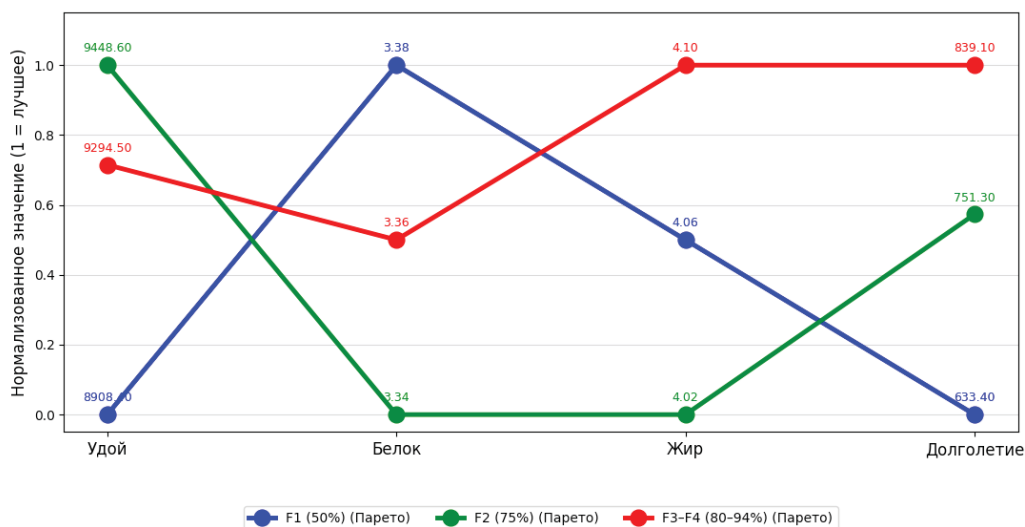


Рисунок 4 – Сравнительная регрессия: удой за 305 дней первой лактации – кровность по родословной



По оси ординат – нормированное значение критерия (0 – худшее, 1 – лучшее), рассчитанное по формуле $(x - \min) / (\max - \min)$ отдельно для каждого признака.

Рисунок 5 – Диаграмма параллельных координат: многокритериальный профиль ступеней кровности

ности). В-третьих, нельзя исключить эффект взаимодействия «генотип × среда»: в условиях АО «Племзавод Ярославка» преимущество гетерозигот АВ может нивелироваться другими факторами. Наконец, возможное неравновесие по сцеплению с другими локусами (например, с *DGAT1* или *LGB*) может исказить оценку изолированного эффекта *CSN3*. Дальнейший анализ на большей выборке с использованием линейных смешанных моделей позволит уточнить эти причины.

Для надёжной оценки генотип-специфичных эффектов необходимо увеличение числа генотипированных животных и применение линейных смешанных моделей с учётом родственных связей и паратипических факторов. Тем не менее, выявленные закономерности позволяют сформулировать гипотезы о неаддитивном взаимодействии генотипов с кровностью по голштинской породе и могут быть использованы для планирования дальнейших исследований.

На рисунке 4 представлена зависимость удоя за 305 дней первой лактации от кровности по голштинской породе. Для АО «Племзавод Ярославка» уравнение регрессии: $\text{Удой} = 10,898 \times \text{Кровность} + 7625,565$, $R^2 = 0,015$. Положительный коэффициент указывает на тенденцию роста удоя с увеличением кровности, но низкое R^2 говорит о том, что только 1,5% изменчивости объясняется этим фактором. Это согласуется с литературными данными о том, что эффект кровности на удой существует, но не является доминирующим [5; 15].

Анализ границы Парето по четырём критериям (удой, белок, жир, долголетие) выявил, что все три группы F1, F2, F3–F4 являются Парето-оптимальными (рис. 5). Ни одна не превосходит другую по всем критериям одновременно.

Так, в группе F1 (50%) наблюдается максимальная белковомолочность, в группе F2 (75%) – максимальный удой, а в группе F3–F4 (80–94%) – максимальные жирность молока и долголетие коров.

Это означает, что выбор между группами представляет собой многокритериальный компромисс, решение по которому должно приниматься с учётом целей хозяйства. Метод Парето-оптимальности позволяет выявить такие компромиссы без субъективного взвешивания признаков, что делает его предпочтительным инструментом для многокритериальной селекции [7; 16].

Следует отметить, что группа коров с кровностью 5–25% ($n = 7$) не включена в количественный анализ из-за малого числа наблюдений. Однако вводное скрещивание сохраняет 75% ярославской крови и обеспечивает передачу уникальных аллелей, ассоциированных с белковомолочностью и адаптивностью. Рекомендуется поддерживать её на уровне не менее 10–15% стада [5; 17]. Это согласуется с исследованиями, показывающими, что оптимальные параметры прилития крови голштинской породы (от 26 до 50%) следует учитывать в селекционно-племенной работе для повышения эффективности ведения молочного скотоводства [17].

Выводы.

1. Метод границы Парето выявил три недоминируемые стратегии селекции: F1 (50%) – максимальная белковомолочность; F2 (75%) – максимальный удой; F3–F4 (80–94%) – максимальные жирность молока и продуктивное долголетие.

2. Генотип-специфичный анализ показал, что у животных с генотипом ВВ по гену *DGAT1* увеличение кровности сопровождается снижением числа лактаций ($R^2 = 0,260$), тогда как у генотипов АА и АВ такой зависимости нет. Для гена *CSN3* наиболее сильная отрицательная связь выявлена у гетерозигот АВ ($R^2 = 0,340$). Эти результаты следует рассматривать как предварительные тенденции, требующие подтверждения на большей выборке генотипированных животных.

3. Для сохранения биоразнообразия ярославской породы и обеспечения продовольственной безопас-

ности целесообразно поддерживать все три ступени в стаде, с преобладанием F1 и F3–F4, а также сохранять животных с кровностью 5–25% (вводное скрещивание) на уровне не менее 10–15% стада.

4. Методика многокритериального анализа с использованием границы Парето и генотип-специфичных регрессий может быть использована в других племенных хозяйствах.

5. В рамках развития прецизионного животноводства в АО «Племзавод Ярославка» с использованием программного комплекса «Нейрокор» разработаны Парето-оптимальные продуктивные профили по генам *DGAT1*, *CSN3* и *LGB*, которые рекомендуются для практического применения в селекционно-племенной работе с целью повышения эффективности отбора и сохранения биоразнообразия ярославской породы.

Список источников

1. Фураева Н. С., Зверева Е. А., Воробьева С. С. [и др.] Селекционно-племенные мероприятия по совершенствованию и сохранению ярославской породы крупного рогатого скота в Российской Федерации на 2024–2030 годы : монография. Ярославль : Изд-во ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ», 2025. 254 с. ISBN 978-5-98914-293-4. EDN RTSMMI.
2. Rauw W. M., Kanis E., Noordhuizen-Stassen E. N., Grommers F. J. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review // *Livestock Production Science*. 1998. Vol. 56, № 1. P. 15–33. DOI 10.1016/S0301-6226(98)00147-X.
3. Dallago G. M., Wade K. M., Cue R. I. [et al.] Keeping Dairy Cows for Longer: A Critical Literature Review on Dairy Cow Longevity in High Milk-Producing Countries // *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11, № 3. Art. 808. DOI 10.3390/ani11030808.
4. Tsuruta S., Lourenco D. A. L., Misztal I., Lawlor T. J. Genomic analysis of cow mortality and milk production using a threshold-linear model // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, № 9. P. 7295–7305. DOI 10.3168/jds.2017-12665.
5. Хромова О. Л., Бургомистрова О. Н. Продолжительность использования коров ярославской породы различных генотипов // *АгроЗооТехника*. 2019. Т. 2, № 1. С. 2. DOI 10.15838/alt.2019.2.1.2. EDN ZALQCL.
6. Абрамова Н. И., Бургомистрова О. Н., Хромова О. Л. Результаты голштинизации отечественных молочных пород крупного рогатого скота // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2018. № 8. С. 70–77. EDN VFOEBR.
7. Shija D., Mwai O. A., Migwi P. K., Komwihangilo D. M. Identifying Positive Deviant Farms Using Pareto-Optimality Ranking Technique to Assess Productivity and Livelihood Benefits in Smallholder Dairy Farming under Contrasting Stressful Environments in Tanzania // *World*. 2022. Vol. 3, № 3. P. 639–656. DOI 10.3390/world3030035.
8. Stokes J. R., Tozer P. R. Sire selection with multiple objectives // *Agricultural Systems*. 2002. Vol. 73, № 2. P. 147–164. DOI 10.1016/S0308-521X(01)00079-8.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2025681290 Российская Федерация. Нейрокор / А. Л. Буканов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет». № 2025669452 ; заявл. 31.07.2025 ; опубл. 13.08.2025. EDN JQWZAJ.
10. Shaidullin R., Sharafutdinov G., Moskvicheva A. [et al.] Productive longevity of white-and-black cows of different genotypes CSN3 and DGAT1 // *Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019)*, Kazan, 13–14 ноября 2019 года. EDP Sciences : EDP Sciences, 2020. P. 00060. EDN EZVASX.
11. Kaupе B., Brandt H., Prinzenberg E.-M., Erhardt G. Joint analysis of the influence of CYP11B1 and DGAT1 genetic variation on milk production, somatic cell score, conformation, reproduction, and productive lifespan in German Holstein cattle // *Journal of Animal Science*. 2007. Vol. 85, № 1. P. 11–21. DOI 10.2527/jas.2005-753.
12. Магер С. Н., Гончаренко Г. М., Гришина Н. Б. [и др.] Влияние генов белков и гормонов на продуктивность и долголетие симменталов // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019. Т. 49, № 4. С. 49–57. DOI 10.26898/0370-8799-2019-4-6. EDN PWDPAK.
13. Часовщикова М. А. Продолжительность продуктивной жизни и пожизненная молочная продуктивность коров черно-пестрой породы в зависимости от их генотипа // *Вестник АПК Ставрополя*. 2018. № 1 (29). С. 63–66. EDN XMZQOL.
14. Ковалева Г. П., Лапина М. Н., Сулыга Н. В., Витол В. А. Продуктивное долголетие коров в зависимости от кровности по голштинской породе // *Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства*. 2017. Т. 2, № 10. С. 50–54. EDN ZWBMXV.
15. Szyda J., Morek-Kopeć M., Komisarek J., Zarnecki A. Evaluating markers in selected genes for association with functional longevity of dairy cattle // *BMC Genetics*. 2011. Vol. 12. Art. 30. DOI 10.1186/1471-2156-12-30.
16. Юмагузин И. Ф., Аминова А. Л., Седых Т. А. Продуктивное долголетие и пожизненная продуктивность дочерей голштинских быков-производителей с разными вариантами генотипа каппа-казеина // *Аграрная наука*. 2022. № 1. С. 60–63. DOI 10.32634/0869-8155-2022-355-1-60-63. EDN YLNZDX.
17. Москаленко Л. П., Фураева Н. С., Зверева Е. А. Комплексная оценка влияния генетических и паратипических факторов на продуктивное долголетие голштинизированных коров ярославской породы // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2013. № 3 (23). С. 41–46. EDN RLTLQZ.

References

1. Furaeva N. S., Zvereva E. A., Vorob'eva S. S. [i dr.] Selekcionno-plemennye meropriyatiya po sovershenstvovaniyu i sohraneniyu yaroslavskoj porody krupnogo rogatogo skota v Rossijskoj Federacii na 2024–2030 gody : monografiya. Yaroslavl' : Izd-vo FGBOU VO «Yaroslavskij GAU», 2025. 254 s. ISBN 978-5-98914-293-4. EDN RTSMMI.
2. Rauw W. M., Kanis E., Noordhuizen-Stassen E. N., Grommers F. J. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review // *Livestock Production Science*. 1998. Vol. 56, № 1. P. 15–33. DOI 10.1016/S0301-6226(98)00147-X.
3. Dallago G. M., Wade K. M., Cue R. I. [et al.] Keeping Dairy Cows for Longer: A Critical Literature Review on Dairy Cow Longevity in High Milk-Producing Countries // *Animals (Basel)*. 2021. Vol. 11, № 3. Art. 808. DOI 10.3390/ani11030808.
4. Tsuruta S., Lourenco D. A. L., Misztal I., Lawlor T. J. Genomic analysis of cow mortality and milk production using a threshold-linear model // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, № 9. P. 7295–7305. DOI 10.3168/jds.2017-12665.
5. Khromova O. L., Burgomistrova O. N. Prodolzhitel'nost' ispol'zovaniya korov yaroslavskoj porody razlichnyh genotipov // *AgroZooTekhnika*. 2019. Т. 2, № 1. С. 2. DOI 10.15838/alt.2019.2.1.2. EDN ZALQCL.

6. Abramova N. I., Burgomistrova O. N., Khromova O. L. Rezul'taty golshinizatsii otechestvennykh molochnykh porod krupnogo rogatogo skota // Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya. 2018. № 8. S. 70–77. EDN VFOEBR.
7. Shija D., Mwai O. A., Migwi P. K., Komwihangilo D. M. Identifying Positive Deviant Farms Using Pareto-Optimality Ranking Technique to Assess Productivity and Livelihood Benefits in Smallholder Dairy Farming under Contrasting Stressful Environments in Tanzania // World. 2022. Vol. 3, № 3. P. 639–656. DOI 10.3390/world3030035.
8. Stokes J. R., Tozer P. R. Sire selection with multiple objectives // Agricultural Systems. 2002. Vol. 73, № 2. P. 147–164. DOI 10.1016/S0308-521X(01)00079-8.
9. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EVM 2025681290 Rossiyskaya Federatsiya. Nejrokor / A. L. Bukanov ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Yaroslavskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet». № 2025669452 ; zayavl. 31.07.2025 ; opubl. 13.08.2025. EDN JQWZAJ.
10. Shaidullin R., Sharafutdinov G., Moskvicheva A. [et al.] Productive longevity of white-and-black cows of different genotypes CSN3 and DGAT1 // Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019), Kazan, 13–14 noyabrya 2019 goda. EDP Sciences : EDP Sciences, 2020. P. 00060. EDN EZVASX.
11. Kaupe B., Brandt H., Prinzenberg E.-M., Erhardt G. Joint analysis of the influence of CYP11B1 and DGAT1 genetic variation on milk production, somatic cell score, conformation, reproduction, and productive lifespan in German Holstein cattle // Journal of Animal Science. 2007. Vol. 85, № 1. P. 11–21. DOI 10.2527/jas.2005-753.
12. Mager S. N., Goncharenko G. M., Grishina N. B. [i dr.] Vliyaniye genov belkov i gormonov na produktivnost' i dolgoletie simmentalov // Sibirskiy vestnik sel'skhozaystvennoy nauki. 2019. T. 49, № 4. S. 49–57. DOI 10.26898/0370-8799-2019-4-6. EDN PWDPK.
13. Chasovshchikova M. A. Prodolzhitel'nost' produktivnoy zhizni i pozhiznennaya molochnaya produktivnost' korov chernopestroy porody v zavisimosti ot ih genotipa // Vestnik APK Stavropol'ya. 2018. № 1 (29). S. 63–66. EDN XMZQOL.
14. Kovaleva G. P., Lapina M. N., Sulyga N. V., Vitol V. A. Produktivnoe dolgoletie korov v zavisimosti ot krovnosti po golshinitskoy porode // Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva. 2017. T. 2, № 10. S. 50–54. EDN ZWBMXV.
15. Szyda J., Morek-Kopeć M., Komisarek J., Żarnecki A. Evaluating markers in selected genes for association with functional longevity of dairy cattle // BMC Genetics. 2011. Vol. 12. Art. 30. DOI 10.1186/1471-2156-12-30.
16. Yumaguzin I. F., Aminova A. L., Sedukh T. A. Produktivnoe dolgoletie i pozhiznennaya produktivnost' docherey golshinitskikh bykov-proizvoditeley s raznymi variantami genotipa kappa-kazeina // Agrarnaya nauka. 2022. № 1. S. 60–63. DOI 10.32634/0869-8155-2022-355-1-60-63. EDN YLNZDX.
17. Moskalenko L. P., Furaeva N. S., Zvereva E. A. Kompleksnaya ocenka vliyaniya geneticheskikh i paratipicheskikh faktorov na produktivnoe dolgoletie golshinitsirovannykh korov yaroslavskoy porody // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2013. № 3 (23). S. 41–46. EDN RLTLQZ.

Сведения об авторах

Александр Леонидович Буканов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 3814-6062.

Валентина Ивановна Дорохова – кандидат экономических наук, доцент, начальник управления по научной работе и международному сотрудничеству, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 1882-2483.

Татьяна Александровна Разумная – аспирант кафедры зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет».

Information about the authors

Aleksandr L. Bukanov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 3814-6062.

Valentina I. Dorokhova – Candidate of Economic Sciences, Docent, Head of the Department of Scientific Work and the International Cooperation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 1882-2483.

Tat'yana A. Razumnaya – Postgraduate student of the Department of Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University".

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.



Научная статья
УДК 636.2.082
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.013

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОДБОРА ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ КОСТРОМСКОЙ ПОРОДЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Анна Альбертовна Валавина¹, Надежда Сергеевна Баранова²

^{1, 2}Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия

¹anna.valli@yandex.ru

²baranova-ns2@yandex.ru, ORCID 0000-0001-5123-848X

Реферат. В статье представлены результаты исследований эффективности различных вариантов подбора при совершенствовании костромской породы крупного рогатого скота. Исследования проведены во всех племенных хозяйствах Костромской области на основании анализа показателей молочной продуктивности и воспроизводительной способности первотёлок костромской породы. Установлено, что племенная база региона насчитывает 4533 головы костромской породы, в том числе 2847 коров, представленных 5 заводскими линиями и 8 родственными группами. Проведена сравнительная оценка генеалогических групп по удою, содержанию жира и белка в молоке, показателям воспроизводства и реализации генетического потенциала. Установлено, что использование различных вариантов подбора оказывает существенное влияние на продуктивные качества животных. Наиболее высокий удой за 305 дней первой лактации отмечен у коров линии Ладка 2537 и составил 5652 кг молока, а максимальное содержание жира (4,61%) и белка (3,40%) выявлено у животных родственной группы Батлера 107506. Наиболее перспективными для дальнейшей селекционной работы являются родственные группы Хилла 76059, Меридиана 90827, Концентра 106157 и Леирда 71151, сочетающие высокий уровень продуктивности, воспроизводительных качеств и реализации генетического потенциала. Полученные результаты могут быть использованы при разработке программ совершенствования костромской породы и повышении эффективности молочного скотоводства.

Ключевые слова: костромская порода, молочная продуктивность, селекция, подбор, линии, родственные группы, воспроизводство, племенная работа

EFFICIENCY OF VARIOUS MATING VARIANTS FOR THE IMPROVEMENT OF THE KOSTROMA CATTLE BREED

Anna A. Valavina¹, Nadezhda S. Baranova²

^{1, 2}Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

¹anna.valli@yandex.ru

²baranova-ns2@yandex.ru, ORCID 0000-0001-5123-848X

Abstract. The article presents the results research on the effectiveness of various selection options for improving the Kostroma cattle breed. The researches were carried out in all breeding farms of the Kostroma region on the basis of an analysis of milk performance and reproductive capacity of the first-calf heifers of the Kostroma cattle breed. It has been established that the breeding base of the region includes 4,533 heads of Kostroma cattle breed, including 2,847 cows represented by 5 factory lines and 8 related groups. A comparative assessment of genealogical groups in terms of milk yield, fat and protein content in milk, reproduction indicators and the realization of genetic potential was carried out. It has been established that the use of various selection options has a significant impact on the productive qualities of animals. The highest milk yield for 305 days of the first lactation was observed in Ladka 2537 cows and amounted to 5,652 kg of milk, and the maximum fat (4.61%) and protein (3.40%) content was found in animals of the related Butler group 107506. The most promising for further breeding work are the related groups Hill 76059, Meridian 90827, Concentrate 106157 and Leird 71151 combining a high level of performance, reproductive qualities and the realization of genetic potential. The results obtained can be used in the development of programs for improving the Kostroma cattle breed and increasing the efficiency of dairy cattle breeding.

Keywords: Kostroma cattle breed, milk performance, breeding, selection, lines, related groups, reproduction, breeding work

Введение. Костромская порода крупного рогатого скота является одной из наиболее ценных отечественных пород молочного и молочно-мясного направления продуктивности. Животные отличаются высокой продолжительностью хозяйственного использования, хорошей приспособленностью к условиям содержания, устойчивостью к заболеваниям и высоким качеством молока [1; 2]. Вместе с тем современное развитие молочного скотоводства требует постоянного совершенствования селекционной работы, направленной на повышение молочной продуктивности и улучшение воспроизводительных качеств животных [3–5].

Одним из основных методов совершенствования пород является рациональный подбор производителей с учётом происхождения, продуктивности и генетической ценности [6–8]. Эффективность применения различных вариантов подбора в популяции костромской породы изучена недостаточно полно, что обусловило проведение настоящего исследования [9; 10].

Цель исследования – определение эффективности применения различных вариантов подбора при совершенствовании костромской породы крупного рогатого скота с учётом продуктивных, генетических и селекционных показателей, а также разработка рекомендаций по оптимальным методам селекции для повышения молочной продуктивности и улучшения качественных характеристик животных.

Научная новизна исследований заключается в том, что впервые в популяции крупного рогатого скота костромской породы в условиях всех племенных хозяйств Костромской области на значительном поголовье проведено комплексное изучение показателей молочной продуктивности и воспроизводства в разрезе линий и родственных групп.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены в 2023–2026 гг. в шести племенных хозяйствах Костромской области. Объектом исследований являлись первотёлки костромской породы различной кровности по бурой швицкой породе.

Для анализа молочной продуктивности и воспроизводительных качеств использованы материалы по 6833 коровам, при изучении гомогенного подбора проанализировано 1496 животных, гетерогенного – 4216 животных. Исследования проводились на основании

данных племенного учёта и информационной системы «СЕЛЭКС».

В ходе исследования оценивали следующие хозяйственно полезные признаки: удой за 305 дней лактации, массовую долю жира и белка в молоке, возраст первого плодотворного осеменения, продолжительность сервис-периода и межотельного периода, индекс плодовитости, а также родительский индекс коров.

Статистическую обработку результатов выполняли с использованием методов вариационной статистики и корреляционного анализа.

Результаты исследований. Племенная база костромской породы представлена тремя племязаводами: АО «Племзавод «Караваяево», СПК Колхоз «Родина», СПК «Гридино» и тремя племрепродукторами: ООО «Агрофирма Планета», ООО «Минское» и КФХ «Васина М.С.».

По данным бонитировки 2024 года численность костромского скота составила 4533 головы, в том числе 2847 коров. Средняя молочная продуктивность достигла 7832 кг молока при содержании жира 4,02% и белка 3,35%.

Показатели удоя, массовой доли жира и белка варьировали в зависимости от линейной принадлежности животных. Наиболее высокими значениями удоя характеризовались родственные группы Хилла 76059, Концентрата 106157, Леирда 71151 и Меридиана 90827, а среди заводских линий – линия Ладка 2537, обеспечившая наивысший удой в СПК «Гридино». По качественным показателям молока селекционную ценность также представляли родственная группа Батлера 107506 и линия Курса 3722 (табл. 1). Полученные результаты свидетельствуют о высокой селекционной ценности как заводских линий, так и родственных групп, использование которых целесообразно при совершенствовании костромской породы крупного рогатого скота.

Родительский индекс коровы (РИК) свидетельствует о генетических возможностях животного и его способности передавать потомству продуктивные признаки, позволяет прогнозировать продуктивные качества первотёлок и используется для оценки степени реализации генетического потенциала или сопоставления фактической продуктивности животного с ожидаемой по РИК (табл. 2 и 3).

Таблица 1 – Молочная продуктивность коров костромской породы в зависимости от линейной принадлежности в племенных хозяйствах Костромской области

Хозяйство	Лучшая генеалогическая группа	Удой, кг	Лучшая генеалогическая группа	МДЖ, %	Лучшая генеалогическая группа	МДБ, %
АО «Племзавод «Караваяево»	Хилла 76059	7196	Курса 3722	4,15	Хилла 76059	3,46
СПК Колхоз «Родина»	Леирда 71151	6051	Концентрата 106157	3,99	Батлера 107506	3,23
СПК «Гридино»	Ладка 2537	5652	Батлера 107506	4,61	Батлера 107506	3,40
ООО «Агрофирма «Планета»	Концентрата 106157	6309	Леирда 71151	4,18	Леирда 71151	3,41
ООО «Минское»	Меридиана 90827	5730	Меридиана 90827	4,15	Хилла 76059	3,73
КФХ «Васина М.С.»	Леирда 71151	5595	Меридиана 90827	4,16	Меридиана 90827	3,33

Эффективность различных вариантов подбора при совершенствовании костромской породы крупного рогатого скота

Таблица 2 – Реализация родительского потенциала коров в племенных заводах

Линия, родственная группа	АО «Племзавод «Караваяево»			СПК Колхоз «Родина»			СПК «Гридино»		
	Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %
Р. гр. Батлера 107506	8011	3,42	3,77	7786	3,96	3,29	7498	3,84	4,01
Л. Каро 1494	–	–	–	–	–	–	7960	4,04	3,97
Р. гр. Концентрата 106157	8157	3,44	3,75	7801	3,99	3,20	7887	3,87	4,03
Л. Курса 3722	8521	3,40	3,80	–	–	–	7329	3,96	3,99
Л. Ладка 2537	8458	3,14	3,78	7576	4,02	3,22	7761	3,93	3,95
Р. гр. Леирда 71151	9212	3,12	3,76	7563	4,02	3,27	–	–	–
Р. гр. Мастера 106902	7631	3,46	3,79	8090	4,05	3,28	7770	3,88	3,95
Р. гр. Меридиана 90827	8467	3,26	3,78	7582	4,01	3,23	7812	3,90	4,06
Л. Салата 1216	8825	3,13	3,75	–	–	–	7472	3,98	3,93
Р. гр. Хилла 76059	9452	3,37	3,75	–	–	–	7741	3,85	3,90

Были установлены значительные различия в реализации генетического потенциала животных в зависимости от линейной принадлежности и условий хозяйств. Наиболее высокими значениями РИК по комплексу признаков характеризовались родственные группы Хилла 76059, Леирда 71151, Концентрата 106157, Меридиана 90827 и Мастера 106902, что подтверждает их высокую племенную ценность и перспективность использования в селекционной работе.

Эффективность племенного молочного скотоводства в значительной степени определяется уровнем производительной способности животных, которые напрямую отражают физиологическое состояние коров, их адаптацию к технологической нагрузке и способность реализовывать генетический потенциал.

Анализ показателей воспроизводства молочных коров в племенных хозяйствах позволяет объективно оценить эффективность проводимых селекционно-технологических мероприятий, выявить проблемные зоны, определить влияние генетических, физиологических и управленческих факторов на результативность воспроизводственного процесса (табл. 4).

Были установлены различия между генеалогическими группами по возрасту первого плодотворного осеменения, продолжительности сервис- и межотельного периодов. Наиболее благоприятными воспроизводительными качествами характеризовались родственная группа Хилла 76059, линия Курса 3722 и родственная группа Леирда 71151, что свидетельствует об их высокой селекционной ценности.

Для реализации генетического потенциала молочной продуктивности скота необходимо поддерживать высокий уровень воспроизводства стада, обеспечивающий ежегодное получение жизнеспособного приплода. Индекс плодовитости варьировал в зависимости от генеалогической принадлежности животных и условий хозяйств, что отражает различия в воспроизводительном потенциале исследуемых групп.

На рисунке 1 представлены результаты расчёта индекса плодовитости первотёлок в условиях всех племенных хозяйств.

В условиях интенсивного разведения особую актуальность приобретает изучение взаимосвязей между ключевыми хозяйственно полезными признаками.

Таблица 3 – Реализация родительского потенциала коров в племенных репродукторах

Линия, родственная группа	ООО «Агрофирма «Планета»			ООО «Минское»			КФХ «Васина М.С.»		
	Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %
Р. гр. Батлера 107506	–	–	–	8432	4,25	3,35	–	–	–
Л. Каро 1494	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Р. гр. Концентрата 106157	7123	4,08	3,21	8992	4,26	3,42	7089	4,04	3,27
Л. Курса 3722	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Л. Ладка 2537	7378	4,12	3,32	8131	4,44	3,37	6520	4,05	3,24
Р. гр. Леирда 71151	4800	3,82	3,37	8378	4,30	3,32	7049	4,13	3,26
Р. гр. Мастера 106902	7408	4,18	3,35	8421	4,23	3,38	6262	4,08	3,20
Р. гр. Меридиана 90827	8726	4,02	3,23	7951	4,26	3,36	7242	4,14	3,28
Л. Салата 1216	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Р. гр. Хилла 76059	–	–	–	8425	4,26	3,34	–	–	–

Таблица 4 – Сводные данные по показателям воспроизводства молочных коров костромской породы в племенных хозяйствах Костромской области

Хозяйство	Лучшая генеалогическая группа	Возраст, мес.	Лучшая генеалогическая группа	Сервис-период, дн.	Лучшая генеалогическая группа	Межотельный период, дн.
АО «Племзавод «Караваево»	Хилла 76059	17,7	Курса 3722	141,3	Хилла 76059	418,6
СПК Колхоз «Родина»	Батлера 107506 / Курса 3722	20,5	Курса 3722	85,7	Курса 3722	371,0
СПК «Гридино»	Курса 3722	19,1	Хилла 76059	106,6	Батлера 107506	388,4
ООО «Агрофирма «Планета»	Концентрата 106157	20,8	Мериديана 90827	150,8	Мериديана 90827	432,8
ООО «Минское»	Хилла 76059	16,8	Леирда 71151	100,6	Леирда 71151	381,2
КФХ «Васина М.С.»	Мериديана 90827	20,2	Леирда 71151	144,2	Леирда 71151	428,9

В таблице 5 представлены обобщённые результаты корреляционного анализа по совокупности данных всех исследованных хозяйств. В анализ включены генеалогические линии и родственные группы с наиболее выраженными корреляционными связями между репродуктивными признаками и показателями молочной продуктивности.

Корреляционный анализ выявил различия во взаимосвязях между показателями молочной продуктивности и воспроизводства в зависимости от генеалогической принадлежности животных. Наиболее благоприятные сочетания признаков отмечены у родст-

венных групп Мериديана 90827, Концентрата 106157 и Мастера 106902, что подтверждает перспективность их использования в селекционной работе.

Гомогенный подбор (табл. 6), основанный на сочетании животных, сходных по типу конституции, уровню продуктивности и экстерьерным особенностям, является важным селекционным приёмом, обеспечивающим закрепление ценных наследственных качеств и повышение генетической однородности стада. Для костромской породы, отличающейся значительной внутривидовой изменчивостью, оценка эффективности гомогенного подбора представляет научный и практический интерес,

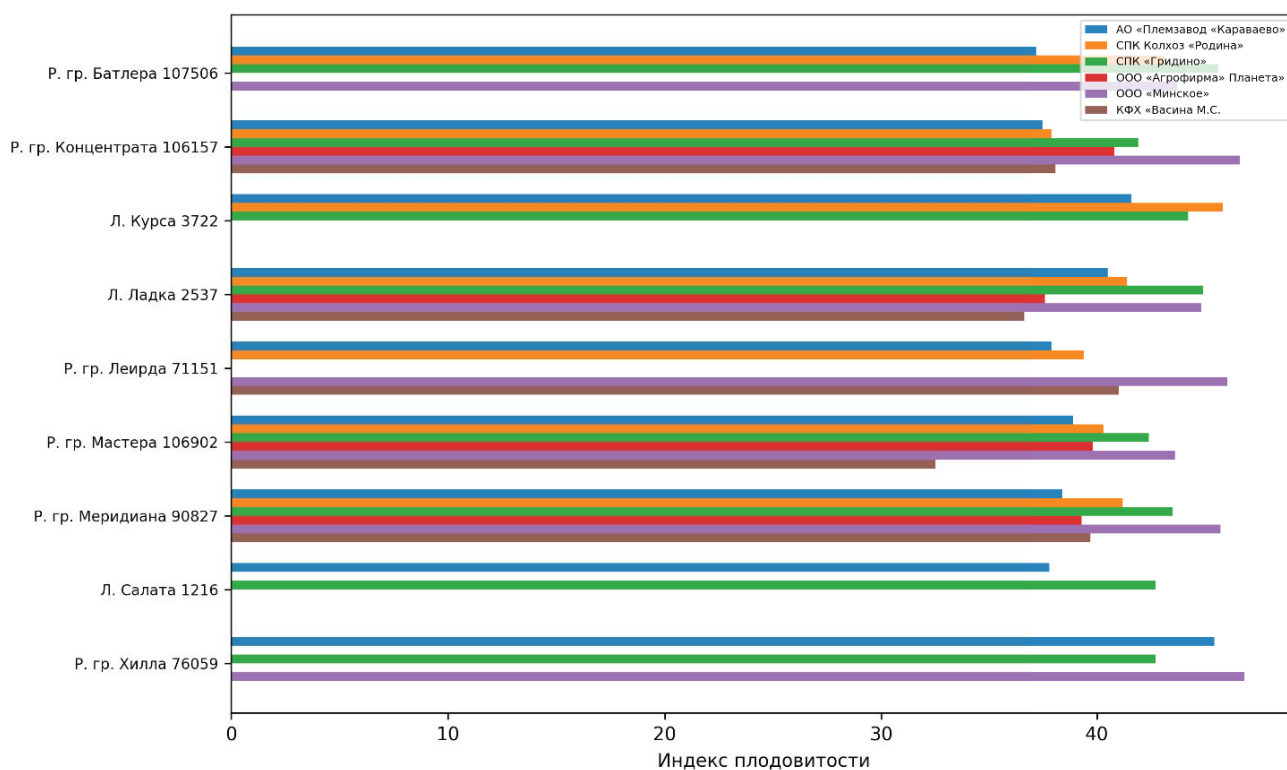


Рисунок 1 – Индекс плодовитости коров-первотёлок костромской породы во всех племенных хозяйствах Костромской области

Эффективность различных вариантов подбора при совершенствовании костромской породы крупного рогатого скота

Таблица 5 – Общая матрица корреляционных показателей продуктивности коров костромской породы

Генеалогическая группа	Возраст 1-го осеменения	Сервис-период	Межотельный период
Курс 3722	–0,30	0,45	0,42
Мастер 106902	–0,20	0,59	0,62
Меридиан 90827	–0,57	–0,38	–0,46
Ладок 2537	–0,40	0,22	0,24
Концентрат 106157	0,18	0,10	0,12
Хилл 76059	–0,67	0,04	0,06

Примечание: цветовая шкала отражает направление и силу корреляций – светло-серый цвет соответствует положительным связям, тёмно-серый – отрицательным, белый – слабым или отсутствующим.

поскольку позволяет определить наиболее результативные сочетания для получения высокопродуктивного потомства.

Результаты оценки гомогенного подбора показали, что его эффективность определяется генеалогической принадлежностью животных. Наиболее высокие показатели молочной продуктивности и качества молока получены у родственных групп Концентрата 106157, Меридиана 90827 и Леирда 71151, которые могут быть рекомендованы для дальнейшего использования в селекционной работе.

Применение гетерогенного подбора в костромской породе представляет особый интерес в связи с её сложной генетической структурой. Оценка эффективности различных сочетаний позволяет определить наиболее перспективные комбинации и обосновать использование гетерогенного подбора как одного из способов повышения генетического потенциала и продуктивности породы. Лучшие сочетания генеалогических групп в племенных хозяйствах Костромской области представлены в таблице 7.

Анализ гетерогенного подбора показал, что отдельные межлинейные сочетания обеспечивают достоверное повышение молочной продуктивности и улучшение качественного состава молока. Наиболее эффективными оказались комбинации с участием родственных групп Концентрата 106157, Меридиана 90827, Батлера 107506,

Леирда 71151 и Хилла 76059, что подтверждает целесообразность их использования при подборе родительских пар.

Анализ экономической эффективности показал существенные различия между генеалогическими группами костромской породы. Наиболее высокие экономические показатели установлены у родственной группы Хилла 76059 (АО «Племзавод «Караваево»), где при высокой молочной продуктивности и низкой себестоимости производства получена максимальная прибыль – 82,6 тыс. руб. на корову. Средний уровень эффективности отмечен у родственной группы Концентрата 106157 и линии Ладка 2537, прибыль от которых составила 41,9 и 36,6 тыс. руб. соответственно. Наименьшая прибыль выявлена у родственной группы Леирда 71151 в КФХ «Васина М.С.» (6,0 тыс. руб.) и Меридиана 90827 в ООО «Минское» (18,9 тыс. руб.). Полученные результаты свидетельствуют, что уровень молочной продуктивности и себестоимость производства являются основными факторами, определяющими экономическую эффективность разведения коров костромской породы.

Выводы. Проведённые исследования подтвердили высокую эффективность использования различных методов селекционного подбора при совершенствовании костромской породы крупного рогатого скота. Установлено, что наиболее перспективными для селекционной работы являются родственные группы Хилла 76059,

Таблица 6 – Лучшие показатели молочной продуктивности при использовании гомогенного подбора в племенных стадах костромского скота

Хозяйство	Лучшая генеалогическая группа	Удой, кг	Лучшая генеалогическая группа	МДЖ, %	Лучшая генеалогическая группа	МДБ, %
АО «Племзавод «Караваево»	Концентрата 106157	6320	Леирда 71151	4,19	Леирда 71151	3,37
СПК Колхоз «Родина»	Концентрата 106157	5778	Концентрата 106157	4,00	Мастера 106902 / Меридиана 90827	3,23
СПК «Гридино»	Концентрата 106157	5472	Меридиана 90827	4,59	Концентрата 106157	3,33
ООО «Агрофирма «Планета»	Мастера 106902	6036	Меридиана 90827	4,12	Меридиана 90827	3,35
ООО «Минское»	Меридиана 90827	6511	Меридиана 90827	4,22	Меридиана 90827	3,50
КФХ «Васина М.С.»	Леирда 71151	6023	Леирда 71151 / Концентрата 106157	4,07	Концентрата 106157	3,32

Таблица 7 – Лучшие показатели молочной продуктивности при использовании гетерогенного подбора в племенных стадах костромского скота

Хозяйство	Генеалогическая группа отца х генеалогическая группа матери	Число коров, гол.	Удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %
АО «Племзавод «Каравеево»	Батлер 107506 х Концентрат 106157	15	6460	4,15	3,36
	Леирд 71151 х Концентрат 106157	42	6793	4,07	3,36
	Мастер 106902 х Хилл 76059	38	6467	4,17	3,37
	Меридиан 90827 х Концентрат 106157	65	6506	4,10	3,33
	Хилл 76059 х Концентрат106157	16	8153	4,14	3,50
СПК «Родина»	Ладок 2537 х Концентрат106157	23	6481	3,94	3,20
	Меридиан 90827 х Концентрат106157	35	5835	3,96	3,21
СПК «Гридино»	Ладок 2537 х Батлер 107506	14	6707	4,45	3,27
	Мастер 106902 х Меридиан 90827	30	5906	4,49	3,32
ООО «Агрофирма «Планета»	Мастер 106902 х Концентрат106157	21	6464	4,18	3,42
	Меридиан 90827 х Концентрат106157	15	6658	4,07	3,44
ООО «Минское»	Концентрат 106157 х Батлер 107506	11	5938	3,99	3,29
	Ладок 2537 х Батлер 107506	11	5060	4,11	3,27
	Меридиан 90827 х Мастер 106902	31	5516	4,10	3,43
КФХ «Васина М.С.»	Меридиан 90827 х Леирд 71151	16	6472	4,44	3,44
	Леирд х Концентрат 106157	27	5625	4,04	3,25

Меридиана 90827, Концентрата 106157 и Леирда 71151, обладающие высоким генетическим потенциалом по молочной продуктивности, воспроизводительным качествам и качеству молока. Наиболее высокий удой за 305 дней первой лактации отмечен у коров линии Ладка 2537 и составил 5652 кг, тогда как максимальное содержание жира (4,61%) и белка (3,40%) выявлено у животных родственной группы Батлера 107506.

Во всех племенных хозяйствах Костромской области выявлены наиболее эффективные варианты гомогенного и гетерогенного подбора, обеспечивающие повышение молочной продуктивности и качества молока

с учётом особенностей используемых генеалогических групп. Установлено, что рациональное применение различных вариантов подбора способствует более полной реализации наследственного потенциала животных, улучшению воспроизводительных качеств и повышению экономической эффективности производства.

Наибольшая прибыль получена при использовании животных родственной группы Хилла 76059 и составила 82,6 тыс. руб. на корову. Полученные результаты могут быть использованы при разработке региональных программ совершенствования костромской породы и формировании перспективных селекционных планов.

Список источников

1. Амерханов Х. А., Мирошников С. А., Костюк Р. В. [и др.] Проект «Концепции устойчивого развития мясного скотоводства в Российской Федерации на период до 2030 года» // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 1 (97). С. 7–12. EDN YHPSKP.
2. Тамарова Р. В. Тенденции развития молочного скотоводства в Ярославской области в условиях рыночной экономики // Вестник АПК Верхневолжья. 2023. № 1 (61). С. 42–53. DOI 10.35694/YARCX.2023.61.1.005. EDN VNPWDM.
3. Горелик О. В., Лиходеевская О. Е., Харлап С. Ю., Бахарев Ю. В. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы // Теория и практика мировой науки. 2024. № 9. С. 38–42. EDN BVSRZG.
4. Тамарова Р. В., Ермишин А. С. Реализация родительского потенциала продуктивности коровами-первотёлками голштинской породы в АО «Племзавод Ярославка» // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 1 (57). С. 19–24. DOI 10.35694/YARCX.2022.57.1.003. EDN CVZMOV.
5. Гридин В. Ф., Манойлов Р. В., Новицкая К. В., Пузанова И. А. Влияние аллелей, связанных с высоким удоём, на молочную продуктивность стада // Актуальные проблемы растениеводства, животноводства и ветеринарной медицины. Биологические, ветеринарные, сельскохозяйственные, зоотехнические, экологические науки : сб. материалов междуна- род. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 15–16 февраля 2017 года. Екатеринбург : Уральский государственный аграрный университет, 2017. С. 100–103. EDN ZGOMDJ.
6. Айсанов З. М., Тарчоков Т. Т., Пилов А. Х. [и др.] Влияние типа подбора на молочную продуктивность и морфологию вымени коров племенного ядра // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 4 (42). С. 77–86. DOI 10.55196/2411-3492-2023-4-42-77-86. EDN ZEBGCH.
7. Королев А. А., Баранова Н. С., Казаков Д. С., Валавина А. А. Молочное скотоводство Костромской области // Аграрный вестник Нечерноземья. 2023. № 4 (12). С. 26–35. DOI 10.52025/2712-8679_2023_04_26. EDN TMCKZR.
8. Королев А. А., Баранова Н. С., Королева Е. А. Совершенствование скота костромской породы при использовании быков-производителей отечественной и импортной селекции : монография. М. : НИЦ ИНФРА-М., 2023. 206 с. ISBN 978-5-16-017975-9. DOI 10.12737/1900632.

9. Бакай Ф. Р., Мухтаров А. М. Взаимосвязь молочной продуктивности с воспроизводительными функциями у коров с разными индексами постоянства лактации // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 5-2 (119). С. 21–28. DOI 10.23670/IRJ.2022.119.5.003. EDN SLPQUF.

10. Столповский Ю. А., Гостева Е. Р., Солоднева Е. В. Генетические и селекционные аспекты истории развития скотоводства на территории России. М. : ООО «Акварель», 2022. 88 с. ISBN 978-5-904787-91-2. EDN SQUIXD.

References

1. Amerkhanov Kh. A., Miroshnikov S. A., Kostyuk R. V. [i dr.] Proekt «Koncepcii ustojchivogo razvitiya myasnogo skotovodstva v Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda» // Vestnik myasnogo skotovodstva. 2017. № 1 (97). S. 7–12. EDN YHPSKP.

2. Tamarova R. V. Tendencii razvitiya molochnogo skotovodstva v Yaroslavskoj oblasti v usloviyah rynochnoj ekonomiki // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2023. № 1 (61). S. 42–53. DOI 10.35694/YARCX.2023.61.1.005. EDN VNPWDM.

3. Gorelik O. V., Likhodeevskaya O. E., Kharlap S. Yu., Bakharev Yu. V. Molochnaya produktivnost' i vosпроизводительnye kachestva korov golshtinskoj porody // Teoriya i praktika mirovoj nauki. 2024. № 9. S. 38–42. EDN BVSZRG.

4. Tamarova R. V., Ermishin A. S. Realizaciya roditel'skogo potentsiala produktivnosti korovami-pervotolkami golshtinskoj porody v AO «Plemzavod Yaroslavl» // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2022. № 1 (57). S. 19–24. DOI 10.35694/YARCX.2022.57.1.003. EDN CVZMOB.

5. Gridin V. F., Manojlov R. V., Novitskaya K. V., Puzanova I. A. Vliyanie allelej, svyazannyh s vysokim udoem, na molochnuyu produktivnost' stada // Aktual'nye problemy rastenievodstva, zhivotnovodstva i veterinarnoj mediciny. Biologicheskie, veterinarnye, sel'skoxozyajstvennye, zootehnicheskie, ekologicheskie nauki : sb. materialov mezhdunarod. nauch.-prakt. konf., Ekaterinburg, 15–16 fevralya 2017 goda. Ekaterinburg : Ural'skij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2017. S. 100–103. EDN ZGOMDJ.

6. Ajsanov Z. M., Tarchokov T. T., Pilov A. Kh. [i dr.] Vliyanie tipa podbora na molochnuyu produktivnost' i morfologiyu vymeni korov plemennogo yadra // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V. M. Kokova. 2023. № 4 (42). S. 77–86. DOI 10.55196/2411-3492-2023-4-42-77-86. EDN ZEBGCH.

7. Korolev A. A., Baranova N. S., Kazakov D. S., Valavina A. A. Molochnoe skotovodstvo Kostromskoj oblasti // Agrarnyj vestnik Nechernozem'ya. 2023. № 4 (12). S. 26–35. DOI 10.52025/2712-8679_2023_04_26. EDN TMCKZP.

8. Korolev A. A., Baranova N. S., Koroleva E. A. Sovershenstvovanie skota kostromskoj porody pri ispol'zovanii bykov-proizvoditelej otechestvennoj i importnoj selekcii : monografiya. M. : NIC INFRA-M., 2023. 206 s. ISBN 978-5-16-017975-9. DOI 10.12737/1900632.

9. Bakaj F. R., Mukhtarov A. M. Vzaimosvyaz' molochnoj produktivnosti s vosпроизводительnymi funkciyami u korov s raznymi indeksami postoyanstva laktacii // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2022. № 5-2 (119). S. 21–28. DOI 10.23670/IRJ.2022.119.5.003. EDN SLPQUF.

10. Stolpovskij Yu. A., Gosteva E. R., Solodneva E. V. Geneticheskie i selekcionnye aspekty istorii razvitiya skotovodstva na territorii Rossii. M. : ООО «Акварель», 2022. 88 с. ISBN 978-5-904787-91-2. EDN SQUIXD.

Сведения об авторах

Анна Альбертовна Валавина – преподаватель кафедры частной зоотехнии, разведения и генетики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 7662-3320.

Надежда Сергеевна Баранова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения и генетики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 5892-2760.

Information about the authors

Anna A. Valavina – Lecturer of the Department of Small Animal Science, Breeding and Genetics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 7662-3320.

Nadezhda S. Baranova – Doctor of Agricultural Sciences, Full Professor, Head of the Department of Small Animal Science, Breeding and Genetics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 5892-2760.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Научная статья

УДК 636.082

doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.014

ЧАСТОТА ГЕНОТИПОВ И СРЕДНЕСУТОЧНЫЙ ПРИРОСТ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА РАЗНЫХ АЛЛЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ГЕНА РЕЦЕПТОРА ГОРМОНА РОСТА (*GHR*)

А. А. Чаицкий¹, П. О. Щеголев², К. Д. Чаицкая³, В. А. Цветкова⁴, Е. П. Галкина⁵

^{1, 2, 3, 4, 5}Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алексей Александрович Чаицкий, aleksei_chaitskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-5853-3809

Реферат. В статье рассматриваются данные о распространённости различных генотипов гена рецептора гормона роста (*GHR*) и их влиянии на показатели роста молодняка в региональных породах молочного скота Костромской области. Вовлечённость гена рецептора гормона роста в регуляцию функций соматотропного каскада позволяет рассматривать данный локус как генетический маркер, пригодный для селекции крупного рогатого скота по признакам весового и линейного роста молодняка, а также по мясным качествам. Генотипирование по гену *GHR* проводили методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени, при этом во всех породах самым распространённым генотипом был АА (в среднем около 60,0%), а наиболее редким – ТТ (от 2,7 до 14,6%). Сравнительный анализ животных разных генотипов показал достоверное превосходство 18-месячных тёлочек костромской породы с генотипом ТТ относительно сверстниц с генотипом АА – на 14,4% по живой массе ($P = 0,01578$) и на 17,0% – по среднесуточному приросту живой массы ($P = 8,186 \times 10^{-5}$). Молодняк чёрно-пёстрой породы с генотипом ТТ, напротив, отличался меньшей скоростью роста во второе полугодие периода выращивания по сравнению со сверстницами генотипов АА и АТ – на 21,7 и 27,0% ($P = 1,503 \times 10^{-4}$ и $1,461 \times 10^{-3}$ соответственно). Таким образом, полученные результаты позволяют рассматривать ген рецептора гормона роста в качестве потенциального ДНК-маркера, пригодного для селекции скота молочного и комбинированного направления продуктивности в сторону повышения показателей роста и развития молодняка в период выращивания и улучшения признаков мясной продуктивности скота, что в конечном итоге может способствовать повышению экономической эффективности выращивания ремонтного молодняка и откорма сверхремонтных животных.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, ген, рецептор гормона роста, соматотропин (гормон роста), мясная продуктивность, комбинированная селекция

GENOTYPE FREQUENCY AND AVERAGE DAILY GAIN OF YOUNG CATTLE WITH DIFFERENT ALLELIC VARIANTS OF THE GROWTH HORMONE RECEPTOR (*GHR*) GENE

A. A. Chaitskiy¹, P. O. Schiogolev², K. D. Chaickaya³, V. A. Tsvetkova⁴, E. P. Galkina⁵

^{1, 2, 3, 4, 5}Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

Author responsible for correspondence: Aleksey A. Chaitskiy, aleksei_chaitskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-5853-3809

Abstract. This paper presents data on the distribution of different genotypes of the growth hormone receptor (*GHR*) gene and their effect on the growth performance of young cattle in regional dairy cattle breeds of the Kostroma region. The involvement of the growth hormone receptor gene in the regulation of the somatotropin cascade allows this locus to be considered as a genetic marker suitable for cattle breeding for traits of weight and linear growth of young animals, as well as for meat quality traits. Genotyping for the *GHR* gene was performed by real-time polymerase chain reaction. In all breeds, the AA genotype was the most prevalent (on average, about 60.0%), whereas the TT genotype was the rarest (from 2.7 to 14.6%). A comparative analysis of animals with different genotypes revealed a significant superiority of 18-month-old heifers of the Kostroma breed with the TT genotype over their herdmates with the AA genotype – by 14.4% in live weight ($P = 0.01578$) and by 17.0% in average daily gain in live weight ($P = 8.186 \times 10^{-5}$). In contrast, young cattle of the Black-and-White breed with the TT genotype exhibited a lower growth rate in the second half of the rearing period compared to their herdmates with the AA and AT genotypes – by 21.7% and 27.0%, respectively ($P = 1.503 \times 10^{-4}$ and $P = 1.461 \times 10^{-3}$). Thus, the obtained results suggest that the growth hormone receptor gene can be considered a potential DNA marker suitable for selection in dairy and dual-purpose cattle breeds to enhance the growth and development traits

Частота генотипов и среднесуточный прирост молодняка крупного рогатого скота разных аллельных вариантов гена рецептора гормона роста (*GHR*)

of young animals during the rearing period and to improve meat performance traits. Ultimately, this may contribute to increasing the economic efficiency of rearing replacement stock and fattening non-replacement animals.

Keywords: *cattle, gene, growth hormone receptor, somatotropin (growth hormone), meat performance, combined breeding*

Введение. В качестве генетического маркера, связанного с ростом и развитием животных, а также молочной и мясной продуктивностью, в животноводстве часто используется ген соматотропина или гормона роста (*GH*), благодаря его вовлечённости в регуляцию роста, метаболизма (углеводного, липидного, белкового и минерального обмена), а также, по некоторым данным, влиянию на лактацию и состав молока крупного рогатого скота [1–3]. Однако соматотропин действует на клетки-мишени не напрямую, а опосредованно через специфический рецептор гормона роста, который синтезируется путём экспрессии соответствующего гена (*GHR*) [4; 5]. Ген рецептора гормона роста расположен на 20-й хромосоме крупного рогатого скота, имеет в своём составе 9 экзонов и отличается высокой полиморфностью [6]. Согласно литературным данным, частота встречаемости минорной аллели (MAF) по локусу *GHR* в костромской породе составляет 0,259 [7], чёрно-пёстрой – 0,212 [8], голштинской – 0,226 [9].

Поскольку изменения в функциональной области *GHR* могут влиять на пути связывания и передачи сигналов гормона роста, а впоследствии и на его активность в тканях, изменения в данном гене также способны влиять на регуляцию анаболических процессов в организме крупного рогатого скота [8; 10]. При этом, по данным J. Lee et al. (2021), действие гормона роста на ткани-мишени с возрастом ослабевает, что является результатом снижения экспрессии генов-регуляторов, в том числе гена *GHR* [11]. Е. В. Белая с соавторами (2012) установили связь гетерозиготного генотипа FУ по локусу F279Y гена *GHR* с повышенным удоем коров голштинской породы относительно среднего значения по выборке животных [12]. R. Curi et al. (2006) в опытах на телятах породы неллор и кроссов шароле-хэббу и симментал-хангус установили, что при выращивании молодняка в период с 8 до 12-месячного возраста полиморфизм AluI локуса *GHR* достоверно влияет на их среднесуточные привесы и живую массу на конец периода выращивания [13]. А. Maj et al. (2004) в экспериментах на скоте ряда мясных пород (абердин-ангус, шароле, лимузин, герефорд) установили значимую связь AluI-полиморфизма со среднесуточным приростом молодняка в возрасте 13–15 месяцев [14]. В то же время результаты исследования Н. П. Герасимова и соавторов (2023), проведённого на молодняке казахской белоголовой породы, не показали значимого влияния полиморфизма гена *GHR* на показатели роста живой массы, однако была обнаружена достоверная ассоциация данного локуса с показателями эффективности использования кормов [15].

В ряде научных работ установлена связь различных аллельных вариантов гена рецептора гормона роста с показателями прироста живой массы крупного рогатого скота на откорме, послеубойными параметрами туши

(масса туши, процент разделки и веса постного мяса, потери жидкости при хранении) [13; 16; 17]. Кроме того, авторами отмечается влияние полиморфизма гена *GHR* на показатели удоя коров, содержания жира и белка в молоке, а также количества соматических клеток в нём [18; 19]. Кроме того, полиморфизм гена рецептора гормона роста оказывает влияние на некоторые показатели воспроизводительной способности коров: возраст первого отёла [20; 21], длительность межотельного интервала [22], долголетие и количество дойных дней [23], интервал от отёла до оплодотворения и число осеменений на одно оплодотворение [20; 24], возобновление послеродового развития фолликулов [25], выживаемость эмбрионов и частоту оплодотворения [22; 26].

Таким образом, благодаря своему множественному воздействию на различные структуры и ткани организма ген рецептора гормона роста представляет значительный интерес для дальнейших исследований в качестве ДНК-маркера комбинированной селекции. При этом данные о влиянии полиморфизма гена *GHR* на фенотипические признаки скота молочного и молочно-мясного направления продуктивности таких отечественных пород, как чёрно-пёстрая, ярославская и костромская, практически отсутствуют в научной литературе.

Цель исследования состояла в изучении полиморфизма гена рецептора гормона роста у скота костромской, ярославской, чёрно-пёстрой и голштинской пород и выявлении ассоциативной связи между аллельными вариантами данного локуса и среднесуточным приростом живой массы подопытных животных в период выращивания.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились в племенных предприятиях Костромской области. Объектом исследований являлись тёлки костромской ($n = 155$), ярославской ($n = 41$), чёрно-пёстрой ($n = 68$) и голштинской ($n = 128$) пород в период от рождения до 18 месяцев. У исследуемых животных отобраны образцы периферической крови в стерильные промаркированные пробирки с антикоагулянтом ЭДТА К2 («Lab-Vac», Китай) с последующей экстракцией образцов ДНК при помощи набора «ГС-Генетика» (ООО «НПО ДНК-технология», Россия) в соответствии с инструкцией. Полученные образцы ДНК хранили при температуре -20°C .

Генотипирование по гену рецептора гормона роста (rs385640152) проводили методом полимеразной цепной реакции в режиме реального времени на амплификаторе «ДТ-Прайм» (ООО «НПО ДНК-технология», Россия). Генотип определяли посредством анализа кривых плавления.

Данные зоотехнического учёта были получены из системы «СЕЛЭКС» – Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах (ООО «РЦ ПЛИНОР», Россия).

Частоту генотипов рассчитывали по формуле (1):

$$P = \frac{m}{N}, \quad (1)$$

где P – частота встречаемости генотипа в группе; m – количество носителей определённого генотипа; N – общее число особей.

Частоту аллелей вычисляли по формуле (2):

$$p = \frac{2n_{AA} + n_{AT}}{2N} \text{ и } q = \frac{2n_{TT} + n_{AT}}{2N}, \quad (2)$$

где p – частота встречаемости аллеля A ; q – частота встречаемости аллеля T ; n_{AA} , n_{AT} , n_{TT} – число носителей генотипов AA , AT и TT соответственно; N – общее число животных в группе.

Среднесуточный прирост исследуемых животных рассчитывали за период от рождения до 6 месяцев, от 6 до 12 месяцев и от 12 до 18 месяцев по формуле (3):

$$D = \frac{Wt - Wo}{T}, \quad (3)$$

где D – среднесуточный прирост, г; Wt – живая масса на конец периода, кг; Wo – живая масса на начало периода, кг; T – время между двумя взвешиваниями, суток.

Гипотезу об отличии наблюдаемых частот генотипов от теоретически ожидаемых проверяли при помощи критерия Пирсона (χ^2), при этом за нулевую гипотезу принимали отсутствие разницы. Статистически значимыми принимали различия частот при $P < 0,05$.

Сравнительный анализ числовых фенотипических показателей проводили с расчётом критериев достоверности разности между средними показателями выборок: Стьюдента, Уэлча и Манна–Уитни, с коррекцией полученных p -значений путём применения поправки Бонферрони на множественное тестирование статистических гипотез, при этом скорректированный порог статистической значимости при сравнении 3-х групп составлял $P = 0,01667$.

При выборе критерия достоверности для оценки статистической значимости разности между средними

показателями групп руководствовались результатами вспомогательных статистических тестов. Проверка допущения о соответствии выборки нормальному типу распределения проводилась путём расчёта критерия Шапиро–Уилка, проверка допущения об однородности сравниваемых выборок – при помощи критерия Брауна–Форсайта.

Первичную статистическую обработку результатов исследований проводили по общепринятым методикам при помощи табличного процессора Excel, входящего в пакет офисных программ Microsoft Office 2019. Проверку статистических гипотез осуществляли при помощи графической надстройки JASP версии 0.98.1 над языком статистического программирования R версии 4.0.5.

Результаты исследований. Результаты генотипирования показали, что в изучаемых популяциях преобладают животные генотипов AA и AT (рис. 1).

Так, среди коров костромской, чёрно-пестрой и голштинской пород наиболее распространённым является генотип AA (60,0%, 57,4%, 64,1% особей соответственно), в то время как вариант TT регистрировали у 3,1–4,5% животных (рис. 1). В популяции ярославской породы особей TT выявлено сравнительно больше – 14,6%, при этом в данной популяции преобладал генотип AT (51,2% особей).

Несмотря на различную частоту генотипов GHR , в региональных популяциях молочного скота было установлено преобладание аллеля A (рис. 2).

В то же время в популяции ярославской породы частота аллеля T была вдвое больше (0,402), а разница между A и T менее выраженной. Анализ распределения аллелей гена GHR не выявил значимого отклонения частот генотипов, ожидаемых согласно закону Харди–Вайнберга, от значений, наблюдаемых в изучаемых популяциях скота ($P > 0,05$). Это свидетельствует о соблюдении генного равновесия во всех протестированных группах животных, что говорит об отсутствии селекционного давления на региональные популяции молочного скота по данному локусу.

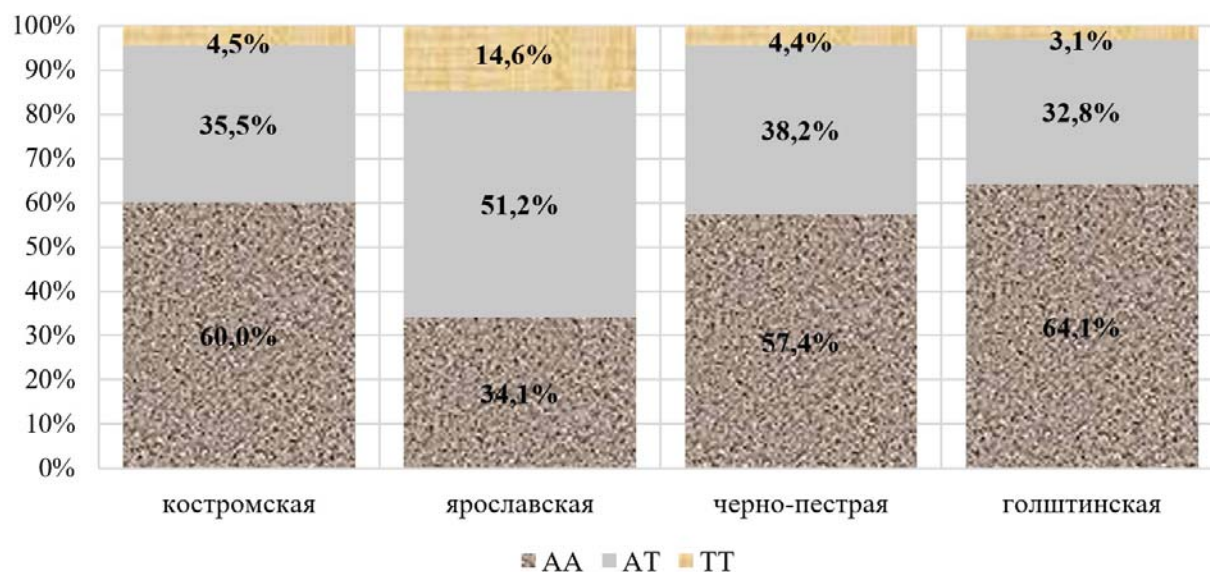
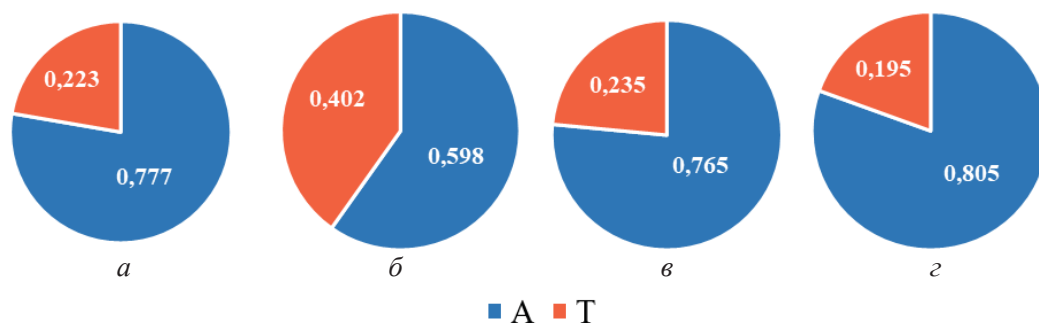


Рисунок 1 – Частота генотипов гена GHR исследуемых популяций



а – костромская порода; б – ярославская порода; в – чёрно-пёстрая порода;
г – голштинская порода.

Рисунок 2 – Частота аллелей гена *GHR* у тёлочек

При изучении живой массы исследуемых животных разных генотипов по гену *GHR* не выявлено различий по данному показателю при рождении. Однако с возрастом наблюдаются некоторые отличия (табл. 1).

Так, в популяции костромской породы среди шестимесячных животных наиболее высокую живую массу ре-

гистрировали у носителей генотипов АА, АТ (в среднем 160–162 кг). Однако в 12 и 18 месяцев превосходство было на стороне гомозиготных сверстниц ТТ, живая масса которых была выше на 7,3%, по сравнению с АА, и на 4,2% – с АТ. Показатели гетерозигот занимали промежуточное значение, превосходя АА, но уступая ТТ. При

Таблица 1 – Живая масса тёлочек с разными генотипами гена *GHR*

Хозяйство / порода	Генотип	n	Живая масса, кг			
			Возраст, мес.			
			при рождении	6	12	18
Костромская порода						
АО «Племзавод «Караваево»	АА	21	37,10±0,42	168,10±6,79	305,19±14,95	408,57±14,03*
	АТ	23	37,00±0,53	169,65±6,01	333,65±13,39	436,04±12,59
	ТТ	3	37,33±2,03	157,00±21,73	333,00±22,03	477,50±6,94
СПК колхоз «Родина»	АА	24	32,71±0,66	144,50±4,09	272,63±7,21	392,58±4,73
	АТ	12	33,67±0,67	146,00±9,14	270,42±7,40	405,08±5,83
	ТТ	1	30,00	170,00	301,00	419,00
СПК «Гридино»	АА	48	36,88±0,45	164,25±2,66	290,51±5,12	390,19±9,99
	АТ	20	35,90±0,81	161,05±2,82	279,42±5,25	375,16±10,44
	ТТ	3	36,00±3,00	157,00±2,00	292,67±10,67	392,00±14,00
Среднее по породе	АА	93	35,85±0,36	160,72±5,20	289,20±10,04	395,01±12,95
	АТ	55	35,87±0,43	162,57±5,25	300,52±11,18	407,74±11,55
	ТТ	7	35,71±1,69	158,86±12,92	311,14±18,49	425,00±25,99
Ярославская порода						
ООО «Ладыгино»	АА	14	30,00±0,00	123,71±5,95	212,57±7,70	300,57±9,39
	АТ	21	30,38±0,38	125,29±5,87	208,10±4,94	289,67±5,78
	ТТ	6	30,33±0,33	120,17±6,98	203,83±8,09	291,33±8,65
Чёрно-пёстрая порода						
СПК «Раслово»	АА	39	31,36±0,51	152,18±3,89	286,95±6,72	404,53±9,74
	АТ	26	30,31±0,39	158,46±4,55	284,00±7,30	399,84±10,27
	ТТ	3	30,33±0,88	138,00±12,06	236,33±15,60	335,67±18,68
Голштинская порода						
ООО «Сущево»	АА	82	38,69±0,50	182,04±3,65	341,06±6,70	440,61±5,61
	АТ	42	40,21±0,73	185,95±4,03	337,29±8,13	439,03±7,43
	ТТ	4	37,25±1,25	166,25±16,29	315,75±15,77	445,50±9,46

Примечание: * – здесь и далее достоверность различий указана в сравнении с генотипом ТТ ($P \leq 0,01667$).

этом в стаде АО «Племзавод «Каравеево» живая масса тёлочек с генотипом АА в возрасте 18 месяцев была ниже на 14,4%, чем у животных с генотипом ТТ ($P = 0,01578$ по критерию Манна-Уитни), и на 6,3% – по сравнению с гетерозиготами, однако в этом случае разница не преодолела порог статистической значимости с учётом поправки Бонферрони ($P = 0,01962$ по критерию Манна-Уитни).

В популяции ярославской породы в первые полгода жизни сохраняется аналогичная тенденция, однако в 12 и 18 месяцев преимущество в живой массе регистрировали у особей генотипа АА, но разница в показателях была незначительной – в среднем на 3–4% выше по сравнению с ТТ. При этом в 18 месяцев наименьшую живую массу регистрировали у носителей гетерозигот АТ.

В выборке молодняка чёрно-пёстрой породы разница между генотипами была более выражена с преимуществом на стороне носителей АА и АТ. В 6 месяцев живая масса у носителей генотипов АА была выше на 9,1%, а у носителей генотипов АТ – на 11,2%, чем у особей с генотипом ТТ. В 12 месяцев разница между животными с генотипом АА и ТТ составила 19,2%, а АТ и ТТ – 18,3%, а в 18 месяцев эта разница состави-

ла 18,6 и 17,5% соответственно. Однако ни в одном из этих случаев разница между генотипами не преодолела скорректированного порога статистической значимости ($P > 0,01667$).

Среди тёлочек голштинской породы в 6 и 12 месяцев наиболее высокую живую массу по-прежнему отмечали у носителей генотипа АА и АТ гена *GHR*. Так, живая масса особей с генотипом АА и АТ была выше, чем у носителей генотипов ТТ в 6 месяцев, на 9,1% и 11,2%, а в 12 месяцев – на 7,7 и 6,6% соответственно. В 18 месяцев разница была незначительна, при этом наиболее высокие показатели отмечали у особей с генотипом ТТ ($445,50 \pm 9,46$ кг).

Показатели среднесуточного прироста тёлочек с разными генотипами гена *GHR* представлены в таблице 2.

При анализе данных среднесуточного прироста (табл. 2) отмечали тенденцию к более высоким показателям у особей с генотипом АА и АТ в первые полгода жизни животных. При этом в последующие периоды в зависимости от породы показатели изменялись по-разному.

Так, животные костромской породы с генотипом ТТ стада АО «Племзавод «Каравеево» достоверно пре-

Таблица 2 – Среднесуточный прирост тёлочек с разными генотипами гена *GHR*

Хозяйство / порода	Генотип	n	Среднесуточный прирост, г		
			Возраст, мес.		
			1–6	6–12	12–18
Костромская порода					
АО «Племзавод «Каравеево»	АА	21	727,78±37,23	761,64±47,56	574,34±43,54*
	АТ	23	736,96±32,53	911,11±53,58	568,84±35,85
	ТТ	3	664,81±131,95	977,78±149,38	691,67±34,02
СПК колхоз «Родина»	АА	24	617,78±21,81	720,28±27,12	666,44±26,04
	АТ	12	622,92±48,83	715,28±41,06	748,15±58,94
	ТТ	1	777,78	727,78	655,56
СПК «Гридино»	АА	48	707,64±14,54	704,73±21,05	553,78±41,50
	АТ	20	695,28±12,97	657,60±20,17	531,87±56,71
	ТТ	3	672,22±5,56	753,70±70,37	551,85±18,52
Среднее по породе	АА	93	692,20±27,77	721,84±35,56	587,86±52,06
	АТ	55	702,72±27,64	783,44±46,66	595,68±46,53
	ТТ	7	684,13±79,92	846,03±119,08	615,74±45,38
Ярославская порода					
ООО «Ладыгино»	АА	14	520,63±33,03	493,65±31,22	488,89±49,24
	АТ	21	527,25±32,66	460,05±29,91	453,17±22,18
	ТТ	6	499,07±37,06	464,81±18,74	486,11±15,10
Чёрно-пёстрая порода					
СПК «Раслово»	АА	39	671,23±21,18	766,61±34,18*	670,62±39,29
	АТ	26	711,97±24,93	714,10±30,28*	571,45±109,38
	ТТ	3	598,15±62,55	559,35±21,37	565,04±18,09
Голштинская порода					
ООО «Сущево»	АА	82	796,36±19,53	883,47±22,28	542,62±21,56
	АТ	42	809,66±20,87	840,74±29,11	497,78±66,92
	ТТ	44	716,67±85,20	830,56±26,88	720,83±61,34

восходили сверстники с генотипом АА в период 12–18 месяцев по среднесуточному приросту на 18,5% ($P = 8,186 \times 10^{-5}$ по критерию Уэлча). Разница в показателях между ТТ и АТ в данный период также составляла 19,5%, но не преодолела порог статистической значимости с учётом корректировки на множественность тестирования ($P = 0,0293$ по критерию Манна–Уитни). В среднем по породе в период 6–12 месяцев особи с генотипом ТТ превосходили носителей генотипов АА и АТ по среднесуточному приросту на 15,8 и 7,7%, а в 12–18 месяцев – на 4,6 и 3,3% соответственно. При этом в период 1–6 месяцев тёлки с генотипом ТТ незначительно уступали сверстницам с генотипом АА (на 1,17%) и АТ (на 2,7%).

В популяции скота ярославской породы, наоборот, наиболее высокими показателями характеризовались носители генотипа АА, которые превосходили носителей генотипов АТ и ТТ в период 6–12 месяцев на 7,1 и 6,0%, а в 12–18 месяцев – на 7,6 и 0,6% соответственно.

Аналогичная тенденция наблюдалась и у чёрно-пёстрой породы скота, причём в возрасте 6–12 месяцев особи данной выборки с генотипами АА и АТ достоверно превосходили сверстников с генотипом ТТ на 21,7 и 27,0% (соответственно, $P = 1,503 \times 10^{-4}$ и $1,461 \times 10^{-3}$ по критерию Уэлча). Характер этой тенденции сохранился и в 12–18-месячном возрасте выращивания тёлочек данной выборки, но разница между генотипами АА–ТТ и АТ–ТТ (15,7% и 0,9% соответственно) уже не достигала порога статистической значимости ($P > 0,01667$).

Тёлки голштинской породы с генотипом АА в период 6–12 месяцев превосходили сверстников с генотипами

АТ и ТТ на 5,0 и 6,2% соответственно. В период 12–18 месяцев носители генотипа ТТ отличались более высокими показателями прироста: на 36,6% по сравнению с генотипом АТ и на 28,2% в сравнении с генотипом АА. Однако ни в одном из этих случаев разница не достигла порога статистической значимости ($P > 0,01667$).

Выводы. Таким образом, в популяциях крупного рогатого скота костромской, ярославской, чёрно-пёстрой и голштинской пород Костромской области наиболее распространены генотипы АА и АТ гена *GHR*. При этом различия по живой массе и интенсивности роста тёлочек разных генотипов в костромской породе проявились к 18-месячному возрасту, с преимуществом на стороне животных с генотипом ТТ. В популяциях ярославской, чёрно-пёстрой и голштинской пород данный генотип, напротив, характеризовался наименьшими показателями живой массы и среднесуточного прироста по сравнению со сверстницами альтернативных генотипов, что подтверждается наличием статистически значимых различий. Полученные результаты свидетельствуют о возможной ассоциативной связи полиморфизма гена *GHR* с показателями роста и развития молодняка и могут представлять практический интерес в селекции крупного рогатого скота. Однако выраженная породная специфичность фенотипического эффекта может свидетельствовать о возможном влиянии других генетических факторов, не учтённых в данном исследовании. Поэтому целесообразно продолжить исследования полиморфизма гена рецептора гормона роста в комплексе с другими генетическими маркерами роста и развития животных с увеличением подопытного поголовья.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сычева О. В., Кононова Л. В. Генетические маркеры в молочном скотоводстве // Аграрно-пищевые инновации. 2018. № 1 (1). С. 27–31. EDN OSOHGP.
2. Васильева Л. И., Митюшко В. И. Молекулярно-генетические маркеры для оценки генетического полиморфизма // Вестник Студенческого научного общества. 2017. Т. 8, № 1. С. 157–160. EDN XMIAYN.
3. Селищева Е. А., Дерхо М. А. Роль СТГ и ИФР-1 в белковом обмене организма телят голштинизированной черно-пестрой породы // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2020. Т. 242, № 2. С. 159–164. DOI 10.31588/2413-4201-1883-242-2-159-165. EDN NYIXXG.
4. Валитов Ф. Р., Парамонова М. А., Валитова Р. Ф. Полиморфизм гена *GHR* голштинской породы крупного рогатого скота // Молодые учёные: преемственность наследия, взгляд в будущее : материалы I Всеросс. науч.-практ. конф., посвящ. Дню российской науки, Саратов, 14 февраля 2025 года. Саратов : Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, 2025. С. 34–39. EDN TPCNHZ.
5. Кожевникова И. С., Ступина А. О., Классен И. А. Роль генов соматотропной оси в регуляции продуктивных качеств молочного и мясного скота (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025. Т. 26, № 4. С. 713–724. DOI 10.30766/2072-9081.2025.26.4.713-724. EDN MTECXJ.
6. Бейшова И. С. Фенотипические эффекты генов соматотропинового каскада, ассоциированных с мясной продуктивностью у коров казахской белоголовой породы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 48–53. EDN OTEFVL.
7. Лазебная И. В., Перчун А. В., Лазебный О. Е. Внутривидовая дифференциация аборигенной костромской породы крупного рогатого скота на основе SNP-маркеров мясной продуктивности // Успехи современной биологии. 2022. Т. 142, № 5. С. 463–476. DOI 10.31857/S0042132422050088. EDN HHGUHV.
8. Виноградова И. В., Костюнина О. В., Сермягин А. А. [и др.] Ассоциация полиморфизма генов *DGAT1* и *GHR* с показателями молочной продуктивности коров черно-пестрой породы // Молочное и мясное скотоводство. 2018. № 2. С. 8–11. EDN UNZORA.
9. Михайлова М. Е., Белая Е. В. Влияние полиморфных вариантов генов соматотропинового каскада *bGH*, *bGHR* и *bIGF-1* на признаки молочной продуктивности у крупного рогатого скота голштинской породы // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2011. Т. 55, № 2. С. 63–69. EDN ZHREYR.
10. Шевхужев А. Ф., Криворучко А. Ю., Погодаев В. А. [и др.] Полиморфизм генов, ассоциированных с качеством мяса у крупного рогатого скота (обзор) // Сельскохозяйственный журнал. 2022. № 4 (15). С. 128–135. DOI 10.25930/2687-1254/014.4.15.2022. EDN MKNSXG.
11. Lee J., Beak S. H., Kim D. H. [et al.] PSII-B-25 Age-related changes in growth hormone-insulin like growth factor 1 axis-regulating factors and metabolic hormones in Korean cattle steer // Journal of Animal Science. 2021, Vol. 99, Suppl. 3. P. 350–351. DOI 10.1093/jas/skab235.643.

12. Белая Е. В., Михайлова М. Е., Батин Н. В. Комбинированные фенотипические эффекты полиморфных вариантов генов соматотропного каскада (bPit-1, bPr1, bGH, bGHR и bIGF-1) на признаки молочной продуктивности у крупного рогатого скота голштинской породы // Молекулярная и прикладная генетика. 2012. Т. 13. С. 36–43. EDN VQFEIQ.
13. Curi R., Palmieri D. A., Sugisawa L. [et al.] Effects of *GHR* gene polymorphisms on growth and carcass traits in Zebu and crossbred beef cattle // *Livestock Science*. 2006. Vol. 101, Is. 1. P. 94–100. DOI 10.1016/j.livprodsci.2005.09.015.
14. Maj A., Oprzadek J., Oprzadek A. [et al.] Polymorphism in the 5'-noncoding region of the bovine growth hormone receptor gene and its association with meat production traits in cattle // *Animal Research*. 2004. Vol. 53, № 6. P. 503–514. DOI 10.1051/animres:2004038.
15. Gerasimov N. P., Dzhulamanov K. M., Lebedev S. V., Kolpakov V. I. Effect of IGF-1 C472T, GH C2141G, and GHR T914A polymorphisms on growth performance and feed efficiency in young Kazakh white-headed cattle // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16, № 8. P. 1584–1592. DOI 10.14202/vetworld.2023.1584-1592.
16. Maj A., Oprzadek J. M., Dymnicki E. [et al.] Association of the polymorphism in the 5'-noncoding region of the bovine growth hormone receptor gene with meat production traits in Polish Black-and-White cattle // *Meat Science*. 2006. Vol. 72, Is. 3. P. 539–544. DOI 10.1016/j.meatsci.2005.09.001.
17. Di Stasio L., Destefanis G., Brugiapaglia A. [et al.] Polymorphism of the *GHR* gene in cattle and relationship with meat production and quality // *Animal Genetics*. 2005. Vol. 36. P. 138–140. DOI 10.1111/j.1365-2052.2005.01244.x.
18. Waters S. M., McCabe M. S., Howard D. J. [et al.] Associations between newly discovered polymorphisms in the *Bos taurus* growth hormone receptor gene and performance traits in Holstein-Friesian dairy cattle // *Animal Genetics*. 2011. Vol. 42. P. 39–49. DOI 10.1111/j.1365-2052.2010.02087.x.
19. Muhaghegh-Dolatabady M., Habibzad J., Bahreini Behzadi M. R. Association of TG-repeats in the 5'-flanking region of bovine growth hormone receptor (*GHR*) gene with milk production traits and somatic cell count in Holstein cattle // *Journal of Livestock Science and Technologies*. 2013. Vol. 1, Is. 1. P. 29–34. DOI 10.22103/jlst.2013.481.
20. Abeygunawardana D. I., Ranasinghe R. M. S. B. K., De Silva S. N. T. [et al.] Prevalence of growth hormone receptor gene polymorphisms and their association with milk production and fertility-related traits of cross-bred dairy cows in Sri Lanka // *Animal Biotechnology*. 2024. Vol. 35, Is. 1. Art. 2307012. DOI 10.1080/10495398.2024.2307012.
21. Олейник С. А., Лесняк А. В. Генетическое разнообразие гена гормона роста и его связь с репродуктивной функцией у джерсейского скота // *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2025. Т. 15, № 2. С. 42–52. DOI 10.31279/2949-4796-2025-15-2-42-52. EDN UGPXUC.
22. Schneider A., Corrêa M. N., Butler W. Association between growth hormone receptor *41uI* polymorphism and fertility of Holstein cows // *Theriogenology*. 2013. Vol. 80, Is. 9. P. 1061–1066. DOI 10.1016/j.theriogenology.2013.08.006.
23. Kasprzak-Filipek K., Żółkiewski P., Chabuz W., Sawicka-Zugaj W. Effects of Polymorphism of the Growth Hormone Receptor (*GHR*) Gene on the Longevity and Milk Performance of White-Backed Cattle // *Animals*. 2025. Vol. 15, Is. 8. Art. 1151. DOI 10.3390/ani15081151.
24. Cruz G. S., Correa R. M. S., Macedo D. B. [et al.] Association between somatotrophic axis gene polymorphisms and reproductive efficiency of bovine females: a review // *Brazilian Animal Science*. 2022. Vol. 23. Art. e-72386E. DOI 10.1590/1809-6891v23e-72386E.
25. Durante L. I., Angeli E., Etchevers L. [et al.] Evaluation of the expression of growth hormone and its receptor during the resumption of postpartum ovarian follicle development in dairy cows // *Reproductive Biology*. 2024. Vol. 24, Is. 1. Art. 100848. DOI 10.1016/j.repbio.2023.100848.
26. Khatib H., Huang W., Wang X., Tran A. H. Single gene and gene interaction effects on fertilization and embryonic survival rates in cattle // *Journal of Dairy Science*. 2009. Vol. 92, Is. 5. P. 2238–2247. DOI 10.3168/jds.2008-1767.

References

1. Sycheva O. V., Kononova L. V. Geneticheskie markery v molochnom skotovodstve // *Agrarno-pishchevye innovacii*. 2018. № 1 (1). С. 27–31. EDN OSOHGP.
2. Vasil'eva L. I., Mityut'ko V. I. Molekulyarno-geneticheskie markery dlya ocenki geneticheskogo polimorfizma // *Vestnik Stencheskogo nauchnogo obshchestva*. 2017. Т. 8, № 1. С. 157–160. EDN XMIAYN.
3. Selishcheva E. A., Derkho M. A. Rol' STG i IFR-1 v belkovom obmene organizma telyat golshtinizirovannoj cherno-pestroj porody // *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy mediciny im. N. E. Bauman*. 2020. Т. 242, № 2. С. 159–164. DOI 10.31588/2413-4201-1883-242-2-159-165. EDN NYIXXG.
4. Valitov F. R., Paramonova M. A., Valitova R. F. Polimorfizm gena GHR golshtinskoj porody krupnogo rogatogo skota // *Molodye uchyonye: preemstvennost' naslediya, vzglyad v budushchee: materialy I Vseross. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Dnyu rossijskoj nauki, Saratov, 14 fevralya 2025 goda. Saratov: Rossijskij nauchno-issledovatel'skij i proektno-tekhnologicheskij institut sorgo i kukuruzy*, 2025. С. 34–39. EDN TPCHHZ.
5. Kozhevnikova I. S., Stupina A. O., Klassen I. A. Rol' genov somatotropnoj osi v reguljacii produktivnyh kachestv molochnogo i myasnogo skota (obzor) // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2025. Т. 26, № 4. С. 713–724. DOI 10.30766/2072-9081.2025.26.4.713-724. EDN MTECXJ.
6. Bejshova I. S. Fenotipicheskie efekty genov somatotropinovogo kaskada, associirovannyh s myasnoj produktivnost'yu u korov kazahskoj belogolovoj porody // *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. 2018. № 1. С. 48–53. EDN OTEFVL.
7. Lazebnaya I. V., Perchun A. V., Lazebnyj O. E. Vnutriporodnaya differenciaciya aborigennoj kostromskoj porody krupnogo rogatogo skota na osnove SNP-markeroj myasnoj produktivnosti // *Uspekhi sovremennoj biologii*. 2022. Т. 142, № 5. С. 463–476. DOI 10.31857/S0042132422050088. EDN HHGUHV.
8. Vinogradova I. V., Kostyunina O. V., Sermyagin A. A. [i dr.] Associaciya polimorfizma genov DGAT1 i GHR s pokazatelyami molochnoj produktivnosti korov cherno-pestroj porody // *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2018. № 2. С. 8–11. EDN UNZORA.
9. Mikhajlova M. E., Belaya E. V. Vliyanie polimorfnyh variantov genov somatotropinovogo kaskada bGH, bGHR i bIGF-1 na priznaki molochnoj produktivnosti u krupnogo rogatogo skota golshtinskoj porody // *Doklady Nacional'noj akademii nauk Belarusi*. 2011. Т. 55, № 2. С. 63–69. EDN ZHREYR.
10. Shevkhezhev A. F., Krivoruchko A. Yu., Pogodaev V. A. [i dr.] Polimorfizm genov, associirovannyh s kachestvom myasa u krupnogo rogatogo skota (obzor) // *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal*. 2022. № 4 (15). С. 128–135. DOI 10.25930/2687-1254/014.4.15.2022. EDN MKNSXG.

11. Lee J., Beak S. H., Kim D. H. [et al.] PSII-B-25 Age-related changes in growth hormone-insulin like growth factor 1 axis-regulating factors and metabolic hormones in Korean cattle steer // *Journal of Animal Science*. 2021, Vol. 99, Suppl. 3. P. 350–351. DOI 10.1093/jas/skab235.643.
12. Belaya E. V., Mikhajlova M. E., Batin N. V. Combined phenotypic effects of polymorphic gene variants of somatotropin cascade (BPIT-1, BPRL, BGH, BGHR and B1GF-1) on milk productivity traits in cattle of Holstein breed // *Molecular & Applied Genetics Proceedings*. 2012. Vol. 13. Pp. 36–43. EDN VQFEIQ.
13. Curi R., Palmieri D. A., Sugisawa L. [et al.] Effects of *GHR* gene polymorphisms on growth and carcass traits in Zebu and crossbred beef cattle // *Livestock Science*. 2006. Vol. 101, Is. 1. P. 94–100. DOI 10.1016/j.livprodsci.2005.09.015.
14. Maj A., Oprzadek J., Oprzadek A. [et al.] Polymorphism in the 5'-noncoding region of the bovine growth hormone receptor gene and its association with meat production traits in cattle // *Animal Research*. 2004. Vol. 53, № 6. P. 503–514. DOI 10.1051/animres:2004038.
15. Gerasimov N. P., Dzhulamanov K. M., Lebedev S. V., Kolpakov V. I. Effect of IGF-1 C472T, GH C2141G, and GHR T914A polymorphisms on growth performance and feed efficiency in young Kazakh white-headed cattle // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16, № 8. P. 1584–1592. DOI 10.14202/vetworld.2023.1584-1592.
16. Maj A., Oprzadek J. M., Dymnicki E. [et al.] Association of the polymorphism in the 5'-noncoding region of the bovine growth hormone receptor gene with meat production traits in Polish Black-and-White cattle // *Meat Science*. 2006. Vol. 72, Is. 3. P. 539–544. DOI 10.1016/j.meatsci.2005.09.001.
17. Di Stasio L., Destefanis G., Brugiapaglia A. [et al.] Polymorphism of the *GHR* gene in cattle and relationship with meat production and quality // *Animal Genetics*. 2005. Vol. 36. P. 138–140. DOI 10.1111/j.1365-2052.2005.01244.x.
18. Waters S. M., McCabe M. S., Howard D. J. [et al.] Associations between newly discovered polymorphisms in the *Bos taurus* growth hormone receptor gene and performance traits in Holstein-Friesian dairy cattle // *Animal Genetics*. 2011. Vol. 42. P. 39–49. DOI 10.1111/j.1365-2052.2010.02087.x.
19. Muhaghegh-Dolatbady M., Habibizad J., Bahreini Behzadi M. R. Association of TG-repeats in the 5'-flanking region of bovine growth hormone receptor (*GHR*) gene with milk production traits and somatic cell count in Holstein cattle // *Journal of Livestock Science and Technologies*. 2013. Vol. 1, Is. 1. P. 29–34. DOI 10.22103/jlst.2013.481.
20. Abeygunawardana D. I., Ranasinghe R. M. S. B. K., De Silva S. N. T. [et al.] Prevalence of growth hormone receptor gene polymorphisms and their association with milk production and fertility-related traits of cross-bred dairy cows in Sri Lanka // *Animal Biotechnology*. 2024. Vol. 35, Is. 1. Art. 2307012. DOI 10.1080/10495398.2024.2307012.
21. Olejnik S. A., Lesnyak A. V. Geneticheskoe raznoobrazie gena gormona rosta i ego svyaz' s reproduktivnoy funkciej u dzhhersejskogo skota // *Agrarnyj vestnik Severnogo Kavkaza*. 2025. T. 15, № 2. S. 42–52. DOI 10.31279/2949-4796-2025-15-2-42-52. EDN UGPXUC.
22. Schneider A., Corrêa M. N., Butler W. Association between growth hormone receptor *41uI* polymorphism and fertility of Holstein cows // *Theriogenology*. 2013. Vol. 80, Is. 9. P. 1061–1066. DOI 10.1016/j.theriogenology.2013.08.006.
23. Kasprzak-Filipek K., Zólkiewski P., Chabuz W., Sawicka-Zugaj W. Effects of Polymorphism of the Growth Hormone Receptor (*GHR*) Gene on the Longevity and Milk Performance of White-Backed Cattle // *Animals*. 2025. Vol. 15, Is. 8. Art. 1151. DOI 10.3390/ani15081151.
24. Cruz G. S., Correa R. M. S., Macedo D. B. [et al.] Association between somatotrophic axis gene polymorphisms and reproductive efficiency of bovine females: a review // *Brazilian Animal Science*. 2022. Vol. 23. Art. e-72386E. DOI 10.1590/1809-6891v23e-72386E.
25. Durante L. I., Angeli E., Etchevers L. [et al.] Evaluation of the expression of growth hormone and its receptor during the resumption of postpartum ovarian follicle development in dairy cows // *Reproductive Biology*. 2024. Vol. 24, Is. 1. Art. 100848. DOI 10.1016/j.repbio.2023.100848.
26. Khatib H., Huang W., Wang X., Tran A. H. Single gene and gene interaction effects on fertilization and embryonic survival rates in cattle // *Journal of Dairy Science*. 2009. Vol. 92, Is. 5. P. 2238–2247. DOI 10.3168/jds.2008-1767.

Информация об авторах

Алексей Александрович Чаицкий – кандидат биологических наук, преподаватель кафедры частной зоотехнии, разведения и генетики, заведующий лабораторией генетики и ДНК-технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 3284-3654.

Павел Олегович Щеголев – кандидат сельскохозяйственных наук, селекционер-зоотехник Регионального информационно-селекционного центра, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 4842-8345.

Ксения Дмитриевна Чаицкая – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры внутренних незаразных болезней, хирургии и акушерства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 6120-9223.

Виктория Алексеевна Цветкова – обучающаяся факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, лаборант лаборатории генетики и ДНК-технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 6693-6977.

Елизавета Петровна Галкина – обучающаяся факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, лаборант лаборатории генетики и ДНК-технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 3427-8505.

Information about the authors

Aleksey A. Chaitiski – Candidate of Biological Sciences, lecturer of the Department of Private Animal Science, Breeding and Genetics, Head of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 3284-3654.

Pavel O. Schiogolev – Candidate of Agricultural Sciences, breeder-zootechnician of the Regional Information and Breeding Center, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 4842-8345.

Kseniya D. Chaickaya – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Internal Non-contagious Diseases, Surgery and Obstetrics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 6120-9223.

Victoria A. Tsvetkova – student of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, laboratory assistant of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 6693-6977.

Elizaveta P. Galkina – student of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, laboratory assistant of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 3427-8505.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ ФГБОУ ВО «ЯРОСЛАВСКИЙ ГАУ» В 2024 ГОДУ ВЫШЛА
М О Н О Г Р А Ф И Я

ВЕРА ВИТАЛЬЕВНА ЖОЛУДЕВА

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В монографии рассмотрены различные методы современной математики, применяемые в сельском хозяйстве при моделировании экономики АПК. Для пояснения особенностей рассмотренных моделей приводятся конкретные примеры.

Монография предназначена для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, студентов сельскохозяйственных и смежных специальностей вузов, а также представителям бизнеса и органам власти, имеющим отношение к агробизнесу.

УДК 519.87.631; ББК 22.18; ISBN 978-5-98914-277-4; 90 СТР.

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:

150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ»

e-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru

Научная статья
УДК 636.086.5
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.015

ГРОУТЕНТ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ДОСВЕЧИВАНИЯ ПРИ ПРОРАЩИВАНИИ ЗЕРНА

**Владимир Юрьевич Страхов¹, Владимир Федорович Сторчевой²
Юрий Васильевич Саенко³, Ольга Сергеевна Кузьмина⁴**

^{1, 3, 4}Белгородский государственный аграрный университет
им. В. Я. Горина, Белгород, Россия

²Московский авиационный институт, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Юрьевич Страхов,
strakhov.94@list.ru, ORCID 0009-0003-7559-3154

Реферат. В работе обоснованы преимущества использования пророщенного зерна на промышленной основе в качестве витаминной добавки в рацион сельскохозяйственных животных. На основе опубликованных исследований доказана эффективность скармливания пророщенного зерна (ячмень, тритикале) на примере прироста продуктивности свиней на 10% и увеличения удоя коров на 5,9%. Положительные преобразования при проращивании происходят за счёт активации ферментативных процессов, прироста содержания витаминов, незаменимых аминокислот и питательных веществ в легкоусваиваемых формах. Для организации круглогодичного производства пророщенного зерна необходимо искусственное досвечивание со сбалансированным спектром. Для отработки режимов досвечивания предложена конструкция экспериментальной установки – гроутента с отражающим покрытием внутри, принудительной вентиляцией и цифровым контроллером температуры, позволяющая изолировать образцы от внешних факторов. В качестве источника облучения использован фитосветильник полного спектра BOSYTRO мощностью 200 Вт с диодами Samsung LM281B+, активным охлаждением и режимами работы «вегетация» и «цветение». Проведены спектральные измерения на высоте подвеса 45 см в режиме работы «вегетация» при 20% мощности с применением спектрометров видимого и ультрафиолетового излучения. Установлено, что суммарный фотонный поток составил 53,48 мкмоль/с·м² со спектральным распределением: синий диапазон – 37,8%, зелёный диапазон – 37,6%, красный диапазон – 23,4%, дальний красный и инфракрасный – менее 1%. Показатель фотосинтетической фотонной плотности потока в ультрафиолетовом диапазоне PPFD_{UV} = 0,10 мкмоль/с·м² (0,2%), что говорит о практически полном отсутствии длинноволнового ультрафиолетового излучения. Уровень плотности потока фотосинтетически активной радиации PAR = 1,21 мВт/см² признан достаточным для досвечивания пророщенного зерна и микрозелени, но недостаточным для плодоносящих культур. Исследуемый фитосветильник пригоден в качестве вегетативного облучателя, но не реализует заявленную производителем функцию УФ-А стимуляции. Предложенная конструкция гроутента может выступать основой для дальнейшей оптимизации световых режимов проращивания с целью повышения биологической ценности кормов.

Ключевые слова: ультрафиолетовое излучение, проращивание зерна, фитосветильник, длина волны, спектр излучения

GROUTANT FOR STUDYING SUPPLEMENTARY LIGHTING MODES DURING GRAIN GERMINATION

Vladimir Yu. Strakhov¹, Vladimir F. Storchevoy², Yuriy V. Sayenko³, Olga S. Kuzmina⁴

^{1, 3, 4}Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin, Belgorod, Russia

²Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Author responsible for the correspondence: Vladimir Yu. Strakhov,
strakhov.94@list.ru, ORCID 0009-0003-7559-3154

Abstract. The paper substantiates the advantages of using sprouted grain on an industrial basis as a vitamin supplement in the diet of farm animals. Based on published studies, the effectiveness of feeding sprouted grain (barley, triticale) has been proven using the example of a 10% increase in pig productivity and a 5.9% increase in cow milk yield. Positive transformations during germination occur due to the activation of enzymatic processes, an increase in the content of vitamins, essential amino acids and nutrients in easily digestible forms. Artificial supplementary lighting with a balanced spectrum is necessary for the organization of year-round production of sprouted grain. To test the supplementary lighting modes, a design of an experimental installation is proposed – a groutant with a reflective coating inside, forced ventilation

and a digital temperature controller, which allows isolating samples from external factors. A full-spectrum plant growth lamp BOSYTRO with a capacity of 200 W with Samsung LM281B+ diodes, active cooling and "vegetation" and "flowering" modes of operation was used as an irradiation source. Spectral measurements were carried out at a suspension height of 45 cm in the "vegetation" operating mode at 20% power using visible and ultraviolet radiation spectrometers. It was found that the total photon flux was $53.48 \mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$ with a spectral distribution: blue range – 37.8%, green range – 37.6%, red range – 23.4%, far red and infrared – less than 1%. The index of photosynthetic photon flux density in the ultraviolet range $\text{PPFD}_{\text{UV}} = 0.10 \mu\text{mol/s}\cdot\text{m}^2$ (0.2%), which indicates the almost complete absence of long-wavelength ultraviolet radiation. The level of photosynthetically active radiation flux density $\text{PAR} = 1.21 \text{ mW/cm}^2$ was recognized as sufficient for supplementary lighting of sprouted grains and microgreens, but insufficient for fruit-bearing crops. The plant growth lamp under study is suitable as a vegetative irradiator, but does not realize the UV-A stimulation function stated by the manufacturer. The proposed design of the groutant can serve as a basis for further optimization of germination light modes in order to increase the biological value of feed.

Keywords: *ultraviolet radiation, grain germination, plant growth lamp, wavelength, radiation spectrum*

Введение. Развитие животноводства должно опираться на прочную кормовую базу. В отрасли кормопроизводства отмечается рост объёмов производства готовых кормов, но ситуация с обеспечением полной потребности рынка остаётся неоднородной. В свиноводческом сегменте и откорме крупного рогатого скота отмечается спад производства кормов. В разрезе общих показателей компенсация падения происходит благодаря приросту производства в отрасли птицеводства. Современная кормовая база основывается на таких компонентах, как соевый шрот, аминокислоты, витамины и ферменты. Часть потребностей в витаминах, ферментах и аминокислотах закрывается благодаря поставкам из-за рубежа. Существуют более доступные резервы повышения витаминной ценности кормов.

Сокращение поголовья крупного рогатого скота приводит к снижению потребления кормов, что негативно отражается на всём сельском хозяйстве: уменьшаются посевные площади, деградирует пашня, снижается производство мясной и молочной продукции для населения и перерабатывающей промышленности, теряются рабочие места в секторе сельского хозяйства. Спад производства кормов не должен приводить к сокращению поголовья крупного рогатого скота. Питательность рационов зависит не от объёма, а его состава.

Одним из направлений повышения питательной ценности рационов выступает использование добавок из пророщенного зерна. При прорастании зерна происходит ряд трансформаций, заложенных природой, существенно повышающих биологическую ценность за счёт активации ферментов. Питательность сухого и пророщенного зерна отличается существенным образом. Биохимические преобразования, сопровождающие прорастание зерна, приводят к расщеплению запасённых в зерновке белков, жиров и углеводов до простых и быстроусваиваемых форм. Для животных переваривание такого корма требует меньших затрат энергии и повышает эффективность использования питательных веществ, особенно протеина. По сравнению с исходным зерном возрастает содержание ключевых витаминов группы B, A, C, E. Следует отметить, что в сухом зерне отсутствует витамин C, появляется он при прорастании в зелёной массе. Увеличивается содержание незаменимых аминокислот. Пророщенное зерно является источником вита-

мина E, регулирующего воспроизводительную функцию у животных.

Использование пророщенного зерна в рационах сельскохозяйственных животных становится более востребованным. Ранее такие витаминные добавки не применялись на промышленной основе, производство ограничивалось нуждами племенных ферм, кормлением «чистых линий» в птицеводстве, эко-фермами, выпускающими продукцию со стандартами органического животноводства. Очевидные преимущества и доступность круглогодичного производства витаминной добавки непосредственно на предприятии повышают спрос на растительные для получения витаминного корма и готовые корма.

Недостаток информации у животноводов относительно применения пророщенного зерна приводит к ошибочному мнению о сложности технологии производства. Вопреки заблуждениям, кормление с применением пророщенного зерна не означает отказ от традиционного рациона с полным переходом на новый корм. Эффективность наблюдается даже при применении незначительных добавок по отношению к объёму стандартного рациона. Известны исследования, подтверждающие эффективность ежедневного скармливания пророщенного зерна коровам сразу после отёла в количестве 0,5 кг в сутки. Наблюдения за животными в течение трёх месяцев подтвердили улучшение обменных процессов, в крови исследуемых животных увеличилось содержание глюкозы, альбуминов в сыворотке крови, снизился уровень билирубина. Лучшим подтверждением эффекта является существенный прирост (на 5,9%) молочной продуктивности [1].

Опыт использования пророщенного ячменя в свиноводстве показал прирост привесов на 8–10% благодаря сокращению периода откорма [2]. Откорм свиней с добавлением в комбикорм до 20% пророщенного зерна тригикале способствовал увеличению роста живой массы на 5%, снижению затрат кормов на 3,7% и снижению расходов предприятия на корма на 3,1% [3].

Добавление пророщенного зерна в рацион свиноматок за 30 суток до опороса способствовало не только улучшению поедаемости кормов и обогащению витаминами, но и увеличению количества рождённых живых поросят. В опубликованных исследованиях скармливали



Источник: составлено В. Ю. Страховым по материалам из открытых источников.

Рисунок 1 – Ценность пророщенного зерна для сельскохозяйственных животных

пророщенное зерно 5, 10 и 15% от объема корма. По сравнению с контрольной группой количество живых рожденных поросят увеличилось на 0,6; 0,9 и 1,0 соответственно [4].

Для развития отрасли птицеводства необходим поиск резервов восполнения витаминной ценности кормов. Согласно исследованиям [5], после включения в рацион мясной птицы пророщенного зерна в объеме 20 г на голову уровень рентабельности производства возрастает на 3,1%.

Рекомендации по использованию пророщенного зерна не ограничиваются вышеперечисленными животными. В руководстве по разведению кроликов отмечена высокая ценность витаминной подкормки из пророщенного зерна. Такая добавка помогает сделать животных более активными и менее подверженными заболеваниям. Норма добавки 10% от зерносмеси. Для индюков пророщенное зерно добавляют в зимний период и племенной сезон для повышения продуктивности. Использование пророщенного зерна в рационе уток не только повышает привесы, но способствует укреплению организма перед началом яйцекладки. Рекомендуемая норма для уток – 10–15 г пророщенного зерна в день.

На рисунке 1 представлена ценность пророщенного зерна для сельскохозяйственных животных.

Все рассмотренные научные источники однозначно подтверждают высокую ценность применения пророщенного зерна в кормовых рационах. Такая добавка положительно сказывается на общем состоянии здоровья, снижает заболеваемость, стимулирует репродуктивные функции, приводит к увеличению привесов, что делает пророщенное зерно перспективным компонентом рациона [6]. Для реализации этого потенциала в условиях промышленного содержания животных возникает необходимость в организации технологического процесса по проращиванию зерна.

При проращивании зерна ключевыми параметрами,

наряду с влажностью и температурой, является освещение [7]. Для круглогодичного получения качественного витаминного корма недостаточно просто освещать зерновую массу, требуется применять сбалансированный спектр, которым обладают фитолампы.

Цель настоящей работы: обоснование конструкции гроутента и исследование параметров фитосветильника для создания контролируемых световых условий при проращивании зерна на витаминный корм.

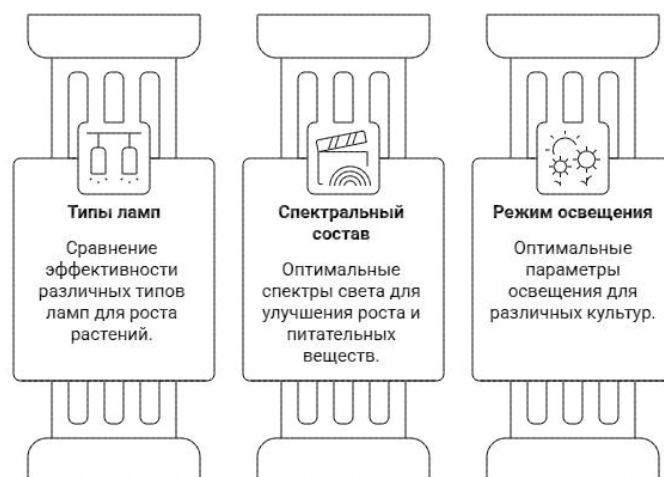
Материалы и методы исследований. Выбор источника досвечивания выступает одним из ключевых факторов эффективности проращивания витаминного корма. Основные аспекты влияния источника досвечивания представлены на рисунке 2.

Использование различных типов источников досвечивания показывает значительно отличающиеся результаты. Применение современных светодиодных ламп предпочтительнее люминесцентным источникам и лампам накаливания, которые не только потребляют больше электрической энергии, но и показывают меньшую эффективность по длине ростков [8].

Фитолампы имеют сбалансированный спектр. При проращивании следует выбирать источники, излучающие в красном и синем спектре, или мультиспектральные лампы, сочетающие красный, синий и теплый белый свет [9].

Режимы досвечивания варьируются в зависимости от культуры. Существует двухшаговая методика проращивания, когда семена выдерживают в темноте, затем освещают фитолампой в установленных диапазонах времени. В большинстве случаев досвечивание могут начинать сразу с проращиванием.

Для отработки оптимальных режимов досвечивания необходимо экспериментальное оборудование. В настоящей работе предлагается использование гроутента для исследования режимов досвечивания при проращивании зерна. Главное преимущество гроутента



Источник: составлено В. Ю. Страховым по материалам из открытых источников.

Рисунок 2 – Влияние источника досвечивания на проращивание зерна

заключается в возможности изолировать испытуемые образцы от влияния внешних факторов. Внутри поддерживается температура на заданном уровне. Материал обшивки корпуса не пропускает внешний свет, что позволяет проводить эксперименты по искусственному освещению с высокой точностью. Предлагаемая конструкция гроутента представлена на рисунке 3.

В качестве источника досвечивания использован фитосветильник полного спектра BOSYTRO мощностью 200 Вт. Данный прибор оснащён диодами Samsung LM281B+. По информации изготовителя, для ускорения фотосинтеза на любом этапе развития растения фитосветильник включает видимый спектр излучения, инфракрасный и длинноволновую область ультрафиолетового спектра. Площадь покрытия фитосветильника оптимальна для участка 60 x 60 см. Система охлаждения – активная, осуществляется при помощи двух встроенных вентиляторов. Для проращивания фитосветильник оптимально размещать на высоте подвеса 40–60 см. При работе фитосветильника выделяется достаточное коли-

чество тепла, чтобы не прибегать к установке отдельных элементов обогрева гроутента. Фитосветильник имеет два режима работы: VEG (вегетация) и BLOOM (цветение). Регулировка мощности потока излучения в каждом режиме позволяет гибко адаптировать спектр под особенности растений и этап биологического развития.

Управление температурным режимом внутри гроутента осуществляется путём принудительной вентиляции за счёт центробежного вентилятора. Избыток тепла по воздуховоду выдувается наружу, при этом обеспечивается приток кислорода через вентиляционный проём в гроутенте.

Для управления температурным режимом внутри гроутента использован блок цифрового контроллера TAXNELE STC-3028 с выносным датчиком температуры и влажности. Контроллер оснащён двумя реле по 10 А. Настройка параметров работы осуществляется на дисплее. Данный микроконтроллер находит широкое применение в инкубаторах, небольших теплицах и хранилищах.



1 – корпус гроутента; 2 – фитосветильник BOSYTRO; 3 – блок управления; 4 – реле температуры и влажности; 5 – центробежный вентилятор.

Рисунок 3 – Конструкция гроутента

Гроутент для исследования режимов досвечивания при проращивании зерна

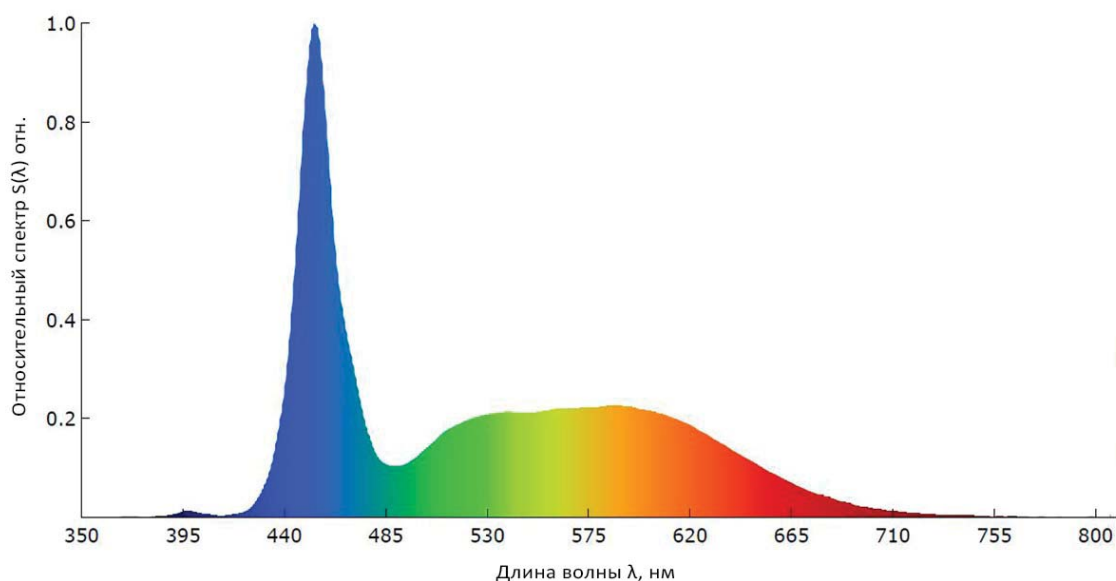


Рисунок 4 – Спектрограмма фитосветильника BOSYTRO в видимой области излучения

Внутренние стенки гроутента покрыты отражающим материалом, повышающим эффективность досвечивания.

Оценка спектрального состава излучения фитосветильника проводилась с использованием спектрометра света HPCS-330UV и спектрометра HPCS-330P. Замеры снимались в трёхкратной повторности. С целью исключения влияния естественного света замеры проводились в закрытом гроутенте.

Результаты. Оценка спектрального состава излучения осуществлялась на расстоянии 45 см от фитосветильника, в режиме работы VEG (вегетация). Данный режим выбран как наиболее благоприятный для проращивания зерна. Фитосветильник имеет встроенный модуль регулировки мощности потока излучения отдельно для режимов «вегетация» и «цветение». С учётом не-

больших размеров наличия отражающего покрытия внутри гроутента в замерах поток излучения установлен на отметке 20% от номинального.

По результатам замеров для исследуемого источника облучения была получена спектрограмма. Результаты замеров спектрального состава фитосветильника BOSYTRO в видимой области излучения представлены на рисунке 4.

Производители современных фитосветильников намеренно включают в спектр излучения приборов светодиоды, излучающие в длинноволновом ультрафиолетовом спектре УФ-А. Такая инновация обусловлена попытками управления ростом растений в условиях защищённого грунта. В естественных условиях растения получают ультрафиолетовое излучение, что даёт основание предполагать его важную роль, наряду с види-

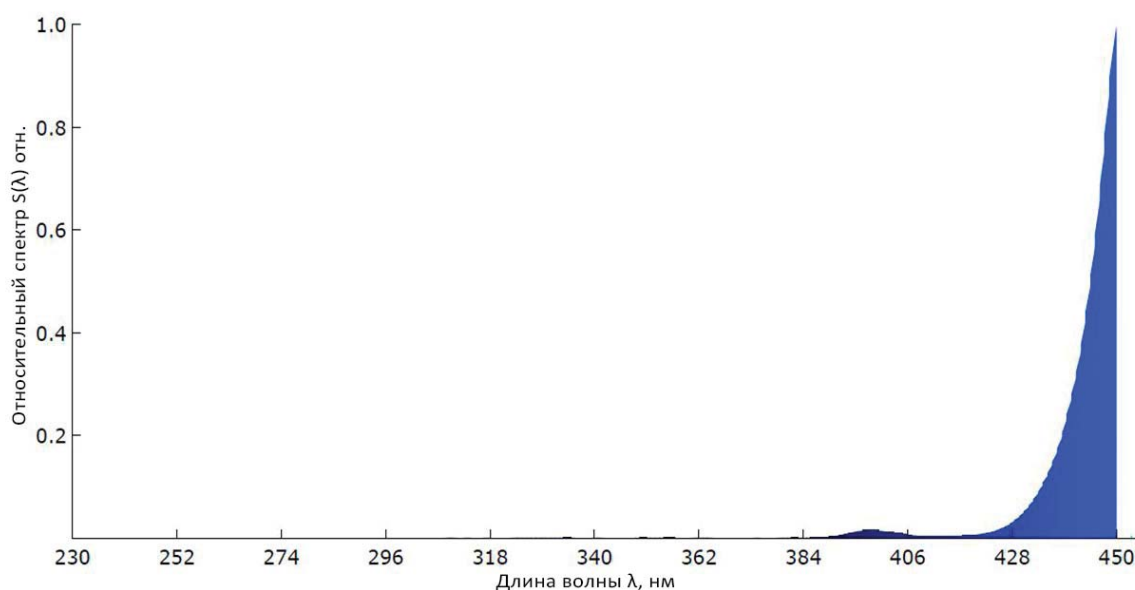


Рисунок 5 – Спектрограмма фитосветильника BOSYTRO в ультрафиолетовой области излучения

мым светом. Ультрафиолетовое излучение воспринимается специальными рецепторами [10]. Коротковолновая часть ультрафиолетового излучения через фоторецепторы индуцирует образование более компактного растения [11]. В отличие от диапазона УФ-В, УФ-А имеет менее выраженное негативное действие на рост и даже приводит к увеличению площади листовой пластинки [12].

Природа действия ультрафиолетового излучения на растения основана на запуске защитных механизмов, что сопровождается увеличением синтеза и накоплением фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантов. Выбор длинноволнового излучения обоснован благоприятным балансом между стимулирующим эффектом и минимальным стрессовым воздействием на растения [13]. Применение спектра УФ-С и УФ-В приводит к подавлению роста.

Результаты замеров спектрального состава фитосветильника BOSYTRO в ультрафиолетовой области излучения представлены на рисунке 5.

Результаты исследования фитосветильника BOSYTRO в видимой области спектра представлены в таблице 1.

Анализ спектрального распределения фотосинтетической фотонной плотности потока показывает суммарную плотность фотосинтетического фотонного потока – 53,48 мкмоль/с·м². Спектральный состав характеризуется следующим процентным соотношением: синий диапазон – 37,8%; зелёный диапазон – 37,6%; красный диапазон – 23,4%, дальний красный и инфракрасный – менее 1%, ультрафиолетовый – 0,2%. Светильник из-

лучает спектр с выраженным преобладанием синей и зелёной областей. Доля красного излучения умеренная, что говорит о настройке на управление вегетативным ростом. Такое сочетание спектра не предназначено для генеративных процессов (цветения и плодоношения).

Оценка абсолютного уровня энергетической эффективности показывает, что значение PPFD = 53,48 мкмоль/с·м² является низким для полноценной светокультуры томата, огурца или перца, однако для досвечивания микрозелени и зерна при проращивании вполне приемлемо.

Значение фотосинтетической фотонной плотности потока в ультрафиолетовом диапазоне PPFD_{UV} = 0,10 мкмоль/с·м², что соответствует 0,2% от общего фотонного потока, крайне низкий показатель. Длинноволновое ультрафиолетовое излучение в данном светильнике практически отсутствует.

По совокупности спектральных характеристик фитосветильник подтверждает заявленные функции вегетативного облучателя. Он оптимален для формирования низкорослой коренастой микрозелени и проращивания зерна на ранних стадиях развития. В исследуемом режиме непригоден в качестве источника досвечивания при цветении и плодоношении культур.

Выводы. Проведённые исследования подтвердили, что предлагаемый грутент с фитосветильником BOSYTRO обеспечивает контролируемые условия для лабораторных исследований по проращиванию зерна, изолируя образцы от внешнего света и поддерживая стабильный температурный режим. Спектральный анализ показал, что в режиме «вегетация» светильник гене-

Таблица 1 – Результаты исследования фитосветильника BOSYTRO в видимой области спектра

Наименование показателя	Обозначение (единицы измерения)	Значение
Плотность потока фотосинтетически активной радиации	PAR (мВт/см ²)	1,21
Фотосинтетическая фотонная плотность потока в ультрафиолетовом диапазоне	PPFD _{UV} (мкмоль/с·м ²)	0,10
Фотосинтетическая фотонная плотность потока в синем диапазоне	PPFD _B (мкмоль/с·м ²)	20,19
Фотосинтетическая фотонная плотность потока в зелёном диапазоне	PPFD _G (мкмоль/с·м ²)	20,10
Фотосинтетическая фотонная плотность потока в красном диапазоне	PPFD _R (мкмоль/с·м ²)	12,53
Фотосинтетическая фотонная плотность потока в дальнем красном диапазоне	PPFD _{FR} (мкмоль/с·м ²)	0,54
Фотосинтетическая фотонная плотность потока в инфракрасном диапазоне	PPFD _{IR} (мкмоль/с·м ²)	0,02
Освещённость	E (лк)	3166,79
Удельная мощность излучения	E _e (мВт/см ²)	1,21
Отношение энергии синего диапазона к энергии красного диапазона	Erb Ratio	0,45
Доминирующая длина волны	Dominant (нм)	461,80
Спектральная полуширина излучения	HalfWidth (нм)	18,90
Пиковая длина волны	Peak (нм)	454,00
Центральная длина волны	Center (нм)	454,70
Спектральная интенсивность облучения	E _{eλ} (мкВт/см ² ·нм)	20,91

рирует высокую долю зелёного и синего излучения при умеренном красном спектре, что соответствует требованиям к формированию низкорослых компактных растений. Суммарный фотонный поток (53,48 мкмоль/с·м²) и энергетическая освещённость (1,21 мВт/см²) являются низким показателем для светокультуры плодоносящих растений, однако достаточны для досвечивания зерна при проращивании. Ультрафиолетовая составляющая излучения, заявленная производителем фитосветильника, присутствует в незначительном количестве, что

исключает возможность реализации положительных эффектов УФ-А излучения. Для достижения максимальной биологической ценности пророщенного зерна требуется модифицировать существующий фитосветильник с целью увеличения мощности УФ-А излучения или комбинировать работу данного фитосветильника с отдельным источником УФ-А излучения. Предложенная установка может быть рекомендована для отработки режимов проращивания зерновых культур с последующей оптимизацией спектрального состава под конкретные задачи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смоленцев С. Ю., Ахметзянова Ф. К. Кормление коров пророщенным зерном пшеницы вакуумной сушки на метаболизм // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2018. Т. 235, № 3. С. 155–160. DOI 10.31588/2413-4201-1883-235-3-155-160. EDN XYNMKT.
2. Вендин С. В., Походня Г. С., Саенко Ю. В. Аprobация применения пророщенного зерна ячменя в рационах свиней // Зоотехника. 2019. № 12. С. 9–13. DOI 10.25708/ZT.2019.11.28.003. EDN ZHFIFE.
3. Голушко В. М., Шевцова Е. Ф. Повышение аминокислотной питательности зерна злаковых культур // Зоотехническая наука Беларуси. 2011. Т. 46, № 2. С. 22–31. EDN WABUPV.
4. Нарижный А. Г., Джамалдинов А. Ч., Походня Г. С. Влияние скормливания пророщенного зерна ячменя на воспроизводительную функцию свиноматок и рост поросят // Проблемы биологии продуктивных животных. 2020. № 1. С. 64–70. DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.1.64-70. EDN PORTXB.
5. Татьяничева О., Попова О., Хохлова А., Маслова Н. Сухое или пророщенное: что лучше? // Животноводство России. 2022. № 2. С. 17–19. DOI 10.25701/ZZR.2022.02.02.008. EDN WLKKA.
6. Вендин С. В., Саенко Ю. В., Страхов В. Ю., Семернина М. А. Исследование эффективности применения кормовых смесей с использованием пророщенного зерна в рационах свиней на откорме // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3. С. 80–86. EDN BPFOMX.
7. Вендин С. В., Саенко Ю. В., Широков М. С., Страхов В. Ю. Влияние продолжительности освещения на скорость проращивания и химический состав зерна сои и люпина // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68, № 1 (42). С. 93–98. DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-1-93-98. EDN FPMWNP.
8. Вендин С. В., Саенко Ю. В., Гетманов А. А., Саенко С. В. Применение искусственного освещения для получения пророщенного зерна // Вестник аграрной науки Дона. 2018. № 1 (41). С. 20–25. EDN NUZKYH.
9. Страхов В. Ю., Вендин С. В., Саенко Ю. В. Результаты исследований по оценке влияния предпосевной УФ-обработки и режимов искусственного освещения при проращивании люпина на витаминный корм // Агроинженерия. 2021. № 3 (103). С. 36–42. DOI 10.26897/2687-1149-2021-3-36-42. EDN GYNLUT.
10. Cunningham N., Crestani G., Morrison A. P., Jansen M. A. K. Morphological responses of *Arabidopsis thaliana* wild type and photoreceptor genotypes to narrowband UV radiation generated by LEDs // Plant Biology. 2025. Vol. 27, No. 7. P. 1341–1352. DOI 10.1111/plb.70105. EDN CGWLUM.
11. Cunningham N., Crestani G., Csepregi K. [et al.] Exploring the complexities of plant UV responses; distinct effects of UV-A and UV-B wavelengths on Arabidopsis rosette morphology // Photochemical & Photobiological Sciences. 2024. DOI 10.1007/s43630-024-00591-w. EDN ZLVMPX.
12. Huebner D. S., Batarshin M., Beck S. [et al.] Influence of different UV spectra and intensities on yield and quality of cannabis inflorescences // Frontiers in Plant Science. 2024. Vol. 15. DOI 10.3389/fpls.2024.1480876. EDN MMSTYA.
13. Страхов В. Ю., Сторчевой В. Ф., Ульяновцев Ю. Н., Малахов А. Н. Исследование источников ультрафиолетового излучения // Вестник АПК Верхневолжья. 2025. № 4 (72). С. 139–146. DOI 10.35694/YARCX.2025.72.4.021. EDN JWZGAZ.

References

1. Smolentsev S. Yu., Akhmetzyanova F. K. Kormlenie korov proroshchennym zernom pshenicy vakuumnoj sushki na metaboliizm // Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoj mediciny im. N. E. Bauman. 2018. T. 235, № 3. S. 155–160. DOI 10.31588/2413-4201-1883-235-3-155-160. EDN XYNMKT.
2. Vendin S. V., Pokhodnya G. S., Saenko Yu. V. Aprobaciya primeneniya proroshchennogo zerna yachmenya v racionah svinej // Zootehnikiya. 2019. № 12. S. 9–13. DOI 10.25708/ZT.2019.11.28.003. EDN ZHFIFE.
3. Golushko V. M., Shevtsova E. F. Povyshenie aminokislotnoj pitatel'nosti zerna zlakovyh kul'tur // Zootehnicheskaya nauka Belarusi. 2011. T. 46, № 2. S. 22–31. EDN WABUPV.
4. Narizhnyj A. G., Dzhamaalidinov A. Ch., Pokhodnya G. S. Vliyanie skarmlivaniya proroshchennogo zerna yachmenya na vosproizvoditel'nyu funkciu svinomatok i rost porosyat // Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh. 2020. № 1. S. 64–70. DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.1.64-70. EDN PORTXB.
5. Tat'yanicheva O., Popova O., Khokhlova A., Maslova N. Suhoe ili proroshchennoe: chto luchshe? // Zhivotnovodstvo Rossii. 2022. № 2. S. 17–19. DOI 10.25701/ZZR.2022.02.02.008. EDN WLKKA.
6. Vendin S. V., Saenko Yu. V., Strakhov V. Yu., Semernina M. A. Issledovanie effektivnosti primeneniya kormovyh smesey s ispol'zovaniem proroshchennogo zerna v racionah svinej na otkorme // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2019. № 3. S. 80–86. EDN BPFOMX.
7. Vendin S. V., Saenko Yu. V., Shirokov M. S., Strakhov V. Yu. Vliyanie prodolzhitel'nosti osveshcheniya na skorost' prorashchivaniya i himicheskij sostav zerna soi i lyupina // Elektrotehnologii i elektrooborudovanie v APK. 2021. T. 68, № 1 (42). S. 93–98. DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-1-93-98. EDN FPMWNP.
8. Vendin S. V., Saenko Yu. V., Getmanov A. A., Saenko S. V. Primenenie iskusstvennogo osveshcheniya dlya polucheniya proroshchennogo zerna // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2018. № 1 (41). S. 20–25. EDN NUZKYH.
9. Strakhov V. Yu., Vendin S. V., Saenko Yu. V. Rezul'taty issledovaniy po ocenke vliyaniya predposevnoj UF-obrabotki i rezhi-mov iskusstvennogo osveshcheniya pri prorashchivanii lyupina na vitaminnyj korm // Agrozhenneriya. 2021. № 3 (103). S. 36–42. DOI 10.26897/2687-1149-2021-3-36-42. EDN GYNLUT.

10. Cunningham N., Crestani G., Morrison A. P., Jansen M. A. K. Morphological responses of *Arabidopsis thaliana* wild type and photoreceptor genotypes to narrowband UV radiation generated by LEDs // *Plant Biology*. 2025. Vol. 27, No. 7. P. 1341–1352. DOI 10.1111/plb.70105. EDN CGWLUM.

11. Cunningham N., Crestani G., Csepregi K. [et al.] Exploring the complexities of plant UV responses; distinct effects of UV-A and UV-B wavelengths on *Arabidopsis* rosette morphology // *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2024. DOI 10.1007/s43630-024-00591-w. EDN ZLVMPX.

12. Huebner D. S., Batarshin M., Beck S. [et al.] Influence of different UV spectra and intensities on yield and quality of cannabis inflorescences // *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. DOI 10.3389/fpls.2024.1480876. EDN MMSTYA.

13. Strakhov V. Yu., Storchevoj V. F., Ul'yantsev Yu. N., Malakhov A. N. Issledovanie istochnikov ul'trafiol'etovogo izlucheniya // *Vestnik APK Verhnevolzh'ya*. 2025. № 4 (72). S. 139–146. DOI 10.35694/YARCX.2025.72.4.021. EDN JWZGAZ.

Сведения об авторах

Владимир Юрьевич Страх – кандидат технических наук, старший преподаватель инженерного факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spin-код: 4362-2616.

Владимир Федорович Сторчевой – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», spin-код: 3546-7363.

Юрий Васильевич Саенко – доктор технических наук, профессор инженерного факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spin-код: 5264-5448.

Ольга Сергеевна Кузьмина – кандидат технических наук, старший преподаватель агрономического факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина», spin-код: 2622-3266.

Information about the authors

Vladimir Yu. Strakhov – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Faculty of Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spin code: 4362-2616.

Vladimir F. Storchevoj – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Theoretical Electrical Engineering, Moscow Aviation Institute (National Research University), spin-code: 3546-7363.

Yuri V. Sayenko – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spin-code: 5264-5448.

Olga S. Kuzmina – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin", spin-code: 2622-3266.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.



Научная статья
УДК 631.17:621.31
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.016

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

**Шамсудин Зелимович Зиниев¹, Виталий Александрович Каргин²,
Адам Сайпуддинович Такаев³**

^{1, 3}Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика
М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

²Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Шамсудин Зелимович Зиниев,
injenerni-klub@mail.ru

Реферат. В исследовании предложено решение проблемы энергодефицитности удалённых сельских населённых пунктов посредством концепции мобильного приложения, которое обеспечивает бесперебойный дистанционный мониторинг и управление в реальном времени энергокомплексом. Разработан пошаговый алгоритм внедрения системы с предпроектным анализом, внедрением программного обеспечения (ПО), монтажом оборудования, развёртыванием цифровой инфраструктуры, постпроектной поддержкой и обучением персонала. Обозначаются планируемые технико-экономические и социально-экологические результаты внедрения, такие как увеличение надёжности энергоснабжения, уменьшение затрат на дизельное топливо и выбросов CO₂, повышение качества жизни населения. Делается акцент на масштабируемости обозначенного подхода для других сельских территорий.

Ключевые слова: гибридная энергосистема, солнечная энергетика, искусственный интеллект, машинное обучение, прогнозирование, управление, микросеть, сельская местность, автономное электроснабжение

IMPROVING THE RELIABILITY OF RURAL POWER GRIDS THROUGH THE INTRODUCTION OF AN AI-BASED HYBRID POWER SUPPLY SYSTEM WITH A SOLAR STATION FOR RURAL AREAS

Shamsudin Z. Ziniev¹, Vitaliy A. Kargin², Adam S. Takaev³

^{1, 3}Grozny State Oil Technical University named after Academician M. D. Millionshchikov,
Grozny, Russia

²Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

Author responsible for correspondence: Shamsudin Z. Ziniev,
injenerni-klub@mail.ru

Abstract. The study proposes a solution to the problem of energy deficit in remote rural settlements through a mobile application concept that provides continuous remote monitoring and real-time control of the energy complex. A step-by-step system implementation algorithm with pre-project analysis, software implementation, equipment installation, digital infrastructure deployment, post-project support and personnel training has been developed. The planned technical, economic and socio-environmental results of the implementation are outlined, such as increasing the energy supply reliability, reducing diesel fuel costs and CO₂ emissions, and improving the quality of life of the population. The scalability of the proposed approach for other rural areas is emphasized.

Keywords: hybrid energy system, solar energy, artificial intelligence, machine learning, forecasting, control, microgrid, rural area, autonomous power supply

Введение. В настоящее время искусственный интеллект и машинное обучение проникают во все сферы общественной жизни, формируя среду для развития самообучающихся комплексов (автономная система электроснабжения). Развитие таких систем сопровождается объединением успехов в различных сферах науки, регулированием работы электрических сетей на изолированных участках сельской местности, самообучением

искусственного интеллекта в мобильном интерфейсе.

Актуальность исследования определяется состоянием электроснабжения удалённых сельских населённых пунктов, питание которых осуществляется по протяжённым воздушным линиям распределительных сетей. Такие линии проходят в условиях сложного рельефа и подвержены обрывам и перехлёстам проводов, повреждениям изоляции, замыканиям из-за птиц и древесно-кустарниковой растительности. Удалённость населённых пунктов увеличивает время восстановления электроснабжения после аварийного отключения. Для сёл Шалинского района Чеченской Республики эти факторы подтверждаются данными районных электрических сетей об аварийных режимах, что будет представлено в данной работе ниже. Повысить надёжность электроснабжения таких потребителей можно за счёт комбинированных систем, в которых сетевое питание дополняется солнечной электростанцией, аккумуляторными накопителями и резервным дизель-генератором.

Применению солнечной генерации в автономных и комбинированных системах электроснабжения посвящён ряд исследований. В работе [1] предложена методика оценки потенциала солнечной энергетики на территории региона. Снижение выработки солнечных модулей в условиях запыленности местности рассмотрено в [2]. Выбор электрооборудования автономной фотоэлектрической системы с использованием программного обеспечения PVsyst описан в [3], эффективность тепловой защиты фотоэлектрических преобразователей солнечной электростанции проанализирована в [4]. Оценка потенциала солнечной энергии на основе солнечных кадастров выполнена в [5], методика расчёта мощности фотоэлектрических панелей для объектов микрогенерации приведена в [6]. Указанные работы относятся преимущественно к энергетической части проекта: оценке ресурса, выбору и расчёту оборудования. Оперативное управление режимами комбинированной системы и её дистанционный мониторинг в них не рассматриваются.

Функционирование интеллектуальной системы начинается с перманентного потока информации от измерительного оборудования. Классификация больших данных в сельских электрических сетях рассмотрена нами в [7].

Комплекс датчиков регистрирует несколько показателей:

- мгновенную выработку солнечной электростанции;

- текущий уровень заряда аккумуляторных батарей;
- актуальное энергопотребление подключённой нагрузки.

Метеорологические сведения поступают от сенсоров на местах, регулирующие освещённость, облачность, температуру в реальном времени, а также от эксплицитных прогнозных сервисов, которые располагают архивными и предсказательными данными о погодных условиях [1; 3].

Получаемые различные сигналы требуют тщательной расшифровки и проверки, перед которыми реализуется процесс предобработки. Он содержит процедуры очистки от шумов и артефактов, нормализацию значений для упорядочивания в единую шкалу, а также создание согласованных временных рядов. Подготовленный массив данных выступает качественным ресурсом для функционирования прогнозных и управляющих моделей [7].

Цифровая составляющая систем электроснабжения сельских потребителей рассматривалась авторами в предыдущих работах. Возможности применения технологий больших данных в сельских электрических сетях изложены в [7]. В [8] выполнен предиктивный анализ аварийных режимов на воздушных линиях электропередачи 35 кВ с применением полносвязных нейронных сетей, в [9] разработана нейросетевая модель прогнозирования аварийности в сельских распределительных сетях 0,4 кВ, в [10] зарегистрирован программный модуль на основе архитектуры Temporal Fusion Transformer для предиктивного обслуживания распределительных электрических сетей. Эти результаты относятся к прогнозированию повреждений сетевого оборудования и не затрагивают управление комбинированной системой электроснабжения на стороне потребителя.

Таким образом, исследования энергетической части солнечных установок [1–6] и работы по прогнозированию аварийности сетей [8–10] развиваются отдельно. Нерешённой остаётся задача их объединения в систему, которая выполняет прогнозирование генерации и потребления, обеспечивает дистанционный контроль и управление режимами работы у сельского потребителя, а также имеет определённый порядок внедрения в удалённом населённом пункте.

Цель исследования – разработка архитектуры и поэтапного алгоритма внедрения комбинированной системы электроснабжения на основе солнечной электро-

```
def model_regression():
    inputs = keras.Input(shape=(6, 8))
    x = keras.layers.Reshape((6 * 8,))(inputs)
    x = keras.layers.Dense(16, activation="relu")(x)
    x = keras.layers.Dense(64, activation="relu")(x)
    x = keras.layers.Dense(64, activation="relu")(x)
    outputs = keras.layers.Dense(7)(x)
    model = keras.Model(inputs, outputs)

    model.compile(optimizer="rmsprop", loss="mse", metrics=["mae"])

    return model
```

Рисунок 1 – Модель нейронной сети

станции с дистанционным мониторингом и управлением через мобильное приложение для повышения надёжности электроснабжения удалённого сельского населённого пункта (на примере села Агишты Шалинского района Чеченской Республики).

Материалы исследования. Материалами послужили ранее опубликованные работы [7–10].

Для осуществления удалённого контроля над гибридной энергосистемой создаётся многосоставный программный комплекс, который базируется на клиент-серверной архитектуре. На стороне сервера, расположенного в защищённом облачном окружении или на локальном вычислительном узле, реализуются вычислительно ёмкие процессы (рис. 1).

Структура рассмотренной сети (рис. 1) представляет собой несколько взаимосвязанных слоёв. Входной слой фиксируется двумерным тензором, отражающим порядок нормированных параметров за конкретное время интервала. После входного блока – два полносоединённых слоя с 16 и 64 нейронами, обеспечивающими выявление хронологических взаимосвязей [9]. Данная структура интегрирует поступающие от полевых датчиков начальные сведения, производит их обработку. В ней реализуется комплекс алгоритмов искусственного интеллекта, обеспечивающих прогнозы и процесс оптимизации [10].

Клиентская часть представлена установленным на смартфон или планшет специалистов мобильным приложением. Приложение интуитивно понятно, интерфейсом показывает результаты вычислений сервера, трансформируя их и передавая управляющие команды в систему. Защищённые каналы передачи данных стабильно функционируют от сервера к клиенту, обеспечивая безопасный обмен данными в любой точке.

Пользовательский опыт основан на взаимодействии со специальными модулями.

Панель управления (Дашборд). На главном экране приложения показаны общие параметры энергокомплекса, сопоставленные показатели: мощность, вырабатываемая солнечными панелями, остаточный заряд аккумуляторов, уровень потребления энергии, конкретный режим («Автономный от солнца» или «Резерв от сети»). Данные представлены в виде диаграмм и мнемосхем, помогающих оценить систему [3].

Архивный анализ (Мониторинг) – даёт возможность ознакомиться с архивом параметров и проанализировать изменения, показан в виде интерактивных таблиц и графиков, временной масштаб можно регулировать. Такой тип анализа позволяет оценить динамику в долгосрочной перспективе и провести аудит.

Инструменты оперативного управления (Управление) – автоматический режим управления позволяет пользователю управлять энергосистемой. У каждого уровня прав клиента – доступ к различным функциям:

- оператор вручную переключается между экономическим и экологическим режимами, включает или выключает вспомогательный дизель-генератор;
- администратор может значительно изменять работу системы, задавать порог срабатывания автоматики, определять срок для тестов оборудования, контр-

олировать чувствительность датчиков [1].

Система предупреждений (Оповещения). Для оперативного реагирования предусмотрен механизм push-уведомлений. Мобильный интерфейс информирует пользователя, если заряд батарей критически снизится, произошло аварийное отключение одного из источников, перегрузке или выходе параметров за очерченные границы. Разрабатываются и превентивные уведомления, которые напоминают о плановом техническом обслуживании, обновлении фильтров или визуальном контроле оборудования.

Аналитический отчёт (Отчётность). Финальный модуль направлен на автоматизацию процесса документирования. За необходимые временные отрезки создаются подробные отчёты, в которых отражаются суммарная выработка и потребление, рассчитывается экономия финансовой составляющей и уменьшения углеродного следа, высчитывается коэффициент применения мощности. В отчётах содержатся данные о действии резервных источников. В приложении можно ознакомиться с результатами отчёта, экспортировать или переслать их по электронной почте.

Для результативной интеграции интеллектуальной энергетической системы в сельский населённый пункт необходимо произвести ряд взаимообусловленных работ. Их последовательность определяется нормативно закреплённой этапностью.

На рисунке 2 представлена позиционная карта Шалинского района Чеченской Республики, где обозначено местоположение села Агишты. С учётом особенностей его расположения разработан алгоритм внедрения комбинированной системы электроснабжения на основе солнечной электростанции с дистанционным мониторингом и управлением через мобильное приложение.

Результаты и обсуждения. Базисом обозначенного проекта выступает детальное подготовительное исследование. На первом этапе специалисты объеди-



Рисунок 2 – Позиционная карта (Шалинский район, Чеченская Республика)

Таблица 1 – Данные районных электрических сетей по аварийным режимам

Наименование линии	Дата возникновения аварийного режима	Обрыв провода	Повреждение изолятора	Замыкание из-за птиц	Замыкание из-за растений	Перехлест проводов из-за траверсы	Перехлест проводов из-за провиса	Неисправность разъединителя линейной наружной установки (РЛНД)
ТП 1-16/100кВ	13.01.2025	0	0	1	0	0	0	0
ТП 1-17/63кВ	22.01.2025	1	0	0	0	0	1	0
ТП 1-18/250кВ	03.02.2025	0	1	0	0	1	0	0
ТП 1-19/100кВ	04.02.2025	0	0	0	1	0	0	0
ТП 1-20/400кВ	09.02.2025	0	0	0	0	0	0	0
ТП 1-21/100кВ	06.03.2025	0	1	0	0	0	0	1

няют имеющиеся данные в единый комплекс: замеряют инсоляцию зимой, осенью, летом, анализируют стабильность электрической сети, исследуют профили общественных объектов и энергопотребления локальных домохозяйств за год (табл. 1) [8].

Имеющиеся данные закладывают фундамент технико-экономического обоснования (ТЭО), которое:

- выявляет подходящую мощность солнечной генерации;

- определяет требующуюся ёмкость накопителей, вид аварийного источника;

- просчитывает итоговую стоимость проекта, сроки окупаемости и предполагаемый финансовый результат.

Итогом расчётов и утверждения проекта является заключительная спецификация, после которой реализуется процесс закупки лицензированного оборудования: инверторов; солнечных батарей; силовой автоматики; элементов питания (рис. 3).

На следующем этапе происходит создание энергетического комплекса. Монтажные бригады устанавливают каркасы и закрепляют солнечные панели в специальных пространствах или на крыше зданий под необходимым углом наклона для данной местности. Затем оснащается помещение с отоплением и вентиляцией, в котором располагаются шкафы управления, аварийный генератор и аккумуляторный банк. Специалисты прокладывают силовую кабель, устанавливают распределительное оборудование, элементы защиты и коммутации.

По завершении монтажа таких элементов инженеры-наладчики выполняют пусконаладочные мероприятия: проверку функционирования инверторов, настройку контроллеров заряда, контроль изоляции и пропускной способности кабелей [3; 5].

Значимой частью данного этапа выступает пробный запуск гибридной электростанции, а также контроль режимов её автоматического включения посредством системы БайПас (рис. 4).

Следующий этап после монтажа энергосистемы – формирование «цифровой инфраструктуры». Для достоверной передачи данных в сельской местности формируется стабильный канал связи. С учётом сигнала мобильной связи в с. Агишты применяются:

- модем с поддержкой стандарта 4G/LTE – при стабильном сигнале;

- устанавливается спутниковая терминальная система – если сигнал прерывистый.

Так настраивается локальная сеть и выставляются конкретные параметры передаваемой информации.

На данном этапе интеллектуальная программная платформа входит в состав цифровой инфраструктуры. На облачном или локальном ресурсах формируется система хранения для телеметрических данных и конфигурационных показателей. Откалибровывается и контролируется вычислительное ядро системы. В него входят прогнозирующие и оптимизирующие алгоритмы машинного обучения. Происходит установка моделей искусственного интеллекта с использованием данных,



Рисунок 3 – Комплект гибридной системы питания дома

Повышение надёжности сельских электрических сетей за счёт внедрения комбинированной системы электроснабжения солнечной станции для сельской местности на основе искусственного интеллекта



Рисунок 4 – Система БайПас

собранных на начальном этапе. Важный пункт – регулировка веб-интерфейса для администраторов системы. На завершающем этапе реализуются финальные версии мобильного приложения с адресами серверов и параметрами подключения для конкретного объекта в с. Агишты.

На заключительном этапе интегрированную систему несколько раз испытывают. Реализуется пробная эксплуатация в разных вариантах: система тестируется в условиях автономного снабжения от солнца и аккумуляторных накопителей. Также проверяется корректность быстрого перехода на альтернативный источник при имитации большой нагрузки, специально создаются сбои в канале связи. Специалисты получают обратную связь и корректируют обнаруженные программные и аппаратные нарушения.

В то же время вместе с отладкой происходит обучение техперсонала из местных жителей с. Агишты, которое заключается в инструктаже по основам эксплуатации, изучении интерфейса мобильного приложения, отработке порядка действий в случае аварийной ситуации и освоении протокола визуального контроля оборудования. Система официально вводится в промышленную эксплуатацию после реализации всех технических работ и успешного прохождения обучения специалистами, происходит подписание акта эффективных приёмочных испытаний.

На этом работа над программным комплексом не заканчивается, а требует пролонгированного сопровождения. Дистанционный контроль производится с помощью административных панелей, при этом регулируется производительность, точность прогнозирования и состояние технических средств. Программное обеспечение обновляется, расширяется его функционал, а алгоритмы машинного обучения регулируют свои параметры на базе обновлённых данных, повышая точность прогнозов. Перманентно создаются отчёты о результативности, которые оперируют актуальными данными [4; 6].

Для специалистов предусмотрена поддержка в виде онлайн (чат) или офлайн (телефон) консультаций. Предусмотрены выездные сервисные визиты раз в год для реализации планового техобслуживания, модерни-

зации аппаратного комплекса и демонстрации новых параметров системы.

Проект является технологически и финансово целесообразным. Предварительные расчёты очерчивают временную траекторию для окупаемости нового оборудования и запуска системы. Ключевые статьи экономии:

- уменьшение зависимости от внешних поставщиков электроэнергии;
- снижение затрат на техобслуживание и ремонт системы из-за перегрузок.

При определённой организационной доработке с ресурсоснабжающей организацией, такая модель способна обеспечить жителей с. Агишты бесперебойным электроснабжением, что позволяет совершенствовать цифровые сервисы, расширять возможности бизнеса и качественно трансформировать условия быта.

Стабильный уровень электрической энергии открывает возможности для совершенствования местной экономики, появлению дополнительных рабочих позиций. Перевод части генерации на солнечную энергию положительно сказывается на экологии: уменьшается уровень парниковых газов, сажи и других продуктов сгорания.

Выводы.

1. Анализ данных районных электрических сетей за январь – март 2025 г. (табл. 1) показал, что аварийные режимы на линиях, питающих сельских потребителей Шалинского района, вызваны обрывами и перехлёстами проводов, повреждениями изоляторов, замыканиями из-за птиц и растительности, а также неисправностями разъединителей РЛНД. Разнообразие причин отключений и удалённость населённых пунктов обосновывают резервирование сетевого питания за счёт локальных источников.

2. Предложена архитектура комбинированной системы электроснабжения, объединяющая солнечную электростанцию, аккумуляторные накопители, резервный дизель-генератор и программный комплекс клиент-серверного типа. Серверная часть содержит нейросетевую модель с двумя полносвязными слоями (16 и 64 нейрона) для прогнозирования генерации и потребления. Клиентская часть реализована в виде мобильного приложения с модулями панели управления, архивного мониторинга, оперативного управления, оповещений и отчётности; права доступа разграничены для оператора и администратора.

3. Сформирован поэтапный алгоритм внедрения системы применительно к условиям с. Агишты: предпроектное обследование и технико-экономическое обоснование, закупка и монтаж оборудования, пусконаладочные работы с проверкой автоматического переключения через систему БайПас, организация канала связи (модем 4 G/LTE или спутниковый терминал), развертывание программной платформы, испытания, обучение местного персонала и последующее сопровождение.

4. Вклад авторов состоит в применении подходов к нейросетевому прогнозированию, развиваемых в [8–10], для управления комбинированной энергоустановкой на стороне потребителя и в формализации порядка её внедрения в удалённом сельском населённом пункте.

5. Предложенная система находится на стадии проектного решения. Количественная оценка её технико-экономической эффективности, включая стоимость электроэнергии и сроки окупаемости, а также проверка точности прогнозных моделей на данных опытной

эксплуатации составляют задачи дальнейших исследований. Алгоритм внедрения может быть использован при организации электроснабжения других удалённых населённых пунктов Чеченской Республики и регионов со сходными условиями.

Список источников

1. Кирпичникова И. М., Махсумов И. Б., Нуrolлахи Ю. Методика оценки потенциала солнечной энергетики в Республике Таджикистан // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. № 3. С. 25–34. DOI 10.18635/2071-2219-2020-3-25-34. EDN BFRBCD.
2. Кирпичникова И. М., Махсумов И. Б., Шестакова В. В. Снижение генерации электрической энергии солнечными модулями в условиях запыленности местности // iPolytech Journal. 2023. Т. 27, № 1. С. 83–93. DOI 10.21285/1814-3520-2023-1-83-93. EDN URBKSQ.
3. Кирпичникова И. М., Махсумов И. Б. Выбор электрооборудования автономной фотоэлектрической системы с использованием программного обеспечения PVsyst // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2020. Т. 20, № 2. С. 77–88. DOI 10.14529/power200207. EDN QOLDEV.
4. Кирпичникова И. М., Мартыанов А. С., Махсумов И. Б. Анализ эффективности тепловой защиты фотоэлектрических преобразователей солнечной электростанции // Промышленная энергетика. 2021. № 5. С. 34–44. DOI 10.34831/EP.2021.83.85.006. EDN WTTFFAH.
5. Махсумов И. Б. Оценка потенциала солнечной энергии с использованием солнечных кадастров // Энергетик. 2024. № 4. С. 38–42. EDN KFEAFJ.
6. Митрофанов С. В., Петров В. В. Методика расчета мощности фотоэлектрических панелей для объектов микрогенерации // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2023. Т. 66, № 4. С. 80–85. DOI 10.17213/0136-3360-2023-4-80-85. EDN GNXBNT.
7. Зиниев Ш. З., Каргин В. А., Дебиев М. В. Концепция больших данных и ее применимость в сельских электрических сетях // Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами : сб. науч. докладов Всеросс. конф. с международ. уч., Москва, 11 декабря 2024 года. Курск : ЗАО «Университетская книга», 2025. С. 181–186. EDN WQGEAZ.
8. Зиниев Ш. З., Каргин В. А., Кротов И. В. Предиктивный анализ аварийных режимов на воздушных линиях электропередачи 35 кВ с применением полносвязных нейронных сетей // Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами : сб. науч. докладов Всеросс. конф. с международ. уч., Курск, 26 ноября 2025 года. Курск : ЗАО «Университетская книга», 2026. С. 130–136. EDN KUWHLC.
9. Зиниев Ш. З., Каргин В. А., Кротов И. В., Магоматов Р. А. М. Разработка и применение нейросетевой модели для прогнозирования аварийности в сельских распределительных сетях 0,4 кВ // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2026. Т. 73, № 2. С. 33–39. DOI 10.22314/2658-4859-2026-73-2-33-39. EDN DWEIKY.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2026661639 Российская Федерация. Интеллектуальный модуль на базе архитектуры Temporal Fusion Transformer для предиктивного обслуживания распределительных электрических сетей / Ш. З. Зиниев, И. В. Кротов, В. А. Каргин. № 2026660495 ; заявл. 10.04.2026 ; опубл. 22.04.2026. EDN UNZTEM.

References

1. Kirpichnikova I. M., Makhsumov I. B., Nurolakhi Yu. Metodika ocenki potenciala solnechnoj energetiki v Respublike Tadjzhikistan // Energobezopasnost' i energosberezhenie. 2020. № 3. S. 25–34. DOI 10.18635/2071-2219-2020-3-25-34. EDN BFRBCD.
2. Kirpichnikova I. M., Makhsumov I. B., Shestakova V. V. Snizhenie generacii elektricheskoy energii solnechnymi moduliyami v usloviyah zapylennosti mestnosti // iPolytech Journal. 2023. T. 27, № 1. S. 83–93. DOI 10.21285/1814-3520-2023-1-83-93. EDN URBKSQ.
3. Kirpichnikova I. M., Makhsumov I. B. Vyborelektrooborudovaniya avtonomnoj fotoelektricheskoy sistemy s ispol'zovaniem programmnogo obespecheniya PVsyst // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika. 2020. T. 20, № 2. S. 77–88. DOI 10.14529/power200207. EDN QOLDEV.
4. Kirpichnikova I. M., Mart'yanov A. S., Makhsumov I. B. Analiz effektivnosti teplovoj zashchity fotoelektricheskikh preobrazovatelej solnechnoj elektrostancii // Promyshlennaya energetika. 2021. № 5. S. 34–44. DOI 10.34831/EP.2021.83.85.006. EDN WTTFFAH.
5. Makhsumov I. B. Ocenka potenciala solnechnoj energii s ispol'zovaniem solnechnyh kadaстров // Energetik. 2024. № 4. S. 38–42. EDN KFEAFJ.
6. Mitrofanov S. V., Petrov V. V. Metodika rascheta moshchnosti fotoelektricheskikh panelej dlya ob'ektov mikrogeneracii // Izvestiya vysshixh uchebnyh zavedenij. Elektromekhanika. 2023. T. 66, № 4. S. 80–85. DOI 10.17213/0136-3360-2023-4-80-85. EDN GNXBNT.
7. Ziniev Sh. Z., Kargin V. A., Debiev M. V. Konceptiya bol'shih dannyh i ee primenimost' v sel'skikh elektricheskikh setyah // Avtomatizirovannye sistemy upravleniya biotekhnologicheskimi processami : sb. nauch. dokladov Vseross. konf. s mezhdunarod. uch., Moskva, 11 dekabrya 2024 goda. Kursk : ZAO «Universitetskaya kniga», 2025. S. 181–186. EDN WQGEAZ.
8. Ziniev Sh. Z., Kargin V. A., Krotov I. V. Prediktivnyj analiz avariynih rezhimov na vozdushnyh liniyah elektroperedachi 35 kV s primeneniem polosv'yaznyh nejronnyh setej // Avtomatizirovannye sistemy upravleniya biotekhnologicheskimi processami : sb. nauch. dokladov Vseross. konf. s mezhdunarod. uch., Kursk, 26 noyabrya 2025 goda. Kursk : ZAO «Universitetskaya kniga», 2026. S. 130–136. EDN KUWHLC.
9. Ziniev Sh. Z., Kargin V. A., Krotov I. V., Magomadov R. A. M. Razrabotka i primenenienejrosetevoj modeli dlya prognozirovaniya avariynosti v sel'skikh raspredelitel'nyh setyah 0,4 kV // Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK. 2026. T. 73, № 2. S. 33–39. DOI 10.22314/2658-4859-2026-73-2-33-39. EDN DWEIKY.
10. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM 2026661639 Rossijskaya Federaciya. Intellektual'nyj modul' na baze arhitektury Temporal Fusion Transformer dlya prediktivnogo obsluzhivaniya raspredelitel'nyh elektricheskikh setej / Sh. Z. Ziniev, I. V. Krotov, V. A. Kargin. № 2026660495 ; yayavl. 10.04.2026 ; opubl. 22.04.2026. EDN UNZTEM.

Сведения об авторах

Шамсудин Зелимович Зиниев – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электрооборудования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова», spin-код: 5546-8620.

Виталий Александрович Каргин – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры интеллектуальных систем в управлении и автоматизации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», spin-код: 4081-1617.

Адам Сайпуддинович Такаев – аспирант кафедры электротехники и электрооборудования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова».

Information about the authors

Shamsudin Z. Ziniev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Millionshchikov Grozny State Oil Technical University", spin-code: 5546-8620.

Vitaliy A. Kargin – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Intelligent Systems in Control and Automation, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian Biotechnological University", spin-code: 4081-1617.

Adam S. Takayev – Postgraduate student of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment, Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education "Millionshchikov Grozny State Oil Technical University".

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.



Научная статья
УДК 631.348.8
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.017

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ БОРЬБЫ С СОРНЫМИ РАСТЕНИЯМИ, ОСНОВАННЫХ НА НЕПРЕРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И МОЩНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСАХ

Артём Сергеевич Угловский

Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия
a.uglovskii@yarcx.ru, ORCID 0000-0002-5678-4786

Реферат. В условиях растущего запроса на снижение пестицидной нагрузки в агросекторе, физические методы уничтожения сорных растений становятся предметом активных исследований. В работе проведён сравнительный анализ двух электрофизических методов борьбы с сорными растениями: электротермического (на основе непрерывного переменного тока) и электроимпульсного (на основе высоковольтных импульсов). Для электротермического метода построена трёхмерная расчётная поверхность, описывающая изменение температуры растительной ткани в зависимости от подводимой мощности (до 20 Вт) и времени воздействия (до 80 с). Показано, что в исследуемом диапазоне параметров максимальная температура достигает около 58°C, не достигая критического уровня термического некроза (75°C), что свидетельствует о необходимости увеличения мощности или продолжительности воздействия для достижения необратимого термического повреждения тканей. Для электроимпульсного метода, на основе уравнения Швана, определены критические значения напряжённости внешнего электрического поля, соответствующие достижению порогового трансмембранного потенциала 1 В. Для рассмотренных модельных клеток радиусом 60 и 20 мкм критическая напряжённость внешнего поля составила около 0,11 и 0,33 кВ/см соответственно. Полученные результаты математического моделирования показывают, что электротермический и электроимпульсный методы отличаются принципиально различными механизмами воздействия на растительную ткань. Электротермический метод определяется накоплением тепловой энергии, тогда как электроимпульсный основан на достижении порогового трансмембранного потенциала.

Ключевые слова: борьба с сорными растениями, электрофизические методы, электрическая прополка, электроимпульсное воздействие, разрушение клеточных мембран

A COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTROPHYSICAL METHODS OF WEED CONTROL BASED ON CONTINUOUS ALTERNATING CURRENT ACTION AND POWERFUL HIGH-VOLTAGE PULSES

Artem S. Uglovskiy

Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia
a.uglovskii@yarcx.ru, ORCID 0000-0002-5678-4786

Abstract. Under the conditions of the growing demand for reducing pesticide load in the agricultural sector, physical methods of weed control are becoming the subject of active researches. A comparative analysis of two electrophysical methods of weed control was carried out in the work: electrothermal (based on continuous alternating current) and electropulse (based on high-voltage pulses). For the electrothermal method, a three-dimensional computational surface is constructed, describing the change in the temperature of plant tissue depending on the input power (up to 20 W) and the exposure time (up to 80 s). It is shown that in the studied range of parameters, the maximum temperature reaches about 58°C, without reaching the critical level of thermal necrosis (75°C), which indicates the need to increase the power or duration of exposure to achieve irreversible thermal tissue damage. For the electropulse method, based on the Schwann equation, critical values of the external electric field strength, corresponding to the achievement of a threshold transmembrane potential of 1 V were determined. For the considered model cells with a radius of 60 and 20 μm , the critical external field strength was about 0.11 and 0.33 kV/cm, respectively. The obtained results of mathematical modeling show that electrothermal and electropulse methods differ in fundamentally different mechanisms of action on plant tissue. The electrothermal method is determined by the accumulation of thermal energy, while the electropulse method is based on reaching the threshold transmembrane potential.

Keywords: weed control, electrophysical methods, electric weeding, electropulse action, destruction of cell membranes

Сравнительный анализ электрофизических методов борьбы с сорными растениями, основанных на непрерывном воздействии переменного тока и мощных высоковольтных импульсах

Введение. Одной из приоритетных задач современного устойчивого сельского хозяйства является значительное сокращение или полный отказ от использования химических гербицидов. Их применение сопряжено с рисками загрязнения окружающей среды, негативным влиянием на нецелевые культуры и, что критически важно, быстрым развитием резистентности (устойчивости) у сорных растений [1; 2]. В качестве жизнеспособной альтернативы активно развиваются нехимические, физические методы, среди которых электрическая прополка выделяется высоким потенциалом автоматизации и эффективности [3; 4; 5].

Современные электрофизические подходы можно разделить на два фундаментально различных класса. Исторически первым является электротермический метод, основанный на непрерывном воздействии переменного тока. Он вызывает общее тепловое повреждение (Джоулев нагрев) ткани, приводя к её гибели. Вторым, более новым подходом, – электроимпульсное воздействие. Он использует очень короткие, но мощные импульсы высокого напряжения для прямого разрушения клеточных мембран (пробоя), минуя стадию общего нагрева.

Несмотря на то, что оба метода основаны на электрическом воздействии на растительную ткань, они существенно различаются по физическому механизму действия: электротермический метод реализуется за счёт объёмного нагрева тканей, тогда как электроимпульсный основан на достижении критического трансмембранного потенциала и развитии электропорации клеточных мембран. Указанные различия определяют особенности энергетических характеристик и условий применения каждого метода. Вместе с тем в научной литературе сравнительный анализ этих подходов, основанный на математическом моделировании их физических механизмов, представлен ограниченно.

Цель исследования – проведение сравнительного анализа двух ключевых электрофизических методов борьбы с сорными растениями: электротермического метода, основанного на непрерывном воздействии переменного тока, и электроимпульсного воздействия высоковольтным напряжением.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать физические механизмы, лежащие в основе каждого метода (тепловое действие переменного тока и разрушение мембран высоковольтными импульсами).
2. Для определения граничных условий эффективности двух методов выполнить математическое моделирование электротермического и электроимпульсного воздействия в среде Matlab. Расчётный алгоритм базируется на классической теории электротермического нагрева и модели пробоя биологических мембран (уравнение Швана) [6].
3. Выполнить сравнительный анализ электротермического и электроимпульсного методов с целью оценки их энергетических характеристик и особенностей механизма воздействия.
4. Определить значения энергетической дозы для

рассматриваемых режимов электроимпульсного воздействия.

Материалы и методы исследования. В статье проведён сравнительный анализ двух методов по уничтожению сорных растений.

Электротермический метод был проанализирован на основе работы Х. Сахина [7], в которой исследуется эффективность воздействия переменного и постоянного тока, с оценкой результатов по индексу NDVI, а также с учётом механизмов термического уничтожения сорных растений, систематизированных в обзорном исследовании М. Бауэра [8].

Электроимпульсный метод был проанализирован на основе работы Д. Ж. Блумера [9], в которой детально исследуется применение высоковольтных импульсов и их энергетическая эффективность. Однако для борьбы с развитыми многолетними сорными растениями с мощной корневой системой, такими как осот розовый, требуются принципиально иные энергетические дозы, распределённые по площади, что связано с механизмами утечки энергии в почву и высокой регенеративной способностью сорного растения.

Для обработки и наглядного представления данных из источников [9; 10; 11] была использована среда численного моделирования Matlab для построения графиков, которые визуализируют сложные зависимости:

1) поверхность отклика, отражающую зависимость температуры растительной ткани от мощности и времени воздействия;

2) зависимость индуцированного трансмембранного потенциала от напряжённости внешнего электрического поля для клеток различного радиуса.

При формировании общего подхода учитывались результаты исследований в области высоковольтной обработки сорных растений, включая вопросы энергетических характеристик воздействия, моделирования процессов и разработки систем уничтожения сорной растительности [12–14]. Дополнительно учитывались современные подходы к автоматизированному обнаружению сорных растений, используемые при создании интеллектуальных систем управления обработкой [15].

При воздействии переменного тока электрическая энергия преобразуется в тепловую, вызывая нагрев растительной ткани. При достижении температур порядка 60–80°C происходят коагуляция белков и необратимые изменения клеточных структур, что приводит к повреждению тканей, увяданию и гибели надземной части растения.

Скорость нагрева ткани ($\Delta T/t$) в первом приближении может быть выражена зависимостью (формула 1), связывающей скорость нагрева не с током (который сложно контролировать), а с напряжённостью электрического поля (E), которую создаёт установка. Скорость повышения температуры ($\Delta T/t$) можно выразить классическим уравнением теплового баланса при джоулевом нагреве проводящих сред [8; 16]:

$$\frac{\Delta T}{t} \approx \frac{E^2}{\rho \cdot \delta \cdot c}, \quad (1)$$

где ΔT – изменение температуры ($^{\circ}\text{C}$); t – время (с); E – напряжённость электрического поля (В/м); ρ – удельное электрическое сопротивление растительной ткани (включающей клеточный сок и апопластную жидкость), (Ом·м); δ – плотность ткани ($\text{кг}/\text{м}^3$); c – удельная теплоёмкость ткани ($\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$).

Размерность правой части определяется следующим образом:

$$\left[\frac{E^2}{\rho \cdot \delta \cdot c} \right] = \frac{(\text{В}/\text{м})^2}{(\text{Ом}\cdot\text{м}) \cdot (\text{кг}/\text{м}^3) \cdot (\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}))}.$$

Преобразуя выражение, получаем:

$$= \frac{\text{В}^2/\text{м}^2}{\frac{\text{Ом}\cdot\text{кг}\cdot\text{Дж}}{\text{м}^2\cdot\text{кг}\cdot\text{K}}} = \frac{\text{В}^2}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{м}^2\cdot\text{K}}{\text{Ом}\cdot\text{Дж}} = \frac{\text{В}^2\cdot\text{K}}{\text{Ом}\cdot\text{Дж}}.$$

Согласно закону Ома и определению электрической мощности.

При этом Следовательно,

$$\frac{\text{В}\cdot\text{K}}{\text{Дж}} = \frac{(\text{Дж}/\text{с})\cdot\text{K}}{\text{Дж}} = \frac{\text{K}}{\text{с}}.$$

Размерности левой и правой частей выражения совпадают:

$$\left[\frac{\Delta T}{t} \right] = \left[\frac{E^2}{\rho \cdot \delta \cdot c} \right] = [\text{K}/\text{с}].$$

Альтернативным методом является использование очень коротких (от нано- до микросекунд) импульсов с высокой напряжённостью электрического поля (кВ/см). В этом случае ключевым фактором является не тепловое действие (оно минимально из-за краткости импульса), а прямое разрушение клеточных мембран.

Несмотря на то, что целлюлозная клеточная стенка обладает диэлектрическими свойствами в сухом виде, в живом растении она сильно обводнена, имеет высокую пористость (апопласт) и насыщена растворами минеральных солей. Вследствие этого её удельное электрическое сопротивление на порядки ниже, чем у липидного бислоя плазматической мембраны. При воздействии импульса тока клеточная стенка ведёт себя как провод-

ник с активным сопротивлением, и основное падение потенциала (а также накопление ёмкостного заряда) происходит именно на высокоомной мембране (плазмолемме). Пробой мембраны лишает клетку осмотического барьера, что ведёт к потере тургора и падению механической прочности всей конструкции клеточной стенки.

Клеточная мембрана в обычном состоянии действует как защитный изолирующий слой. Воздействие мощного внешнего поля создаёт на этой мембране критическую разность напряжений. Когда это напряжение превышает пороговое значение (около 1 В), в мембране происходит необратимое повреждение, что приводит к потере внутреннего содержимого клетки и её быстрой гибели. Величина критической разности напряжений для клетки описывается формулой [17]:

$$\Delta\psi_m = 1,5 \cdot E \cdot r \cdot \cos(\theta), \quad (2)$$

где $\Delta\psi_m$ – трансмембранный потенциал (ТМП) на мембране клетки; E – напряжённость внешнего электрического поля; r – радиус клетки; θ – угол между радиусом, проведённым к рассматриваемой точке мембраны, и направлением внешнего электрического поля.

Уравнение Швана связывает внешнее поле с потенциалом на мембране клетки [17; 18]:

$$\Delta\psi_m(t) = 1,5 \cdot E_0 \cdot r \cdot \cos(\theta) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_m}} \right), \quad (3)$$

где $\Delta\psi_m(t)$ – трансмембранный потенциал, индуцированный на мембране в момент времени t ; E_0 – напряжённость внешнего электрического поля (В/м); τ_m – постоянная времени зарядки мембраны, обычно находящаяся в диапазоне 0,1–10 мкс.

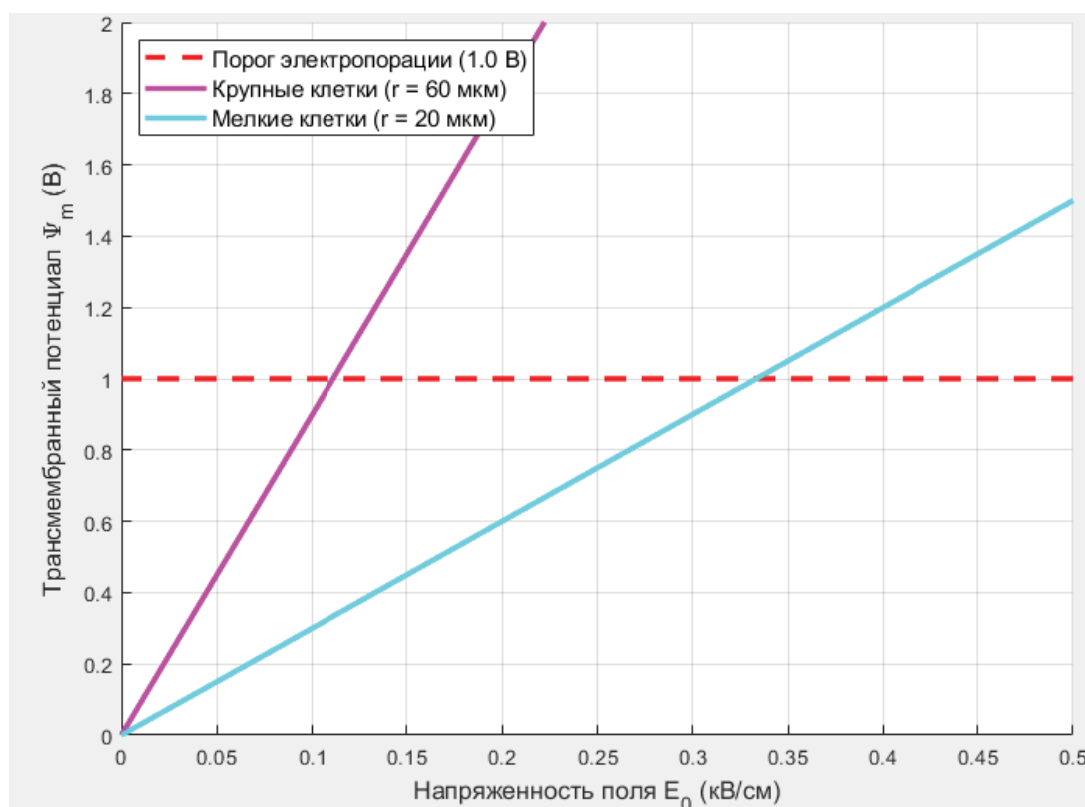
Длительность самого импульса t должна быть достаточной для полной зарядки мембраны.

Электроимпульсный метод потенциально более энергоэффективен, чем электротермический. Энергия расходуется не на диссипативный нагрев всего объёма растительной ткани, а адресно – на преодоление диэлектрической прочности клеточных мембран в момент

Таблица 1 – Сравнительные характеристики методов электротермического переменным током и электроимпульсного воздействия

Параметр	Непрерывный электротермический	Электроимпульсное воздействие
Основной механизм	Тепловое действие тока, общий нагрев ткани, коагуляция белков [7; 8]	Превышение порогового потенциала на плазмолемме (индуцированный ТМП > 1 В), приводящее к формированию необратимых сквозных микропор в липидном бислое [9; 17], что вызывает критическое нарушение осмотического баланса, интенсивное истечение внутриклеточного содержимого (ионов, метаболитов) наружу, падение тургора и некроз клетки
Цель воздействия	Вся проводящая масса ткани (нагрев внутриклеточной жидкости) [8; 16]	Клеточная мембрана (как изолирующий барьер) [17; 18]
Энергопотребление	Высокое. Определяется временем, необходимым для нагрева до летальных температур (секунды) [7; 11]	Низкое. Определяется пороговой энергией, необходимой для «пробоя» (Дж) [9; 11]
Скорость воздействия	Относительно медленная (требуются секунды) [8; 16]	Сверхбыстрая (импульс длится микросекунды) [17; 18]
Сложность системы	Умеренная. Требуется силовой трансформатор и система контроля напряжения/времени	Высокая. Требуется сложный генератор импульсов (блок накопления энергии и блок быстрой коммутации)

Сравнительный анализ электрофизических методов борьбы с сорными растениями, основанных на непрерывном воздействии переменного тока и мощных высоковольтных импульсах



— — — — — критический уровень ТМП, соответствующий началу необратимой электропорации.

Рисунок 1 – Расчётная зависимость индуцированного трансмембранного потенциала от напряжённости внешнего электрического поля для модельных клеток радиусом 20 и 60 мкм (согласно уравнению Швана)

их пробоя. Как показывает анализ графической зависимости (рис. 1), для достижения летального эффекта может требоваться энергия порядка 5–6 Дж [9] на растение, в то время как тепловое воздействие (рис. 2) требует значительно больших энергетических затрат, зависящих от времени.

Ключевым преимуществом считается более глубокое системное воздействие на растение. В отличие от электротермического метода, который зачастую вызывает лишь локальное повреждение надземной части, высоковольтное импульсное поле способно распространяться по проводящей системе растения (ксилеме и флоэме), достигая корневой системы [9; 11]. Данный метод перспективен для борьбы с многолетними корнеотпрысковыми сорными растениями, такими как осот розовый, которые способны к регенерации из корневых почек.

В таблице 1 автором представлено аналитическое обобщение результатов, полученных на основе анализа теоретических моделей и литературных источников.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлены расчётные зависимости индуцированного трансмембранного потенциала от напряжённости внешнего электрического поля, построенные по уравнению Швана [16; 17]. Величина E_0 характеризует макроскопическую напряжённость внешнего электрического поля, воздействующего на растительную ткань в целом. В рамках принятой зависимости предполагается, что электрическое поле в пределах рассматриваемого участка

ткани распределено достаточно равномерно, поэтому клетки различного размера находятся в одинаковом внешнем поле, но приобретают различный трансмембранный потенциал вследствие различия их радиусов.

Рисунок 2 иллюстрирует результаты математического моделирования переходного процесса нагрева растительной ткани при непрерывном электротермическом воздействии. При мощности 10 Вт температура ткани возрастает по экспоненциальному закону и к 60-й секунде выходит на стационарный уровень около 42,5°C, что соответствует установлению теплового равновесия между поступающей электрической энергией и теплотермиями. При мощности 15 Вт температура продолжает возрастать и в пределах исследуемого интервала времени не достигает стационарного режима, составляя 53,8°C к 60-й секунде. Согласно графической зависимости, критическая температура коагуляции белков (75°C) достигается приблизительно через 95 секунд воздействия.

Для иллюстрации данной зависимости в расчётной модели рассмотрены клетки радиусом 60 и 20 мкм. Расчёт выполнен при критическом трансмембранном потенциале $\Delta\Psi_m = 1$ В [17; 18]. В рамках принятой модели для клетки радиусом 60 мкм критическая напряжённость внешнего электрического поля составляет около $E_0 \approx 0,11$ В/см, тогда как для клетки радиусом 20 мкм аналогичный порог достигается при напряжённости поля около $E_0 \approx 0,33$ кВ/см.

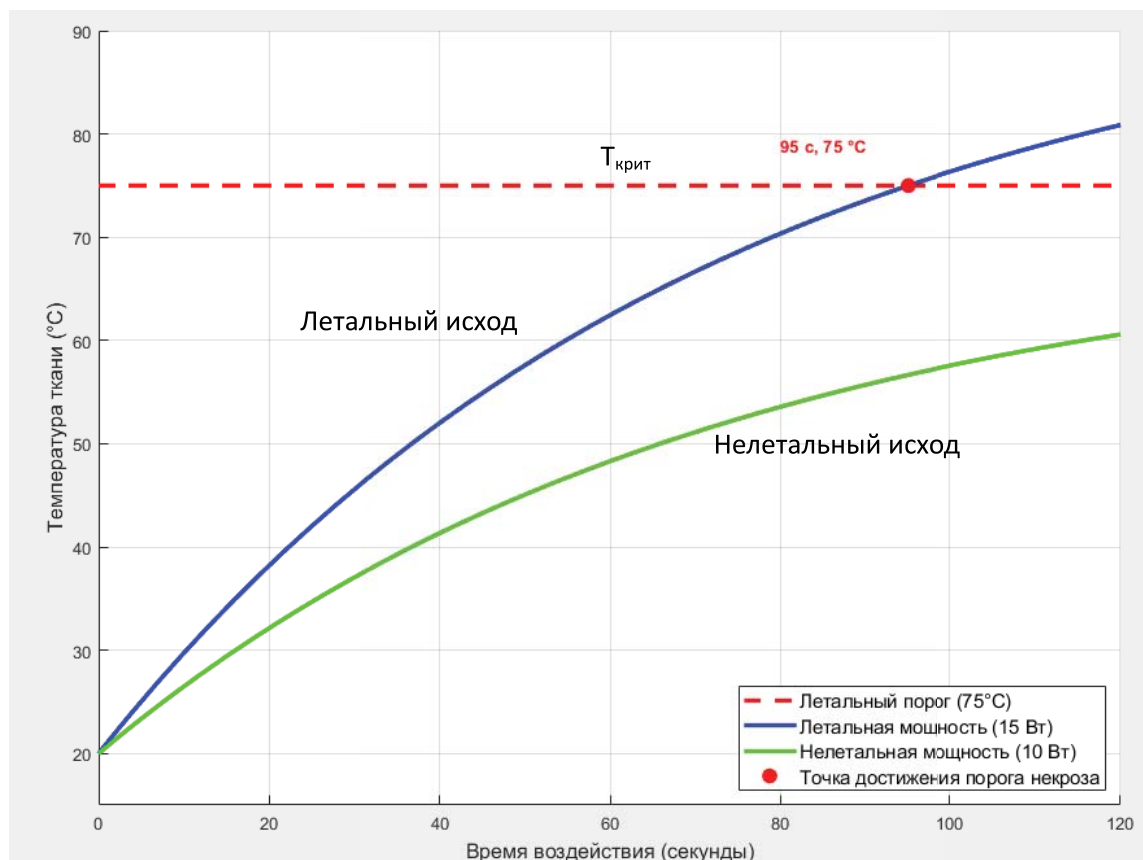


Рисунок 2 – Результаты математического моделирования нагрева растительной ткани при непрерывном электротермическом воздействии для двух уровней подводимой мощности

Таким образом, результаты математического моделирования свидетельствуют, что определяющим фактором электроимпульсного воздействия является достижение порогового значения трансмембранного потенциала. При этом пороговая напряжённость внешнего электрического поля, необходимая для достижения критического трансмембранного потенциала, определяется геометрическими размерами клетки: чем больше её радиус, тем меньшая напряжённость поля требуется, согласно уравнению Швана [16; 17].

На рисунке 3 представлен итоговый сравнительный анализ двух методов, полученный путём 3D-моделирования их поверхностей отклика в среде Matlab. Данная визуализация наглядно демонстрирует фундаментальное различие в их физических механизмах и доминантных факторах.

Сравнительное моделирование (рис. 3) показывает, что электротермический метод является плавным, энергоёмким и зависящим от времени процессом. Электроимпульсный метод, напротив, является пороговым, не зависящим от времени процессом, где единственным ключевым фактором является достижение пиковой напряжённости поля.

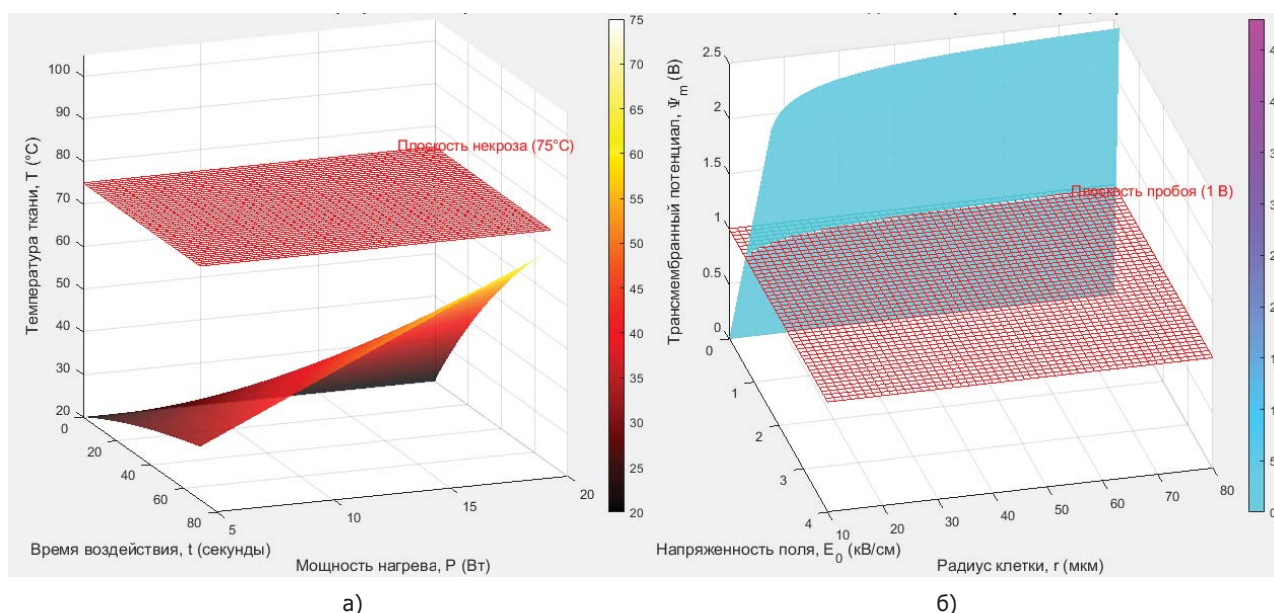
Анализ расчётной поверхности (рис. 3а) показывает, что температура ткани возрастает с увеличением мощности и времени воздействия. Однако в исследуемом диапазоне параметров (мощность – до 20 Вт, время воздействия – до 80 с) расчётная температура не достигает критического уровня термического некроза (75 °C).

Так, при максимальных параметрах моделирования (20 Вт и 80 с) температура ткани достигает около 58 °C, что остаётся ниже критической температуры некроза. Полученные результаты показывают, что для достижения критического уровня нагрева при выбранных условиях моделирования требуется увеличение мощности и продолжительности воздействия.

Расчётная поверхность, представленная на рисунке 3б, иллюстрирует зависимость индуцированного трансмембранного потенциала от напряжённости внешнего электрического поля и радиуса клетки, согласно уравнению Швана. Красная плоскость соответствует критическому значению трансмембранного потенциала ($\Delta\Psi_m = 1$ В).

Анализ графической зависимости показывает, что с увеличением радиуса клетки требуемая напряжённость внешнего электрического поля, необходимая для достижения порога необратимой электропорации, уменьшается. В трёхмерном представлении красная плоскость соответствует пороговому значению трансмембранного потенциала, а линия её пересечения с расчётной поверхностью определяет сочетания напряжённости электрического поля и радиуса клетки, при которых достигается критический уровень электропорации. Полученные результаты согласуются с анализом двумерных зависимостей, представленным на рисунке 1.

Для оценки влияния энергетической дозы на эффективность электроимпульсного воздействия выполнено математическое моделирование с использованием



а) зависимость температуры растительной ткани от мощности и времени воздействия при электротермическом методе;
б) зависимость индуцированного трансмембранного потенциала от напряжённости внешнего электрического поля и радиуса клетки (согласно уравнению Швана).

Рисунок 3 – Сравнительное моделирование физических характеристик двух электрофизических методов

программной платформы для технических вычислений Matlab. В качестве переменных модели рассматривались напряжение, разрядный ток и расчётная энергетическая доза (D , кДж/м²), определяемая по выражению [9]:

$$D = \frac{P_{cp}}{B \cdot v}, \quad (4)$$

где P_{cp} – средняя мощность, выделяемая на электродах (Вт); B – ширина захвата (м); v – скорость движения агрегата (м/с).

Для анализа влияния энергетической дозы рассмотрены расчётные режимы работы высоковольтного генератора. Для каждого режима по выражению (4) определены соответствующие значения энергетической дозы. Результаты расчётов представлены в таблице 2. Параметры работы высоковольтного генератора приняты в качестве расчётных режимов моделирования для импульсной электротехнологической обработки биообъектов. Данные значения использованы в качестве граничных условий моделирования, поскольку они обеспечивают формирование целевой на-

пряжённости электрического поля (в диапазоне от 0,11 до 0,33 кВ/см), необходимой для электропорации клеток исследуемых размеров.

Из таблицы 2 видно, что изменение режима работы высоковольтного генератора приводит к пропорциональному увеличению энергетической дозы, вносимой в обрабатываемую площадь. Полученные значения использованы при математическом моделировании электротермического и электроимпульсного воздействия, а также при анализе энергетических характеристик рассматриваемых методов.

Выводы. Таким образом, автором выполнено сравнительное математическое моделирование двух электрофизических методов воздействия на сорные растения: электротермического, основанного на нагреве тканей вследствие выделения джоулевой теплоты, и электроимпульсного, основанного на достижении критического трансмембранного потенциала и развитии необратимой электропорации клеточных мембран.

Установлено, что электротермический метод характеризуется выраженной зависимостью от мощности и

Таблица 2 – Исследуемые режимы электроимпульсного воздействия и соответствующие значения энергетической дозы

№ режима	Напряжение, кВ	Разрядный ток, А	Средняя мощность, Вт	Энергетическая доза, кДж/м ²
1	8	1,2	4,3	8,6
2	8	1,2	8,6	17,3
3	12	2,5	13,5	27,0
4	12	2,5	18,0	36,0
5	12	2,5	27,0	54,0
6	15	5,0	33,8	67,5
7	15	5,0	45,0	90,0
8	15	5,0	67,5	135,0

времени воздействия. Согласно результатам моделирования, в исследуемом диапазоне режимов (мощность – до 20 Вт и время воздействия – до 80 с) температура растительной ткани не достигает критического уровня термического некроза (75°C), составляя при максимальных параметрах нагрева лишь около 58°C. Данные результаты свидетельствуют о необходимости существенного увеличения мощности и продолжительности непрерывного воздействия для достижения необратимого термического повреждения тканей.

Согласно уравнению Швана, критическая напряжённость внешнего электрического поля определяется геометрическими размерами клетки и для рассмотренных клеток радиусом 60 и 20 мкм составляет

около 0,11 и 0,33 кВ/см. После достижения критического трансмембранного потенциала дальнейшее увеличение длительности импульса практически не оказывает влияния на вероятность возникновения необратимой электропорации мембран.

Результаты математического моделирования позволяют заключить, что электроимпульсный метод характеризуется более благоприятными энергетическими характеристиками для применения в мобильных роботизированных системах уничтожения сорных растений, по сравнению с электротермическим методом, и представляет собой перспективное направление для разработки энергоэффективных технических средств защиты растений.

Список источников

- Ghanizadeh H., Harrington K. C. Perspective: root exudation of herbicides as a novel mode of herbicide resistance in weeds // *Pest Management Science*. 2020. Vol. 76. P. 2543–2547. DOI 10.1002/ps.5850.
- Ngow Z., Chynoweth R. J., Gunnarsson M. [et al.] A herbicide resistance risk assessment for weeds in wheat and barley crops in New Zealand // *PLoS One*. 2020. Vol. 15 (6). Art. e0234771. DOI 10.1371/journal.pone.0234771.
- Lehnhoff E. A., Neher P., Indacochea A., Beck L. Electricity as an effective weed control tool in non-crop areas // *Weed Research*. 2022. Vol. 62 (2). P. 149–159. DOI 10.1111/wre.12523.
- Slaven M. J., Koch M., Borger C. P. D. Exploring the potential of electric weed control: a review // *Weed Science*. 2023. Vol. 71, No. 5. P. 403–421. DOI 10.1017/wsc.2023.38.
- Li Y., Al-Sarayreh M., Irie K. [et al.] Identification of Weeds Based on Hyperspectral Imaging and Machine Learning // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 11. Art. 611622. DOI 10.3389/fpls.2020.611622.
- Lysakov A. A., Masyutina G. V., Rostova A. T. [et al.] Development of a Weeding Robot with Tubular Linear Electric Motors // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 852. Art. 012063. DOI 10.1088/1755-1315/852/1/012063.
- Sahin H. Investigation of the effectiveness of AC/DC electric current as a weed control method using NDVI technique // *Advances in Weed Science*. 2022. Vol. 40. Art. e020210087. DOI 10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00018.
- Bauer M. V., Marx C., Bauer F. V. [et al.] Thermal weed control technologies for conservation agriculture – a review // *Weed Research*. 2020. Vol. 60, Is. 4. P. 241–250. DOI 10.1111/wre.12418.
- Bloomer D. J., Harrington K. C., Ghanizadeh H., James T. K. Micro Electric Shocks Control Broadleaved and Grass Weeds // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 9. Art. 2039. DOI 10.3390/agronomy12092039.
- Schneider D. The Electric Weed-Zapper Renaissance // *IEEE Spectrum*. 2020. URL. <https://spectrum.ieee.org/the-electric-weed-zapper-renaissance> (дата обращения: 15.03.2026).
- Lati R. N., Rosenfeld L., David I. B., Bechar A. Power on! Low-energy electrophysical treatment is an effective new weed control approach // *Pest Management Science*. 2021. Vol. 77 (9). P. 4138–4147. DOI 10.1002/ps.6451.
- Угловский А. С., Семеренко Н. Ю. Оптимизация процесса удаления сорных растений с использованием высоковольтного напряжения в многофакторном эксперименте // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2025. № 2 (70). С. 72–77. DOI 10.35694/YARCX.2025.70.2.011. EDN NWWFUU.
- Угловский А. С., Семеренко Н. Ю. Автоматизированная система уничтожения сорных растений с использованием высоковольтного разряда и механизма обратной связи // *АгроЭкоИнженерия*. 2025. № 1 (122). С. 104–120. DOI 10.24412/2713-2641-2025-1122-104-119. EDN BOAOTK.
- Угловский А. С. Экспериментальное исследование и моделирование изменения импеданса биологических объектов на примере сорных растений при воздействии высоковольтных импульсов // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2025. № 4 (72). С. 160–166. DOI 10.35694/YARCX.2025.72.4.023. EDN VTJOHU.
- Coleman G., Salter W., Walsh M. OpenWeedLocator (OWL): an open-source, low-cost device for fallow weed detection // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. Art. 170. DOI 10.1038/s41598-021-03858-9.
- Van Haevebeke M., De Baets B., Stock M. Plant impedance spectroscopy: a review of modeling approaches and applications // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Art. 1187573. DOI 10.3389/fpls.2023.1187573.
- Weaver J. C., Chizmadzhev Y. A. Theory of Electroporation: A Review // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. 1996. Vol. 41. P. 135–160. DOI 10.1016/S0302-4598(96)05062-3.
- Zimmermann U. Electrical breakdown, electroporation and electrofusion // *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. 1986. Vol. 105. P. 176–256. DOI 10.1007/BFb0034499.

References

- Ghanizadeh H., Harrington K. C. Perspective: root exudation of herbicides as a novel mode of herbicide resistance in weeds // *Pest Management Science*. 2020. Vol. 76. P. 2543–2547. DOI 10.1002/ps.5850.
- Ngow Z., Chynoweth R. J., Gunnarsson M. [et al.] A herbicide resistance risk assessment for weeds in wheat and barley crops in New Zealand // *PLoS One*. 2020. Vol. 15 (6). Art. e0234771. DOI 10.1371/journal.pone.0234771.
- Lehnhoff E. A., Neher P., Indacochea A., Beck L. Electricity as an effective weed control tool in non-crop areas // *Weed Research*. 2022. Vol. 62 (2). P. 149–159. DOI 10.1111/wre.12523.
- Slaven M. J., Koch M., Borger C. P. D. Exploring the potential of electric weed control: a review // *Weed Science*. 2023. Vol. 71, No. 5. P. 403–421. DOI 10.1017/wsc.2023.38.
- Li Y., Al-Sarayreh M., Irie K. [et al.] Identification of Weeds Based on Hyperspectral Imaging and Machine Learning // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 11. Art. 611622. DOI 10.3389/fpls.2020.611622.
- Lysakov A. A., Masyutina G. V., Rostova A. T. [et al.] Development of a Weeding Robot with Tubular Linear Electric Motors // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 852. Art. 012063. DOI 10.1088/1755-1315/852/1/012063.

7. Sahin H. Investigation of the effectiveness of AC/DC electric current as a weed control method using NDVI technique // *Advances in Weed Science*. 2022. Vol. 40. Art. e020210087. DOI 10.51694/AdvWeedSci/2022;40:00018.
8. Bauer M. V., Marx C., Bauer F. V. [et al.] Thermal weed control technologies for conservation agriculture – a review // *Weed Research*. 2020. Vol. 60, Is. 4. P. 241–250. DOI 10.1111/wre.12418.
9. Bloomer D. J., Harrington K. C., Ghanizadeh H., James T. K. Micro Electric Shocks Control Broadleaved and Grass Weeds // *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 9. Art. 2039. DOI 10.3390/agronomy12092039.
10. Schneider D. The Electric Weed-Zapper Renaissance // *IEEE Spectrum*. 2020. URL. <https://spectrum.ieee.org/the-electric-weed-zapper-renaissance> (дата обращения: 15.03.2026).
11. Lati R. N., Rosenfeld L., David I. B., Bechar A. Power on! Low-energy electrophysical treatment is an effective new weed control approach // *Pest Management Science*. 2021. Vol. 77 (9). P. 4138–4147. DOI 10.1002/ps.6451.
12. Uglovskij A. S., Semerenko N. Yu. Optimizaciya processa udaleniya sornyh rastenij s ispol'zovaniem vysokovol'nogo napryazheniya v mnogofaktornom eksperimente // *Vestnik APK Verhnevolzh'ya*. 2025. № 2 (70). S. 72–77. DOI 10.35694/YARCX.2025.70.2.011. EDN NWWFUU.
13. Uglovskij A. S., Semerenko N. Yu. Avtomatizirovannaya sistema unichtozheniya sornyh rastenij s ispol'zovaniem vysokovol'nogo razryada i mekhanizma obratnoj svyazi // *AgroEkoInzheneriya*. 2025. № 1 (122). S. 104–120. DOI 10.24412/2713-2641-2025-1122-104-119. EDN BOAOTK.
14. Uglovskij A. S. Eksperimental'noe issledovanie i modelirovanie izmeneniya impedansa biologicheskikh ob'ektov na primere sornyh rastenij pri vozdeystvii vysokovol'nyh impul'sov // *Vestnik APK Verhnevolzh'ya*. 2025. № 4 (72). S. 160–166. DOI 10.35694/YARCX.2025.72.4.023. EDN VTJONU.
15. Coleman G., Salter W., Walsh M. OpenWeedLocator (OWL): an open-source, low-cost device for fallow weed detection // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12. Art. 170. DOI 10.1038/s41598-021-03858-9.
16. Van Haeverbeke M., De Baets B., Stock M. Plant impedance spectroscopy: a review of modeling approaches and applications // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Art. 1187573. DOI 10.3389/fpls.2023.1187573.
17. Weaver J. C., Chizmadzhev Y. A. Theory of Electroporation: A Review // *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. 1996. Vol. 41. P. 135–160. DOI 10.1016/S0302-4598(96)05062-3.
18. Zimmermann U. Electrical breakdown, electroporation and electrofusion // *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. 1986. Vol. 105. P. 176–256. DOI 10.1007/BFb0034499.

Сведения об авторе

Артём Сергеевич Угловский – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 3717-5731.

Information about the author

Artem S. Uglovskiy – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 3717-5731.



Научная статья
УДК 63.635-133
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.018

БИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ КЛЕТОК КЛУБНЯ КАРТОФЕЛЯ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ (ОБЗОР)

Владимир Викторович Шмигель¹, Иван Михайлович Кузнецов²

^{1, 2}Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия

¹volod49@mail.ru, ORCID 0000-0001-7265-831X

²ikuznetsov3008@mail.ru, ORCID 0009-0002-3622-3698

Реферат. Статья посвящена систематизации современных представлений о биофизических механизмах, лежащих в основе электрической стимуляции клеток клубня картофеля (*Solanum tuberosum* L.). Актуальность работы обусловлена необходимостью поиска экологически безопасных альтернатив химическим средствам защиты и стимуляции растений, а также низкой реализацией генетического потенциала сортов в реальных условиях возделывания. В теоретической части рассмотрены фундаментальные электрические свойства клеточных мембран, функционирующих как диэлектрические конденсаторы. Проанализированы эквивалентные электрические схемы замещения, включая классическую модель Уго Фрике, и уравнение Гольдмана–Ходжкина–Катца, описывающее формирование мембранного потенциала. Описаны механизмы электропорации, возникающей при критических значениях напряжённости поля, и туннельного переноса электронов. Особое внимание уделено поддержанию трансмембранной разности потенциалов за счёт метаболических процессов и возможности её модуляции внешним электрическим полем. Рассмотрены основные методы экспериментального воздействия на клубни и растения картофеля: электростатические поля, импульсное низкочастотное электрическое поле, СВЧ- и КВЧ-излучения, а также поле коронного разряда. Показано, что выбор режимов обработки должен учитывать частотные и амплитудные характеристики, а также физиологические особенности конкретных сортов. Исследования учёных подтверждают способность электрических сигналов распространяться по растительным тканям, инициируя системные реакции. Установлено, что электрическая стимуляция влияет на мембранные процессы, гормональный баланс, метаболизм и иммунный статус клубней и растений картофеля. Практическая значимость работы заключается в обосновании электрофизических методов как перспективной и экономически целесообразной альтернативы химическим средствам, позволяющей снизить пестицидную нагрузку на агроэкосистемы и повысить рентабельность картофелеводства. Перспективы связаны с оптимизацией режимов и разработкой автоматизированных систем.

Ключевые слова: картофель, электрическая стимуляция, биофизика мембран, трансмембранный потенциал, электропорация, ионные каналы, эквивалентная схема замещения, модель Фрике, электростатическое поле, импульсное низкочастотное электрическое поле, коронный разряд, урожайность, фитофтороз, потенциал действия, энергоэффективность

BIOPHYSICAL MECHANISMS OF ELECTRICAL STIMULATION OF POTATO TUBER CELLS: FUNDAMENTAL ASPECTS AND PRACTICAL RESULTS (REVIEW)

Vladimir V. Shmigel¹, Ivan M. Kuznetsov²

^{1, 2}Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia

¹volod49@mail.ru, ORCID 0000-0001-7265-831X

²ikuznetsov3008@mail.ru, ORCID 0009-0002-3622-3698

Abstract. The article is devoted to systematizing current knowledge on the biophysical mechanisms underlying the electrical stimulation of potato tuber cells (*Solanum tuberosum* L.). The relevance of the study is due to the need to find environmentally friendly alternatives to chemical plant protection and stimulation agents, as well as from the low realization of the genetic potential of varieties under real cultivation conditions. The fundamental electrical properties of cell membranes functioning as dielectric capacitors were considered in the theoretical part. Equivalent electrical circuits, including the classical Fricke model, and the Goldman–Hodgkin–Katz equation describing the formation of the membrane potential were analyzed. The mechanisms of electroporation, occurring at critical values of the electric field strength, and electron tunneling were described. Particular attention is paid to the maintenance of the transmembrane potential difference through metabolic processes and to the possibility of its modulation by an external electric field. The main methods of experimental exposure on potato tubers and plants were considered: electrostatic fields, pulsed low-frequency

Биофизические механизмы электрической стимуляции клеток клубня картофеля: фундаментальные аспекты и практические результаты (обзор)

electric field, microwave (UHF) and extremely high-frequency (EHF) radiation, as well as the corona discharge field. It was shown that the choice of treatment regimes should take into account the frequency and amplitude characteristics, as well as the physiological traits of specific varieties. Scientific studies confirm the ability of electrical signals to propagate through plant tissues, triggering systemic responses. It has been established that electrical stimulation affects membrane processes, hormonal balance, metabolism, and the immune status of potato tubers and plants. The practical significance of the study lies in the substantiation of electrophysical methods as a promising and economically viable alternative to chemical agents, which allows reducing the pesticide load on agroecosystems and increasing the profitability of potato cultivation. The prospects are associated with the optimization of regimes and development of automated systems.

Keywords: *potatoes, electrical stimulation, membrane biophysics, transmembrane potential, electroporation, ion channels, equivalent circuit model, Fricke model, electrostatic field, pulsed low-frequency electric field, corona discharge, yield, late blight, action potential, energy efficiency*

Введение. Картофель является источником необходимых для живого организма полезных веществ и витаминов. В нём присутствуют бета-каротин, витамины (С, В1, В2, В3 (РР), В4, В5, В6 и В9), макро- и микроэлементы (калий, фосфор, магний, железо) аминокислоты (серин, теронин, цистин, лейцин, глицин, аланин, тирозин) [1], углеводы и др.

Картофель – стратегическая продовольственная культура, занимающая третье место в мире по объёмам производства. Однако в реальных условиях возделывания урожайность часто значительно ниже заложенного генетического потенциала современных сортов [2].

Основными лимитирующими факторами выступают неблагоприятные почвенно-климатические условия, поражение фитофторозом (*Phytophthora infestans*), ризоктониозом (*Rhizoctonia solani*) и вирусными инфекциями, а также низкое качество семенного материала. Традиционные методы защиты и стимуляции – химические протравители, фунгициды и синтетические регуляторы роста – характеризуются рядом недостатков, таких как загрязнение окружающей среды, возникновение резистентных штаммов патогенов, накопление токсичных остатков в продукции [2; 3]. В связи с этим активно разрабатываются физические методы обработки посевного материала, в частности воздействие электрическими полями различных частот и напряжённостей.

Экспериментальные данные свидетельствуют, что предпосадочная электростимуляция клубней картофеля ускоряет прорастание, усиливает рост и повышает устойчивость растений к стрессовым факторам [3; 4]. В последние десятилетия накоплен значительный объём экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что предпосадочная обработка клубней картофеля, а также воздействие на вегетирующие растения импульсными электрическими полями или СВЧ-излучением обеспечивают выраженный стимулирующий эффект. Наблюдаемое ускорение появления всходов на 3–9 дней, увеличение высоты растений, числа стеблей и цветков, а также повышение массы и товарности клубней указывают на глубокую перестройку физиологических процессов. Для целенаправленного практического применения этих технологий необходимо понимание биофизических механизмов, определяющих ответные реакции растительной клетки на внешнее электрическое поле.

Цель настоящей работы – систематизировать теоретические и экспериментальные данные об электрической стимуляции клубней картофеля, раскрыть механиз-

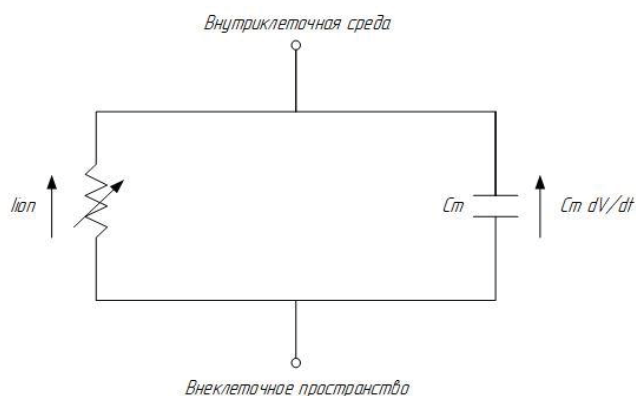
мы данной манипуляции на мембранном, гормональном, метаболическом и иммунологическом уровнях; обосновать научно-практическую значимость внедрения данной технологии для снижения пестицидной нагрузки на агробиосферу и повышения урожайности картофеля.

Научная новизна данной работы заключается в том, что впервые на единой методической основе выполнено комплексное сравнение широкого спектра электрофизических методов предпосевной стимуляции клубней картофеля по совокупности практически значимых критериев: прибавка урожая, энергозатраты, производительность, влияние на поражённость болезнями и стабильность эффекта в разных условиях. Научно обоснована приоритетность метода обработки клубней картофеля с внесением поля коронного разряда внутрь корнеплода, как наиболее надёжного и масштабируемого. Данный вид обработки обеспечивает стабильную прибавку урожая на уровне 21% при низких удельных энергозатратах и пригоден для поточной обработки крупных партий семенного материала.

Материалы и методы исследований. При написании работы использовалась патентная информация и научная литература из электронных библиотек, а именно: eLibrary (<https://elibrary.ru/>), КиберЛенинка (<https://cyberleninka.ru/>), Литрес: книги (<https://www.litres.ru/>), Пантеон патентов (<https://patenton.ru/>), Googlepatents (<https://patents.google.com/>), Роспатент (<https://rospatent.gov.ru/ru>).

Результаты и их обсуждение. Биологическая клетка представляет собой сложную электрохимическую систему, ограниченную двойным липидным слоем [5] – плазматической мембраной, выполняющей функцию конденсатора [6] (рис. 1).

Клеточные мембраны играют большую роль в механизмах электрогенеза как при создании потенциала покоя, так и при генерации потенциала действия, его распространения по тканям растения. Среди функций клеточных мембран отметим, во-первых, барьерную, благодаря которой в клетке создаются и поддерживаются концентрационные градиенты [7]. Во-вторых, регуляторную функцию: мембрана регулирует внутриклеточное содержимое и внутриклеточные реакции путём рецепции внеклеточных веществ, что приводит к изменению активности ферментных систем мембраны и запуску механизмов вторичных «посредников», преобразование внешних стимулов неэлектрической природы в



Составлено автором по открытым источникам.

Рисунок 1 – Модель мембраны как схема замещения электрической цепи

электрические сигналы (в рецепторах) и высвобождение нейромедиаторов в синаптических окончаниях [8].

Клеточная мембрана разделяет заряды на положительные и отрицательные составляющие [9]:

$$C_m = \frac{\varepsilon \varepsilon_0}{d} = \frac{Q}{V}, \quad (1)$$

где C_m – ёмкость мембраны; S – площадь обкладки конденсатора (площадь поверхности клетки); d – расстояние между обкладками (толщина мембраны); ε – относительная диэлектрическая проницаемость; $\varepsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12}$ – проницаемость вакуума; Q – заряд на обкладке; $V = V_i - V_o$ – разность потенциалов внутри и снаружи клетки [10; 11].

Ёмкостной ток, проходящий через мембрану [11]:

$$I_c = \frac{dQ}{dt} = C_m \frac{dV}{dt}, \quad (2)$$

где I_c – ёмкостной ток; dQ – производная заряда на обкладке мембраны; dt – производная от времени; dV – производная потенциала внутри и снаружи клетки.

Модель мембраны можно рассматривать как электрическую цепь, основанную на уравнении Гольдмана-Ходжкина-Катца, которое учитывает концентрацию ионов и их проницаемость. Согласно этой модели, мембранный потенциал является результатом баланса между диффузионными силами, стремящимися уравновесить ионные градиенты, и электрическими силами, создаваемыми зарядом внутри и снаружи клетки [9].

$$\varphi_m = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{P_{Na^+} [Na^+]_i + P_{K^+} [K^+]_i + P_{Cl^-} [Cl^-]_o}{P_{Na^+} [Na^+]_o + P_{K^+} [K^+]_o + P_{Cl^-} [Cl^-]_i}, \quad (3)$$

где φ_m – потенциал покоя; R – универсальная газовая постоянная; z – валентность иона; T – температурная среда; F – число Фарадея; P – проницаемость иона в мембране; $[Na^+]_i$ – концентрация ионов натрия в клетке; $[K^+]_i$ – концентрация ионов калия в клетке; $[Cl^-]_i$ – кон-

центрация ионов хлора в клетке; $[Na^+]_o$ – концентрация ионов натрия в клетке во внешней среде; $[K^+]_o$ – концентрация ионов калия в клетке во внешней среде; $[Cl^-]_o$ – концентрация ионов хлора в клетке во внешней среде.

Данная формула интерпретируется так: при возбуждении натриевые каналы в мембране открываются (фаза поляризации), что вызывает стремительный вход ионов натрия внутрь клетки. В результате внутренний заряд становится положительным и мембранный потенциал резко повышается. В этот момент происходит быстрое увеличение проницаемости для натрия, что усиливает вход ионов и ускоряет процесс. После достижения пика потенциала открываются калиевые каналы, и ионы калия выходят из клетки (фаза реполяризации), возвращая потенциал к исходным значениям. Затем натриевые каналы закрываются, а калиевые остаются открытыми некоторое время, что обеспечивает восстановление, то есть реполяризацию и возвращение к состоянию покоя.

В. А. Опритов, С. С. Пятагин, В. Г. Ретивин этот процесс называют потенциалом действия растений, иными словами – это быстрое, кратковременное изменение мембранного потенциала клетки, возникающее в ответ на действие раздражителя, и служит основным механизмом передачи сигналов вдоль проводящих тканей растения без затухания [12]. Его возникновение обусловлено электрохимическими процессами, которые происходят при нарушении равновесия ионных градиентов [13]. Стоит отметить, что в основе данного биофизического процесса лежит ионный ток, величина которого, согласно закону Ома, для биологических мембран находится в зависимости от разности потенциалов на мембране:

$$I_{ion} = i_{stim} + \sum_s i_s, \quad (4)$$

где I_{ion} – ионный ток; i_{stim} – ток стимуляции, пропускаемый от внешнего источника; i_s – токи ионов натрия, калия и т. д., проходящие через мембранные каналы; $\sum_s$ – сумма ионов [14].

По закону Ома ток иона i_s пропорционален напряжению [15]:

$$i_s = g_s (V - V_s), \quad (5)$$

где g_s – проводимость мембраны; V_s – потенциал Нернста.

Проводимость мембраны в общем случае не является константой, а зависит от мембранного потенциала, состояния каналов, ионных концентраций [15]:

$$g_s = g_s(V, [S]_i, [S]_o, \dots). \quad (6)$$

где $[S]_i$ – ион внутри клетки; $[S]_o$ – ион снаружи клетки.

В 1920-х годах датско-американский физик Уго Фрике предложил одну из первых эквивалентных электрических схем для описания таких биологических систем (рис. 2), содержащую параллельно соединённые сопротивление внеклеточной жидкости, мембранную ёмкость и сопротивление внутриклеточного содержимого.

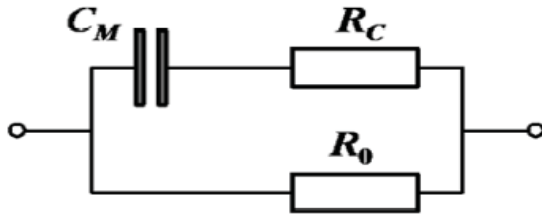


Рисунок 2 – Схема замещения мембраны клетки растения [17]

го [16]. Схема замещения включает частотно-зависимую ёмкость клеточных мембран C_M , а также частотно-независимые активные сопротивления содержимого клеток R_C и межклеточного вещества R_0 . Данная модель остаётся базовой для интерпретации импеданса биологических тканей в широком частотном диапазоне.

На низких частотах (десятки герц) электрический ток преимущественно обходит клетки по внеклеточному пространству, тогда как на высоких частотах (мегагерцы и выше) он проникает через мембраны, вовлекая в токопроводящий процесс внутриклеточные структуры и заставляя «работать» все клеточные органы. Более сложные нелинейные модели, учитывающие эффекты электропорации (рис. 3), показывают, что при достижении критических значений напряжённости поля в липидном бислое образуются временные поры, резко повышающие проводимость мембраны [18].

При ещё более высоких напряжённостях возникает туннельный перенос электронов, и мембрана начинает проявлять свойства полупроводника.

Указанные закономерности имеют не только теоретическое, но и прикладное значение, поскольку знание частотных и амплитудных характеристик позволяет оптимизировать режимы воздействия на растительную клетку.

Важнейшим аспектом функционирования клетки является формирование трансмембранной разности потенциалов. Этот процесс обусловлен непрерывным расщеплением органических веществ в цитоплазме с высвобождением протонов, стремящихся покинуть клетку. Возникающая разность потенциалов, традиционно идентифицируемая как потенциал Доннана, не является термодинамически равновесной, а поддерживается за счёт так называемого «архаичного» метаболизма, который продолжается даже в покоящихся тканях [19].

Это открытие имеет ключевое значение для понимания стимуляции: внешнее электрическое поле способно модулировать естественную поляризацию мем-



Рисунок 3 – Эффект электропорации [18]

браны, либо усиливая, либо ослабляя её, и тем самым управлять жизнедеятельностью клетки.

Для экспериментальной проверки гипотезы о стимулирующем действии электрических полей на клубни и растения картофеля были разработаны специализированные устройства.

В исследованиях, проведенных на кафедре физиологии растений Московской сельскохозяйственной академии имени К. А. Тимирязева, использовалась установка, состоящая из двух плоскопараллельных металлических пластин – электродов, между которыми создавалось постоянное электростатическое поле с напряжённостью от -30 до $+30$ кВ/м. Пробирки с эксплантами помещали на нижнюю пластину, а верхнюю подключали к генератору высокого напряжения [20; 21]. Бесконтактный характер воздействия обеспечивал стерильность при культивировании *in vitro*, позволяя растениям постоянно находиться в электрическом поле без нарушения условий среды.

А. И. Котин и др. осуществляли СВЧ-обработку с помощью магнетронов на частотах 2450 МГц и в импульсном режиме с мощностью до 5 кВт [22; 23]. Использование СВЧ-энергии обеспечивало эндогенный нагрев клубней без перегрева поверхности, что способствовало как стимуляции биохимических процессов, так и обеззараживанию от патогенов. В последние годы также появились аппараты миллиметрового диапазона, например «ТОР», которые воздействуют на посевы дистанционно, создавая СВЧ-излучение [23].

Комплексные установки, сочетающие СВЧ-воздействие, индукционный нагрев и коронный разряд, позволяют обрабатывать до 300 кг клубней в час при удельном энергопотреблении 0,2 кВт·ч/кг. Они обеспечивают одновременное обеззараживание, прогрев и стимуляцию биохимических реакций, что делает их перспективными для промышленного применения [23].

Другой эффективный метод – импульсная СВЧ-обработка в послеуборочный период. Облучение клубней на частоте 9375 МГц (длина волны около 3 см) в течение 3 минут стимулировало образование раневой перидермы. По сравнению с контролем, скорость зарастания механических повреждений возрастала вдвое, а потери при хранении сокращались на 30%. Важно подчеркнуть, что превышение экспозиции приводило к перегреву и разрушению тканей, поэтому соблюдение временных режимов является обязательным условием [24].

Н. Н. Третьяков с коллегами в ходе экспериментов по изучению влияния электростатического поля на пробирующие растения картофеля регистрировали биоэлектрические потенциалы, CO_2 -газообмен, морфометрические показатели и гормональный статус.

Обработка положительным электростатическим полем ($+10$ кВ/м) в течение 30 суток в культуре *in vitro* вызывала существенные изменения гормонального баланса: содержание индолилуксусной кислоты (ИУК) в апикальной зоне побега возрастало, уровень зеатина (цитокинина) снижался, а концентрация абсцизовой кислоты (АБК) у ряда сортов увеличивалась [20]. На первый взгляд, повышение уровня стрессового гормона может восприниматься как негативный признак, однако в усло-

виях эксперимента это сопровождалось активацией ростовых процессов и усилением корнеобразования. АБК, как известно, участвует в перераспределении ресурсов и индукции защитных механизмов. Кроме того, градиенты фитогормонов вдоль стебля становились более чёткими, что свидетельствовало об усилении осевой полярности и, следовательно, о более координированном росте.

Положительный эффект выражался в увеличении приживаемости верхушечных меристем на 8%, а выхода целых регенерантов – более чем на 20%. На каллусных культурах, характеризующихся неорганизованным делением клеток, положительное поле повышало относительный прирост сырой массы на 102% по сравнению с контролем. При регенерации побегов из стеблевых и корневых эксплантов число новых побегов возрастало от 22% в зависимости от сорта и состава питательной среды. Следовательно, электрическое поле оказывает не просто стимулирующее, но и регуляторное действие, перестраивая эндокринную систему растения и ускоряя морфогенетические процессы.

Поле отрицательной полярности (-10 кВ/м) демонстрировало менее выраженный эффект, а в отдельных случаях даже ингибировало рост. Это объясняется направлением вектора напряжённости: положительный электрод, расположенный сверху, способствует перемещению отрицательных ионов и электронов вверх, усиливая естественный продольный ток от корней к побегам. Таким образом, полярность поля является критическим параметром, определяющим результативность воздействия.

Наибольший объём данных получен по технологии импульсного низкочастотного электрического поля (ИНЭП). В течение нескольких лет в хозяйствах Российской Федерации и Канады проводились испытания с 24-часовой обработкой клубней картофеля. Результаты показали высокую стабильность: всходы появлялись на 7–9 дней раньше, полевая всхожесть возрастала с 8,7 до 58%, а урожайность в среднем увеличивалась на 6,0 т/га [25].

Для применения в промышленных масштабах использовали ИНЭП с генерирующей и-несущей частотой 16 кГц и частотой импульсной модуляции 200 Гц. Она позволяла обрабатывать партии клубней картофеля до 600 тонн [26].

Важно отметить, что ИНЭП существенно снижал поражённость картофеля болезнями. На делянках с искусственным заражением *Rhizoctonia solani* всхожесть обработанных клубней составляла 95,2 против 49,9% в контроле, а поражённость стеблей ризоктониозом уменьшалась в 1,3 раза. Фитофтороз также отступал: площадь некротических поражений на листьях сокращалась в 2,2 раза, а интенсивность споруляции патогена снижалась с 5 до 1,9 балла по пятибалльной шкале. Предполагаемый механизм связан с повышением активности защитных ферментов и укреплением клеточных стенок.

Сходные результаты получены в Узбекистане с использованием портативного излучателя, совмещающего ультрафиолетовое облучение и низкочастотную антенну. Всходы ускорялись на 3–4 дня, высота растений увеличивалась на 4–5 см, число цветков возрастало в 2–2,5 раза, а средняя масса клубня с куста – с 398 до 813 г. При этом уровень явной вирусной инфекции снизился с 16 до 12%, а скрытой – с 31 до 26%, что крайне важно для семеноводства [3].

В. Н. Шмигель в своей разработке использовал поле коронного разряда [27; 28].

Кожура картофеля (перидерма) является диэлектриком [29], поэтому воздействие предпосевной стимуляции должно производиться внутри клубня. Концентрированное поле коронного разряда вызывает во всём объёме клубня ориентацию полярных молекул, входящих в протоплазму клеток [30], что отражается на ускорении протекания биохимических процессов в клубне, а именно: росте, развитии, регенерации и интенсивности фотосинтеза. Данный вид стимуляции формирует устойчивость картофеля к патогенной флоре и заболеваниям [31].

Таблица 1 – Сравнение методов по предпосевной стимуляции клубней и растений картофеля

Метод воздействия	Параметр обработки	Результат
Ультрафиолет + низкочастотная стимуляция [3]	Ручной излучатель, УФ (254 нм)	Прибавка урожая +2,4–4,5 т/га, снижение вирусной инфекции на 15–25%
Электростатическое поле (ЭСП), +10 кВ/м [20; 21]	30 дней в культуре <i>in vitro</i>	Рост регенерации на 20–165%, ускорение роста, изменение гормонального профиля
СВЧ-импульсное облучение [22]	3 мин, частота 9375 МГц	Снижение потерь при хранении на 30%, ускорение образования раневой перидермы
Импульсное низкочастотное поле (ИНЭП) [25; 26]	24 ч, несущая 16 кГц, модуляция 200 Гц	Прибавка урожая 6 т/га, снижение поражения фитофторозом и ризоктониозом
Комплексная СВЧ + индукция + коронный разряд [23]	2450 МГц, 110 кГц, индукционный нагрев	Повышение всхожести, ускорение роста, обеззараживание, снижение энергозатрат
СВЧ-дистанционная обработка аппаратом «ТОР» [24]	Миллиметровый диапазон, вегетация	Прибавка урожая +5,2 т/га (сорт Печорский), увеличение площади листьев в 1,5–2 раза
Внесение поля коронного разряда внутрь клубня [32]	Высокое выпрямленное напряжение с «отлёжкой» картофеля после стимуляции в течение 2-х недель	Прибавка урожая +21%, ускорение протекания биохимических процессов в клубне; усиливается рост растений, ускоряются развитие, регенерация и интенсивность фотосинтеза

Сопоставление данных из различных исследований затруднено из-за различий в сортах, условиях и продолжительности воздействия. Тем не менее, можно выделить устойчивые тенденции при использовании различных методов по предпосевной стимуляции клубней и растений картофеля (табл. 1).

Из представленных данных следует, что наиболее надёжный и масштабируемый метод – использование поля коронного разряда, обеспечивающий стабильную прибавку урожая на уровне 21% при низких энергозатратах и возможности обработки больших партий [32].

Изучение литературных источников по данной проблеме свидетельствует, что электрическое поле показывает высокий потенциал как в лабораторных, так и в производственных условиях. СВЧ и комплексные установки эффективны для локального использования на предприятиях, занимающихся производством семенного картофеля, или в хранилищах.

Для объяснения наблюдаемых эффектов разработаны математические модели распространения электрических сигналов в растительных тканях. Одна из таких моделей показывает, что при высокой межклеточной проводимости потенциал действия может распространяться по стеблю со скоростью до 2,8 см/с, что сопоставимо со скоростью проведения нервного импульса у животных [33]. Это свидетельствует о том, что электрическая стимуляция способна инициировать системные реакции во всём растении, активируя экспрессию генов защиты и роста.

Существует также гипотеза о влиянии электрического поля на проницаемость мембраны для воды и глюкозы, что может создавать направленный поток питательных веществ внутрь клетки.

Выводы. Обобщение экспериментальных и теоретических данных позволяет утверждать, что электрическая стимуляция клубней картофеля является научно обоснованной и технологически реализуемой, опирающейся на фундаментальные биофизические принципы. Выделяются следующие основные механизмы действия.

На мембранном уровне происходит изменение трансмембранного потенциала, активация ионных каналов, обратимая электропорация и усиление метаболического обмена.

На гормональном уровне наблюдается перестройка баланса ауксинов, цитокининов и абсцизовой кислоты, что способствует оптимизации полярности роста.

Метаболический уровень проявляется в повышении интенсивности фотосинтеза, снижении дыхательных потерь и повышении эффективности использования ассимилятов.

Наконец, на иммунологическом уровне электрическая стимуляция способствует подавлению развития грибных и вирусных инфекций, а также ускоряет репаративные процессы. Практические испытания в различных климатических зонах подтверждают стабильную прибавку урожая при минимальной экологической нагрузке.

Перспективные направления дальнейших исследований включают оптимизацию режимов предпосевной обработки клубней картофеля для конкретных сортов и почвенно-климатических условий, разработку автоматизированных систем, а также оценку отдалённых генетических последствий многократной обработки. Внедрение этих технологий в практику позволит существенно снизить пестицидную нагрузку на агроэкосистемы и повысить рентабельность картофелеводства.

Список источников

1. Орлов А. Н., Володькин А. А. Аминокислотный состав клубней картофеля в зависимости от применения регуляторов роста // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 1. С. 32–34. EDN IRMOXF.
2. Birch P. R. J., Bryan G., Fenton B. [et al.] Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable? // Food Security. 2012. Vol. 4. P. 477–508. DOI org/10.1007/s12571-012-0220-1.
3. Mukhammadiev A., Sanbetova A. T., Toshpulatov N., Babayev A., Abdukadirova M. Study of the effect of using electrical stimulation on the increase of potato yield // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2023. Vol. 1142. Art. 012074. DOI 10.1088/1755-1315/1142/1/012074.
4. Зайнуллин В. Г., Шульгина Е. А. Урожайность картофеля после электромагнитной обработки слабыми неионизирующими импульсными полями // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2022. № 6 (58). С. 95–100. DOI 10.19110/1994-5655-2022-6-95-100. EDN KDNHCE.
5. Шмигель В. В., Угловский А. С., Луговский М. И. Моделирование электрических параметров клеточного уровня семени и диэлектрического барьерного разряда с помощью схем замещения // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 5. С. 54–63. DOI 10.34286/1995-4646-2021-80-5-54-63. EDN TQJVQY.
6. Шмигель В. В., Суховский Н. А. Модель участка мембраны клетки хлореллы для исследования воздействия внешнегo электростатического поля на клетку хлореллы // Международный научный журнал. 2014. № 5. С. 71–76. EDN SYMYTH.
7. Токгаев Н. Т. Строение клеточной мембраны // Наука и мировоззрение. 2025. Т. 1, № 48. С. 64–71. URL: <https://paukamirowozreniya.ru/public/202506/application/1751047288556145162/stroenie-kletochnoj-membrany.pdf> (дата обращения: 03.09.2026).
8. Северин Е. С., Савватеева М. В. Молекулярно-физиологические механизмы функционирования мембранных рецепторных систем // Acta Naturae (русскоязычная версия). 2011. Т. 3, № 1 (8). С. 20–29. EDN OXLGHN.
9. Барышева Н. Н., Пронин С. П. Метод контроля мембранного потенциала семян пшеницы и его применение для оценки всхожести // Ползуновский вестник. 2015. № 2. С. 69–73. EDN VJLQED.
10. Можаяев В. В. Диэлектрик в плоском конденсаторе // Потенциал. URL: <https://edu-potential.ru/images/catalog/physics/Mozhaev.%20Dielektrik%20v%20ploskom%20kondensatore..pdf> (дата обращения: 27.07.2026).
11. Boulet I. R., Labro A. J., Raes A. L., Snyder D. J. Role of the S6 C-terminus in KCNQ1 channel gating // The Journal of Physiology. 2007. Vol. 585, Is. 2. P. 325–337. DOI 10.1113/jphysiol.2007.145813.
12. Опритов В. А., Пятагин С. С., Ретивин В. Г. Биоэлектрогенез у высших растений. М. : Наука, 1991. 213 с. ISBN 5-02-004108-4.
13. Варехов А. Г. Электропроводность и полупроводниковые параметры биологических мембран // Научное приборостроение. 2016. Т. 26, № 3. С. 15–23. EDN WHTRAT.

14. Zhang Y., Zhang L., Wang Y., Wang K. A Simulation Study on the Pacing and Driving of the Biological Pacemaker // BioMed Research International. 2020. Art. 4803172. DOI 10.1155/2020/4803172.
15. Соловьева О. Э., Мархасин В. С., Кацнельсон Л. Б. [и др.] Математическое моделирование живых систем / под общ. ред. О. Э. Соловьевой. Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2013. 328 с. ISBN 978-5-7996-0975-7.
16. Fricke H. The electric resistance and capacity of blood for frequencies between 800 and 4½ million cycles // Journal of General Physiology. 1925. Vol. 9, № 2. P. 153–167. DOI 10.1085/jgp.9.2.153.
17. Бакланов А. Н., Ланкин А. М. Схема замещения биологического объекта // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 7-1 (18-1). С. 120–122. DOI 10.12737/14816. EDN VJHKWZ.
18. Ким Р. П., Корчагин С. А. Моделирование нелинейной электропроводности биологической клетки с электропором в мембране методом эквивалентных схем замещения // Инженерный вестник Дона. 2024. № 9 (117). С. 757–770. EDN BYCKRN.
19. Зарицкий А. Р., Зайцева Г. В., Грачев В. И., Кириченко М. Н. Электрическое поле в цитомембране как фактор интенсификации метаболизма клеток // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. 2016. № 1. С. 91–103. DOI 10.17725/rensit.2016.08.091. EDN WKWHOT.
20. Третьяков Н. Н., Овчинникова В. Н., Лузина Т. И., Сувд Ч. Влияние электростатических полей на регенерационные процессы и гормональную систему картофеля в условиях *in vitro* // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2006. № 2. С. 84–96. EDN HTSUNR.
21. Сувд Ч. Действие электростатических полей на органогенез и морфофизиологические показатели растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях *in vitro* : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.12. М., 2004. 142 с.
22. Гашимов А. М., Курбанов Э. Д. Высоковольтное импульсное воздействие на биологическую клетку // Электронная обработка материалов. 2009. № 5 (259). С. 74–79. EDN QYXLIR.
23. Котин А. И., Новикова Г. В., Зайцев П. В., Михайлова О. В. Исследование и разработка установки для предпосадочной обработки клубней картофеля воздействием электрофизических факторов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14, № 1 (52). С. 89–93. DOI 10.12737/article_5cceddba27b897.07399726. EDN VIRJWQ.
24. Галичин О. И. Воздействие импульсного СВЧ-сигнала на раневую перидерму клубней картофеля при закладке на хранение // Евразийский союз ученых. 2014. № 8-8. С. 30–31. EDN XGWXBj.
25. Стацюк Н. В., Кузнецова М. А., Рогожин А. Н., Филиппов А. В. Технология предпосадочной обработки модулированным импульсным электрическим полем как способ повышения продуктивного потенциала картофеля // Биотика. 2015. № 3 (4). С. 10–12. EDN UMWUGJ.
26. Стацюк Н. В., Рогожин А. Н., Сметанина Т. И., Кузнецова М. А. Экологически чистая технология повышения урожайности картофеля путем предпосадочной обработки семенного материала модулированным низкочастотным электрическим полем // Успехи современной науки. 2017. Т. 2, № 10. С. 90–96. EDN ZELBHL.
27. Шмигель В. В., Кузнецов И. М. К вопросу о разработке машины для предпосадочной обработки клубней картофеля в поле коронного разряда // Инженерное обеспечение инновационных технологий в аграрном комплексе : сб. науч. тр. по материалам Нац. науч.-практ. конф. с международ. уч., Ярославль, 04 декабря 2025 года. Ярославль : ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ», 2026. С. 62–66. EDN KSUOEG.
28. Авторское свидетельство 656571 А1 СССР, МПК А01С 1/00, В03С 7/00. Машина для предпосадочной обработки клубней картофеля в электрическом поле / В. Н. Шмигель. № 2379414 ; заявл. 02.07.1976 ; опубл. 15.04.1979, Бюл. № 14. 2 с. EDN WFCRTE.
29. Шмигель В. В., Целиков З. А. Электростимуляция клубней картофеля в электрическом поле // Оптимизация электротехнологий в АПК : сб. науч. статей по материалам Международ. науч.-практ. конф., Ярославль, 02–03 ноября 2016 года. Ярославль : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ярославская государственная сельскохозяйственная академия», 2016. С. 109–116. EDN XSQGGZ.
30. Авторское свидетельство 1134127 А1 СССР, МПК А01С 1/00. Машина для предпосадочной обработки клубней картофеля в электрическом поле / В. Н. Шмигель, В. Г. Григорьев ; заявитель Ижевский сельскохозяйственный институт. № 3636651 ; заявл. 25.08.1983 ; опубл. 15.01.1985, Бюл. № 2. 4 с. EDN AOCONU.
31. Пат. 2494604 С1 Российская Федерация, МПК А01F 25/00. Способ оздоровления посадочного картофеля и устройство для его осуществления / Н. Н. Кучумов, А. С. Каликин, К. З. Гумаралиева [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ИХФ РАН). № 2012118915/13 ; заявл. 10.05.2012 ; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 28. 8 с. EDN WCRYXI.
32. Авторское свидетельство 1116989 А1 СССР, МПК А01С 1/00. Способ предпосадочной обработки клубней картофеля / В. Н. Шмигель, В. Г. Григорьев ; заявитель Ижевский сельскохозяйственный институт. № 3613642 ; заявл. 04.04.1983 ; опубл. 07.10.1984, Бюл. № 37. 3 с. EDN FBOACJ.
33. Сухов В. С., Середнева Я. С., Фирстова Ю. Ю. [и др.] Моделирование распространения потенциала действия у растений при высокой межклеточной проводимости // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 2-1. С. 131–134. EDN QBGGZF.

References

1. Orlov A. N., Volod'kin A. A. Aminokislnotnyj sostav klubnej kartofelya v zavisimosti ot primeneniya regulatorov rosta // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2008. № 1. С. 32–34. EDN IRMOXF.
2. Birch P. R. J., Bryan G., Fenton B. [et al.] Crops that feed the world 8: Potato: are the trends of increased global production sustainable? // Food Security. 2012. Vol. 4. P. 477–508. DOI org/10.1007/s12571-012-0220-1.
3. Mukhammadiev A., Sanbetova A. T., Toshpulatov N., Babayev A., Abdukadirova M. Study of the effect of using electrical stimulation on the increase of potato yield // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2023. Vol. 1142. Art. 012074. DOI 10.1088/1755-1315/1142/1/012074.
4. Zajnullin V. G., Shul'gina E. A. Urozhajnost' kartofelya posle elektromagnitnoj obrabotki slabymi neioniziruyushchimi impul'snymi polyami // Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN. 2022. № 6 (58). С. 95–100. DOI 10.19110/1994-5655-2022-6-95-100. EDN KDHFCE.
5. Shmigel' V. V., Uglovskij A. S., Lugovskij M. I. Modelirovanie elektricheskikh parametrov kletochnogo urovnya semeni i dielektricheskogo bar'ernogo razryada s pomoshch'yu skhem zameshcheniya // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. 2021. № 5. С. 54–63. DOI 10.34286/1995-4646-2021-80-5-54-63. EDN TQJVQY.

6. Shmigel' V. V., Sukhovskij N. A. Model' uchastka membrany kletki hlorelly dlya issledovaniya vozdeystviya vneshnego elektrostatičeskogo polya na kletku hlorelly // *Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal*. 2014. № 5. S. 71–76. EDN SYMYTH.
7. Tokgaev N. T. Stroenie kletčnoj membrany // *Nauka i mirovozzrenie*. 2025. T. 1, № 48. S. 64–71. URL: <https://naukamirowozzreniya.ru/public/202506/application/1751047288556145162/stroenie-kletčnoj-membrany.pdf> (data obrashcheniya: 03.09.2026).
8. Severin E. S., Savvateeva M. V. Molekulyarno-fiziologičeskie mekhanizmy funkcionirovaniya membrannyh receptornyh sistem // *Acta Naturae* (russkoyazychnaya versiya). 2011. T. 3, № 1 (8). S. 20–29. EDN OXLGHN.
9. Barysheva N. N., Pronin S. P. Metod kontrolya membrannogo potentsiala semyan psheñicy i ego primeneniye dlya ocenki vskhozhnosti // *Polzunovskij vestnik*. 2015. № 2. S. 69–73. EDN VJLQED.
10. Mozhaev V. V. Dielektrik v ploskom kondensatore // *Potencial*. URL: <https://edu-potential.ru/images/catalog/physics/Mozhaev.%20Dielektrik%20v%20ploskom%20kondensatore..pdf> (data obrashcheniya: 27.07.2026).
11. Boulet I. R., Labro A. J., Raes A. L., Snyders D. J. Role of the S6 C-terminus in KCNQ1 channel gating // *The Journal of Physiology*. 2007. Vol. 585, Is. 2. P. 325–337. DOI 10.1113/jphysiol.2007.145813.
12. Opritov V. A., Pyatygin S. S., Retivin V. G. Bioelektrogeñez u vysshih rastenij. M. : Nauka, 1991. 213 s. ISBN 5-02-004108-4.
13. Varekhov A. G. Elektroprovodnost' i poluprovodnikovye parametry biologičeskikh membran // *Nauchnoye priborostroeniye*. 2016. T. 26, № 3. S. 15–23. EDN WHTRAT.
14. Zhang Y., Zhang L., Wang Y., Wang K. A Simulation Study on the Pacing and Driving of the Biological Pacemaker // *BioMed Research International*. 2020. Art. 4803172. DOI 10.1155/2020/4803172.
15. Solov'eva O. E., Markhasin V. S., Katsnel'son L. B. [i dr.] Matematičeskoe modelirovaniye zhivyh sistem / pod obshch. red. O. E. Solov'evoy. Ekaterinburg : Izd-vo Ural, un-ta, 2013. 328 s. ISBN 978-5-7996-0975-7.
16. Fricke H. The electric resistance and capacity of blood for frequencies between 800 and 4½ million cycles // *Journal of General Physiology*. 1925. Vol. 9, № 2. P. 153–167. DOI 10.1085/jgp.9.2.153.
17. Baklanov A. N., Lankin A. M. Skhema zameshcheniya biologičeskogo ob'ekta // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3, № 7-1 (18-1). S. 120–122. DOI 10.12737/14816. EDN VJHKWZ.
18. Kim R. P., Korchagin S. A. Modelirovaniye nelinejnoy elektroprovodnosti biologičeskoy kletki s elektroporami v membrane metodom ekvivalentnyh skhem zameshcheniya // *Inženernyj vestnik Dona*. 2024. № 9 (117). S. 757–770. EDN BYCKRH.
19. Zaritskij A. R., Zajtseva G. V., Grachev V. I., Kirichenko M. N. Elektricheskoe pole v citomembrane kak faktor intensifikacii metabolizma kletok // *Radioelektronika. Nanosistemy. Informacionnye tekhnologii*. 2016. № 1. S. 91–103. DOI 10.17725/rensit.2016.08.091. EDN WKWHOT.
20. Treťyakov N. N., Ovchinnikova V. N., Luzina T. I., Suvd Ch. Vliyanie elektrostatičeskikh polej na regeneracionnye processy i gormonal'nyyu sistemu kartofelya v usloviyah invitro // *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii*. 2006. № 2. S. 84–96. EDN HTSUNR.
21. Suvd Ch. Dejstvie elektrostatičeskikh polej na organogeneñez i morfofiziologičeskie pokazateli rastenij kartofelya (*Solanum tuberosum* L.) v usloviyah invitro : dis. ... kand. biol. nauk : 03.00.12. M., 2004. 142 c.
22. Gashimov A. M., Kurbanov E. D. Vysokovol'tnoe impul'snoye vozdeystvie na biologičeskuyu kletku // *Elektronnaya obrabotka materialov*. 2009. № 5 (259). S. 74–79. EDN QYXLIR.
23. Kotin A. I., Novikova G. V., Zajtsev P. V., Mikhajlova O. V. Issledovanie i razrabotka ustanovki dlya predposadočnoj obrabotki klubnej kartofelya vozdeystviem elektrofizicheskikh faktorov // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. T. 14, № 1 (52). S. 89–93. DOI 10.12737/article_5ccedd8a27b897.07399726. EDN VIRJWQ.
24. Galichin O. I. Vozdeystvie impul'snogo SVCh-signal na ranevyu peridermu klubnej kartofelya pri zakladke na hranenie // *Evrasijskij soyuz uchenyh*. 2014. № 8-8. S. 30–31. EDN XGWBXJ.
25. Statsyuk N. V., Kuznetsova M. A., Rogozhin A. N., Filippov A. V. Tekhnologiya predposadočnoj obrabotki modulirovannym impul'snym elektricheskim polem kak sposob povysheniya produktivnogo potentsiala kartofelya // *Biotika*. 2015. № 3 (4). S. 10–12. EDN UMWUGJ.
26. Statsyuk N. V., Rogozhin A. N., Smetanina T. I., Kuznetsova M. A. Ekologičeski chistaya tekhnologiya povysheniya urozhajnosti kartofelya putem predposadočnoj obrabotki semennogo materiala modulirovannym nizkochastotnym elektricheskim polem // *Uspekhi sovremennoj nauki*. 2017. T. 2, № 10. S. 90–96. EDN ZELBHL.
27. Shmigel' V. V., Kuznetsov I. M. K voprosu o razrabotke mashiny dlya predposadočnoj obrabotki klubnej kartofelya v pole koronnogo razryada // *Inženernoye obespecheniye innovacionnyh tekhnologij v agrarnom komplekse : sb. nauch. tr. po materialam Nac. nauch.-prakt. konf. s mezhdunarod. uch., Yaroslavl', 04 dekabrya 2025 goda. Yaroslavl' : FGBOU VO «Yaroslavskij GAU», 2026. S. 62–66. EDN KSUOEG.*
28. Avtorskoe svidetel'stvo 656571 A1 SSSR, MPK A01C 1/00, B03C 7/00. Mashina dlya predposadočnoj obrabotki klubnej kartofelya v elektricheskom pole / V. N. Shmigel'. № 2379414 ; zayavl. 02.07.1976 ; opubl. 15.04.1979, Byul. № 14. 2 s. EDN WFCRTE.
29. Shmigel' V. V., Tselikov Z. A. Elektrostimulyaciya klubnej kartofelya v elektricheskom pole // *Optimizaciya elektrotekhnologij v APK : sb. nauch. statej po materialam Mezhdunarod. nauch.-prakt. konf., Yaroslavl', 02–03 noyabrya 2016 goda. Yaroslavl' : Federal'noye gosudarstvennoye byudzhetnoye obrazovatel'noye uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya «Yaroslavskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya», 2016. S. 109–116. EDN XSQGGZ.*
30. Avtorskoe svidetel'stvo 1134127 A1 SSSR, MPK A01C 1/00. Mashina dlya predposadočnoj obrabotki klubnej kartofelya v elektricheskom pole / V. N. Shmigel', V. G. Grigor'ev ; zayavitel' Izhevskij sel'skohozyajstvennyj institut. № 3636651 ; zayavl. 25.08.1983 ; opubl. 15.01.1985, Byul. № 2. 4 s. EDN AOCONU.
31. Pat. 2494604 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01F 25/00. Sposob ozdorovleniya posadočnogo kartofelya i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya / N. N. Kuchumov, A. S. Kalikin, K. Z. Gumargalieva [i dr.] ; zayavitel' Federal'noye gosudarstvennoye byudzhetnoye uchrezhdeniye nauki Institut himičeskoy fiziki im. N.N. Semenova Rossijskoj akademii nauk (IHF RAN). № 2012118915/13 ; zayavl. 10.05.2012 ; opubl. 10.10.2013, Byul. № 28. 8 s. EDN WCRYXI.
32. Avtorskoe svidetel'stvo 1116989 A1 SSSR, MPK A01C 1/00. Sposob predposadočnoj obrabotki klubnej kartofelya / V. N. Shmigel', V. G. Grigor'ev ; zayavitel' Izhevskij sel'skohozyajstvennyj institut. № 3613642 ; zayavl. 04.04.1983 ; opubl. 07.10.1984, Byul. № 37. 3 s. EDN FBOACJ.
33. Sukhov V. S., Seredneva Ya. S., Firstova Yu. Yu. [i dr.] Modelirovaniye rasprostraneniya potentsiala dejstviya u rastenij pri vysokoj mezhkletčnoj provodimosti // *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. 2013. № 2-1. S. 131–134. EDN QBGGZF.

Сведения об авторах

Владимир Викторович Шмигель – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 5673-4145.

Иван Михайлович Кузнецов – аспирант, ассистент кафедры электрификации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 8765-2831.

Information about the authors

Vladimir V. Shmigel – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 5673-4145.

Ivan M. Kuznetsov – Postgraduate student, Assistant of the Department of Electrification, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 8765-2831.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

**В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ ФГБОУ ВО «ЯРОСЛАВСКИЙ ГАУ» В 2025 ГОДУ ВЫШЛА
МОНОГРАФИЯ, ИЗДАНИЕ 2-Е, ИСПРАВЛЕННОЕ**

ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ ШМИГЕЛЬ

СЕПАРАЦИЯ И СТИМУЛЯЦИЯ СЕМЯН ЗЕРНОВЫХ И ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Впервые монография была издана в 2003 г. В монографии рассматриваются проблемы существующей теории сепарации и стимуляции семян в электрическом поле. Излагаются вопросы поведения заряженной разноразмерной эллипсоидальной частицы в электростатическом поле на металлическом электроде и теоретическое обоснование процессов сепарации и стимуляции семян в электрическом поле. Рассматриваются методики, устройства и результаты экспериментальных исследований параметров семян, электрического поля. Приводятся разработанные установки для сепарации и стимуляции семян в электростатическом поле. Все они защищены патентами Российской Федерации.

Для студентов, аспирантов, молодых учёных, а также инженеров, агрономов и научных работников, занимающихся данной тематикой.

Монография издаётся в авторской редакции.

УДК 631.362:633.1; ББК 41.44; ISBN 978-5-98914-291-0; 206 СТР.

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:

150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ»

e-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru

Научная статья
УДК 636.22/.28.082
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.019

ЧАСТОТА ВСТРЕЧАЕМОСТИ АЛЛЕЛЕЙ ПОЛИМОРФНЫХ БЕЛКОВ У КОРОВ МИХАЙЛОВСКОГО ТИПА ЯРОСЛАВСКОЙ ПОРОДЫ

Егор Ильич Ухов

Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия
7906@student.yarcx.ru, ORCID 0009-0003-7835-9427

Реферат. Проведено генотипирование 19 коров михайловского типа в племенном репродукторе Ярославской области по локусам каппа-казеина (*CSN3*), бета-лактоглобулина (*LGB*), жёлтого молочного жира – бета-каротин-оксигеназы 2 (*BCO2*), *ABCG2*, диацилглицерол-О-ацилтрансферазы 1 (*DGAT1*) и гормона роста (*GH1*, полиморфизмы 2141 и 2291). В обследованной выборке частота аллеля *CSN3A* составила 0,45, что значительно ниже, чем в ранее описанных популяциях михайловского типа (0,81–0,82); впервые у животных этого типа зафиксирован аллель *CSN3E* (0,26). Наиболее распространён гетерозиготный генотип *CSN3AB* (31,6%), доля гомозигот *CSN3BB* – 5,3%. По *LGB* частота аллеля В достигла 0,53 при 47,1% гетерозигот АВ. Гены *BCO2* и *ABCG2* оказались мономорфными (частоты аллелей В и А – 1,00). В локусе *DGAT1* преобладал аллель В (0,62), по гену *GH1* доминировали аллель В в позиции 2141 (0,92) и аллель А – в позиции 2291 (0,79). Выявлено 18 комплексных генотипов, свидетельствующих о высокой генетической гетерогенности группы; лишь 5,3% животных полностью лишены В-аллелей *CSN3* и *LGB*. Научная новизна заключается в первом обнаружении аллеля Е гена каппа-казеина у михайловского типа и характеристике спектра комплексных генотипов по семи полиморфным локусам. Практическая значимость состоит в обосновании необходимости учёта редких аллелей при разработке программ маркер-ориентированной селекции на повышение сыропригодности молока.

Ключевые слова: ярославская порода, михайловский тип, полиморфизм, каппа-казеин (*CSN3*), бета-лактоглобулин (*LGB*), *DGAT1*, гормон роста (*GH1*), частота аллелей

ALLELE FREQUENCY OF POLYMORPHIC PROTEIN IN MIKHAILOVSKY TYPE COWS OF THE YAROSLAVL BREED

Egor I. Ukhov

Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia
7906@student.yarcx.ru, ORCID 0009-0003-7835-9427

Abstract. Genotyping of 19 Mikhailovsky type cows was carried out in the breeding reproducer of the Yaroslavl region for the loci of kappa-casein (*CSN3*), beta-lactoglobulin (*LGB*), yellow milk fat – beta-carotene-oxygenase 2 (*BCO2*), *ABCG2*, diacylglycerol-O-acyltransferase 1 (*DGAT1*) and growth hormone (*GH1*, polymorphisms 2141 and 2291). In the studied sample, the *CSN3A* allele frequency was 0.45, which is significantly lower than in the previously described Mikhailovsky type populations (0.81–0.82); for the first time in animals of this type the *CSN3E* allele was recorded (0.26). The most common heterozygous genotype was *CSN3AB* (31.6%), the proportion of *CSN3BB* homozygotes was 5.3%. For *LGB*, the frequency of the B allele reached 0.53 with 47.1% of AB heterozygotes. The *BCO2* and *ABCG2* genes turned out to be monomorphic (the frequencies of B and A alleles were 1.00). At the *DGAT1* locus, the B allele predominated (0.62), while the GH1 gene was dominated by the B allele at position 2141 (0.92) and the A allele at position 2291 (0.79). 18 complex genotypes were identified, indicating high genetic heterogeneity of the group, only 5.3% of animals are completely devoid of the *CSN3* and *LGB* B alleles. The scientific novelty lies in the first detection of the E allele of the kappa-casein gene in the Mikhailovsky type and the characterization of the spectrum of complex genotypes for seven polymorphic loci. Practical significance lies in the justification of the need to take into account rare alleles when developing marker-assisted selection programs aimed at improving the cheese suitability of milk.

Keywords: Yaroslavl breed, Mikhailovsky type, polymorphism, kappa-casein (*CSN3*), beta-lactoglobulin (*LGB*), *DGAT1*, growth hormone (*GH1*), allele frequency

Финансирование: исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках научно-исследовательской работы (Пер. № 125052006206-5).

Введение. Генетические маркеры молочной продуктивности широко применяют в селекции крупного рогатого скота. Аллельный полиморфизм гена каппа-казеина (*CSN3*) оказывает значимое влияние на технологические свойства молока: В-аллель ассоциирован с повышенным содержанием белка, лучшей свёртываемостью и увеличенным выходом сыра и творога [1]. Перспективным направлением считают также использование генов тиреоглобулина (*TG5*) и гипофизарного фактора транскрипции 1 (*Pit1*) [2].

У коров михайловского типа ярославской породы частота аллеля *CSN3A* составляет 82%, что в 4,5 раза превышает частоту аллеля В (18%); гомозиготный генотип *CSN3BB* выявлен лишь у 4,3% животных [3]. Для сравнения, у чистопородных ярославских коров частота *CSN3A* равна 60%, а генотип ВВ встречается у 19,2% особей [4]. Вместе с тем интенсивная голштинизация привела к существенному снижению доли В-аллеля в популяции: у быков-производителей к 2014 г. его частота сократилась до 0,2, следствием чего стало преобладание генотипа *CSN3AA*, обладающего худшими коагуляционными свойствами молока [5].

Экспериментально установлено, что использование препотентных быков, передающих потомству В-аллель *CSN3* с частотой 0,5, позволяет повысить выход творога на 14–29% [6]. Анализ комплексных генотипов *CSN3* и бета-лактоглобулина (*LGB*) показал, что более половины коров несут в генотипе два и более В-аллелей, и только 8% животных имеют генотип *CSN3AA/LGBAA*, полностью лишённый В-аллелей [7]. В других популяциях молочного скота, например у самарского типа чёрно-пёстрой породы, частота аллеля *CSN3A* достигает 0,84–0,91, а аллеля В – 0,09–0,16, что близко к показателям михайловского типа [8].

Таким образом, мониторинг и целенаправленное накопление В-аллелей генов молочных белков у коров михайловского типа является актуальной задачей для улучшения сыропригодности молока при сохранении ценных адаптивных качеств ярославской породы.

Целью работы явилось изучение частоты встречаемости аллелей и генотипов генов, кодирующих полиморфные белки молока и показатели продуктивности, у коров михайловского типа ярославской породы в сравнительном аспекте с литературными данными.

Материалы и методы исследования. Исследования проведены в 2025 г. на базе племенного репродуктора ООО «Агромир» (Ярославская область). Объект исследования – 19 лактирующих коров михайловского типа ярославской породы, отобранных методом сплошной выборки из стада. Биологическим материалом для выделения ДНК являлись выщипы шерсти с волосяными луковицами. Образцы отбирали с холки животных, предварительно очищенной от загрязнений; пучки шерсти (15–20 волосков) выщипывали резким движением по направлению роста волос для сохранения луковиц.

Генотипирование выполняли по договору на базе лаборатории ООО «Ксивелью» (Ksitest, Россия). Геномную ДНК выделяли из волосяных луковиц с использованием коммерческого набора реагентов согласно протоколу производителя. Образцы подвергали полно-

геномному SNP-генотипированию на микрочипах высокой плотности Bovine 100K SNP BeadChip, содержащих около 100 тыс. однонуклеотидных полиморфных маркеров, равномерно распределённых по геному крупного рогатого скота. Из общего массива генотипированных маркеров извлекали информацию по SNPs, ассоциированным с целевыми генами молочных белков и показателями продуктивности: каппа-казеин (*CSN3*), бета-лактоглобулин (*LGB*), жёлтый молочный жир (*BCO2*), *ABCG2* (АТФ-связывающая кассета подсемейства G, член 2), диацилглицерол-О-ацилтрансфераза 1 (*DGAT1*) и гормон роста (*GH1*; исследованы два полиморфных сайта, обозначенных как 2141 и 2291 в соответствии с положением в нуклеотидной последовательности гена). Генотипы каждой особи по всем локусам определяли на основании аллель-специфичной гибридизации и последующего анализа интенсивности флуоресцентного сигнала с помощью программного обеспечения GenomeStudio (Illumina).

Статистическую обработку данных проводили общепринятыми методами популяционной генетики. Частоты аллелей рассчитывали прямым счётом. Стандартную ошибку частоты аллеля (SE) оценивали по формуле (1):

$$SE = \sqrt{\frac{p(1-p)}{2N}}, \quad (1)$$

где p – частота аллеля; N – количество генотипированных животных.

Частоты генотипов выражали в процентах от общего числа обследованных особей. Для многолокусных комбинаций определяли комплексные генотипы и их встречаемость. В связи с малым размером выборки тесты на соответствие распределений равновесию Харди–Вайнберга не проводили.

Результаты. В таблице 1 представлена частота аллелей и генотипов *CSN3*, *LGB*, *BCO2*, *ABCG2*, *DGAT1*, *GH1* у коров михайловского типа ООО «Агромир».

Генотипирование 19 коров михайловского типа ярославской породы в ООО «Агромир» выявило заметные отличия от ранее описанных популяционных характеристик этой породной группы. Если в исследованиях на базе ОАО «Михайловское» частота аллеля *CSN3A* достигала 0,81–0,82, а аллеля *CSN3B* – 0,18 [1; 2], то в обследованном стаде частота аллеля А гена каппа-казеина составила лишь $0,45 \pm 0,094$, аллеля В – $0,29 \pm 0,101$, и, что важно, с частотой $0,26 \pm 0,104$ зафиксирован аллель Е, ранее не отмечавшийся в основных выборках михайловского типа. Появление аллеля Е и снижение доли аллеля А привели к существенному перераспределению генотипов: наиболее представленным оказался гетерозиготный генотип *CSN3AB* (31,6%), а доли носителей желательного для сыроделия генотипа *CSN3BB* и гомозигот *CSN3EE* оказались одинаковыми и низкими – по 5,3%. Обращает на себя внимание значительная доля гетерозигот с участием аллеля Е (*CSN3AE* – 26,3%, *CSN3BE* – 15,8%), что в сумме превышает 40% поголовья. Поскольку технологические свойства молока, ассоциированные с аллелем Е, изучены недостаточно, данная особенность требует дальнейшего мониторинга.

Таблица 1 – Частота аллелей и генотипов *CSN3*, *LGB*, *BCO2*, *ABCG2*, *DGAT1*, *GH1* у коров михайловского типа стада ООО «Агромир»

Ген	№	Генотип	n	%
Каппа-казеин <i>CSN3</i>	1	AA	3	15,8
	2	BB	1	5,3
	3	AB	6	31,6
	4	AE	5	26,3
	5	BE	3	15,8
	6	EE	1	5,3
	Аллель	A	0,45±0,094	
B		0,29±0,101		
E		0,26±0,104		
Бета-лактоглобулин <i>LGB</i>	1	AA	4	23,5
	2	AB	8	47,1
	3	BB	5	29,4
	Аллель	A	0,47±0,102	
		B	0,53±0,098	
Жёлтый молочный жир <i>BCO2</i>	1	BB	19	100
	Аллель	B	1±0	
Ген <i>ABCG2</i> , связанный с продуктивностью	1	AA	19	100
	Аллель	A	1±0	
Ген <i>DGAT1</i> , связанный с продуктивностью	1	AA	3	17,6
	2	AB	7	41,2
	3	BB	7	41,2
	Аллель	A	0,385±0,130	
		B	0,62±0,092	
Гормон роста <i>GH1</i> , мутация 2141	1	AB	3	15,8
	2	BB	16	84,2
	Аллель	A	0,08±0,110	
		B	0,92±0,044	
Гормон роста <i>GH1</i> , мутация 2291	1	AA	13	68,4
	2	BB	2	10,5
	3	AB	4	21,1
	Аллель	A	0,79±0,070	
		B	0,21±0,118	
Каппа-казеин <i>CSN3</i> / Бета-лактоглобулин <i>LGB</i>	1	AA/AA	1	5,88
	2	AA/BB	2	11,76
	3	AB/AB	5	29,41
	4	AB/BB	1	5,88
	5	AE/AA	1	5,88
	6	AE/AB	2	11,76
	7	AE/BB	2	11,76
	8	BE/AA	1	5,88
	9	BE/AB	1	5,88
	10	EE/AA	1	5,88

По гену бета-лактоглобулина (*LGB*) распределение аллелей близко к равновесному: частота аллеля *LGBA* – 0,47±0,102, *LGBB* – 0,53±0,098. Доля гетерозигот *LGBAB* достигает 47,1%, гомозиготы *LGBBB* составляют 29,4%, что можно рассматривать как благоприятный фон для

повышения сыропригодности молока, поскольку аллель *LGBB* традиционно связывают с лучшей термоустойчивостью и более высоким выходом белковых продуктов.

Гены *BCO2* (жёлтый молочный жир) и *ABCG2* оказались мономорфны у всех обследованных коров – зафик-

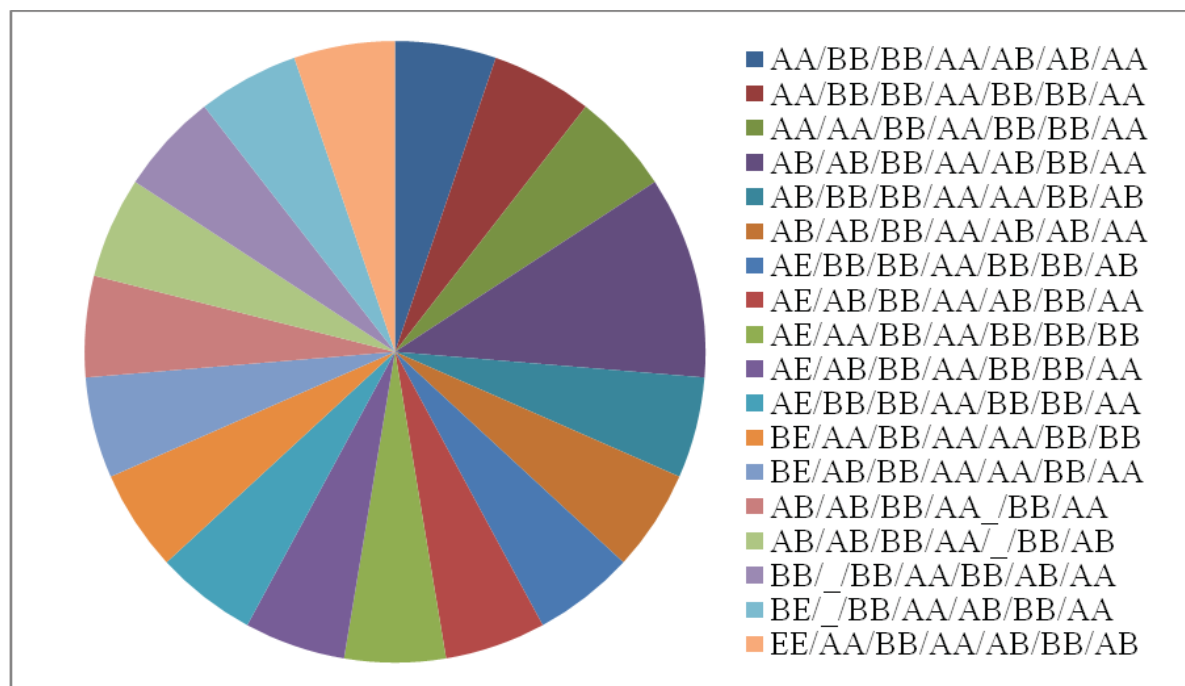


Рисунок 1 – Распределение комплексных генотипов коров михайловского типа стада ООО «Агромир»

сированы только генотипы *BCO2*BB и *ABCG2*AA с частотой аллелей $1,00 \pm 0$. Это свидетельствует либо о фиксации данных вариантов в этой малочисленной выборке, либо о крайне низком полиморфизме указанных локусов в данной субпопуляции.

Локус *DGAT1*, ассоциированный с жирномолочностью, демонстрирует преобладание аллеля В ($0,62 \pm 0,092$) над аллелем А ($0,385 \pm 0,130$). Генотипы *DGAT1*AB и *DGAT1*BB имеют равную встречаемость (по 41,2%), тогда как гомозиготы *DGAT1*AA обнаружены только у 17,6% животных. Известно, что аллель *DGAT1*B (лизиновый вариант) сопряжён с повышенным содержанием жира в молоке, хотя и может ассоциироваться с некоторым снижением удоя. Таким образом, селекционный фон в стаде потенциально благоприятен для закрепления жирномолочности.

По гену гормона роста (*GH1*) изучены два полиморфизма. В локусе *GH12141* абсолютно доминирует аллель В ($0,92 \pm 0,044$) – 84,2% коров являются гомозиготами *GH12141* BB, и ни одной гомозиготы AA не выявлено. В локусе *GH12291*, напротив, превалирует аллель А ($0,79 \pm 0,070$): 68,4% животных несут генотип AA, 21,1% – AB и только 10,5% – BB. Подобное распределение свидетельствует о разнонаправленной селективной ценности разных участков гена *GH1* в данной группе.

Анализ комплексных генотипов *CSN3/LGB* (представлены для 17 голов) обнаружил 10 вариантов сочетаний. Наиболее распространён комплексный генотип *CSN3*AB/*LGB*AB (29,41%). Важно, что около 12% коров имеют генотипы *CSN3*AA/*LGB*BB или *CSN3*AE/*LGB*BB, сохраняя хотя бы один В-аллель бета-лактоглобулина при нежелательных аллелях каппа-казеина. Лишь 5,88% животных полностью лишены В-аллелей обоих генов (генотип *CSN3*AA/*LGB*AA), что ниже показателя, отмеченного ранее для ярославской породы (8%) [3].

В то же время наличие аллеля Е в комбинациях с *LGB* (суммарно 35,3% комплексных генотипов с аллелем Е) расширяет спектр генетического разнообразия, однако влияние таких сочетаний на технологические свойства молока требует экспериментальной проверки.

На рисунке 1 представлено распределение комплексных генотипов коров стада ООО «Агромир».

Анализ распределения комплексных генотипов по семи локусам у 19 коров михайловского типа ООО «Агромир» выявил ряд особенностей, дополняющих картину, полученную по отдельным генам. Гены *BCO2* и *ABCG2* оказались мономорфными – все животные имели генотипы *BCO2*BB и *ABCG2*AA, что исключает их вклад в индивидуальные различия. Поэтому фактическое разнообразие комплексных генотипов определяется комбинациями аллелей генов *CSN3*, *LGB*, *DGAT1*, *GH12141* и *GH12291*.

Всего в выборке идентифицировано 18 уникальных комплексных генотипов, каждый из которых встречается с частотой 5,26% (1 голова), за исключением генотипа *CSN3*AB/*LGB*AB/*DGAT1*AB/*GH12141* BB/*GH12291* AA, зафиксированного у двух коров (10,53%). Таким образом, при малом объёме выборки выраженного доминирования какого-либо одного сочетания не наблюдается, что косвенно указывает на отсутствие жёсткого направленного отбора по комплексу данных маркеров в стаде.

Наибольший интерес представляют сочетания аллелей генов казеинового кластера и бета-лактоглобулина. Аллель *CSN3*B, желательный для сыроделия, в гомозиготном состоянии (*CSN3*BB) обнаружен лишь у одной коровы (5,26%), причём её генотип по остальным генам – *DGAT1*BB, *GH12141* AB, *GH12291* AA. Гетерозиготы *CSN3*AB в комплексе с различными генотипами *LGB* и *DGAT1* представлены шестью животными (31,6%).

Появление аллеля *CSN3E* существенно расширяет спектр комбинаций. Среди 19 коров пять (26,3%) являются носителями аллеля *E* в гетерозиготном состоянии (*CSN3AE* или *CSN3BE*) и одна – гомозиготой *CSN3EE*. Эти животные имеют различные сочетания с *LGB* и *DGAT1*, причём обращает на себя внимание сочетание *CSN3EE/LGBAA/DGAT1AB*, которое представляет собой уникальный вариант, не описанный ранее в литературе по ярославской породе. Влияние аллеля *E* на технологические свойства молока не установлено, поэтому мониторинг таких особей и оценка качества их молока являются актуальной задачей.

По локусу *DGAT1*, ассоциированному с жирномолочностью, желательный аллель *B* (генотипы *DGAT1AB* или *BB*) присутствует у 16 из 19 коров (84,2%), причём гомозиготы *DGAT1BB* (41,2%) равномерно распределены по разным комбинациям с генами молочных белков. Все особи, несущие *CSN3BB* или *CSN3EE*, оказались носителями хотя бы одного аллеля *DGAT1B*, что создаёт предпосылки для одновременного улучшения жирномолочности и качества молока при целенаправленном подборе.

Гены гормона роста демонстрируют иную картину. Аллель *GH12141 B* присутствует у всех коров, причём 16 из 19 являются гомозиготами *BB* (84,2%), и только три особи – гетерозиготами *AB*. По локусу *GH12291*, напротив, преобладает аллель *A*: 13 коров гомозиготны *AA* (68,4%), 4 – гетерозиготны *AB* и только 2 – гомозиготы *BB*. Комбинация *GH12141 BB/GH12291 AA* встречается у 11 из 19 животных (57,9%), что, вероятно, отражает

сложившуюся в стаде селективную нейтральность или адаптивное значение этих полиморфизмов.

Наличие пропусков в данных для нескольких особей (отсутствие генотипов по *LGB* у трёх коров и по *DGAT1* – у одной) несколько снижает полноту анализа, однако не меняет общего вывода о высокой гетерогенности маточной группы по комплексным генетическим маркерам.

Выводы. В целом выборка характеризуется отсутствием фиксированных генотипов, одновременным присутствием редких аллелей (*CSN3E*), широким распространением желательных вариантов *DGAT1B* и *LGBB*, а также доминированием определённых комбинаций гормона роста. Для селекционной работы это означает необходимость индивидуального подбора пар с учётом всех перечисленных локусов, особенно в отношении закрепления *CSN3B* и контроля технологических последствий появления аллеля *E*. Также представленная выборка коров михайловского типа в ООО «Агромир» характеризуется сниженной, по сравнению с более ранними данными, частотой аллеля *CSN3A* при появлении аллеля *CSN3E*, высокой частотой желательных аллелей *LGBB*, *DGAT1B* и мономорфностью генов *BCO2* и *ABCG2*. Полученные результаты подчеркивают необходимость расширения выборки и оценки сыропригодных свойств молока коров-носительниц аллеля *CSN3E* для разработки селекционных программ, направленных на улучшение качества молочной продукции при сохранении ценных адаптивных качеств ярославского скота.

Список источников

1. Иванов В. А., Марзанов Н. С., Елисеева Л. И. [и др.] Генотипы пород крупного рогатого скота и качество молока // Проблемы биологии продуктивных животных. 2017. № 3. С. 48–65. EDN ZHTUDF.
2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2025625492 Российская Федерация. Селекционно-генетические показатели молока коров ярославской породы в зависимости от генотипа / А. В. Ильина, М. В. Абрамова, С. В. Зырянова [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса». № 2025625071 ; заявл. 17.11.2025 ; опубл. 26.11.2025. EDN FBKVLU.
3. Михайлова Ю. А., Тамарова Р. В., Ярлыков Н. Г. Генетическое улучшение коров по белковомолочности и качеству продукции с использованием метода ДНК-диагностики / под общ. ред. Р. В. Тамаровой : монография. Ярославль : Ярославская ГСХА, 2019. 126 с. ISBN 978-5-98914-223-1. EDN BTLSEU.
4. Ильина А. В., Абрамова М. В., Зырянова С. В. Аллельный полиморфизм крупного рогатого скота ярославской породы по генам молочной продуктивности // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2018. № 4 (53). С. 55–62. EDN YWOZPV.
5. Фураева Н. С., Зверева Е. А., Воробьева С. С. [и др.] Селекционно-племенные мероприятия по совершенствованию и сохранению ярославской породы крупного рогатого скота в Российской Федерации на 2024–2030 годы : монография. Ярославль : Ярославский государственный аграрный университет, 2025. 254 с. ISBN 978-5-98914-293-4. EDN RTSMMI.
6. Михайлова Ю. А., Тамарова Р. В. Применение генетического маркирования в селекционной работе с племенными стадами // Вестник АПК Верхневолжья. 2020. № 2 (50). С. 26–32. DOI 10.35694/YARCX.2020.50.2.005. EDN YUXAKU.
7. Михайлова Ю. А., Тамарова Р. В. Использование комплексных генетических маркеров для повышения содержания белка в молоке коров // Проблемы биологии продуктивных животных. 2022. № 1. С. 35–43. DOI 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2022.1.35-43. EDN UKVNKK.
8. Калашникова Л. А., Грашин В. А., Грашин А. А. Исследование полиморфизма генов молочных белков у крупного рогатого скота чёрно-пёстрой породы самарского типа // Проблемы биологии продуктивных животных. 2015. № 4. С. 18–28. EDN UYNHTV.

References

1. Ivanov V. A., Marzanov N. S., Eliseeva L. I. [i dr.] Genotipy porod krupnogo rogatogo skota i kachestvo moloka // Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh. 2017. № 3. S. 48–65. EDN ZHTUDF.
2. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh 2025625492 Rossijskaya Federaciya. Selekcionno-geneticheskie pokazateli moloka korov yaroslavskoj породы v zavisimosti ot genotipa / A. V. Il'ina, M. V. Abramova, S. V. Zyryanova [i dr.] ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe nauchnoe uchrezhdenie «Federal'nyj nauchnyj centr kormoproizvodstva i agroekologii imeni V.R. Vil'yamsa». № 2025625071 ; zayavl. 17.11.2025 ; opubl. 26.11.2025. EDN FBKVLU.
3. Mikhajlova Yu. A., Tamarova R. V., Yarlykov N. G. Geneticheskoe uluchshenie korov po belkovomolochnosti i kachestvu produkcii s ispol'zovaniem metoda DNK-diagnostics / pod obshch. red. R. V. Tamarovoj : monografiya. Yaroslavl' : Yaroslavskaya GSHA, 2019. 126 s. ISBN 978-5-98914-223-1. EDN BTLSEU.

4. Il'ina A. V., Abramova M. V., Zyryanova S. V. Allel'nyj polimorfizm krupnogo rogatogo skota yaroslavskoj породы po genam molochnoj produktivnosti // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel'skhozayajstvennoj akademii im. V. R. Filippova. 2018. № 4 (53). S. 55–62. EDN YWOZPV.

5. Furaeva N. S., Zvereva E. A., Vorob'eva S. S. [i dr.] Selekcionno-plemennye meropriyatiya po sovershenstvovaniyu i sohraneniyu yaroslavskoj породы krupnogo rogatogo skota v Rossijskoj Federacii na 2024–2030 gody : monografiya. Yaroslavl' : Yaroslavskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2025. 254 s. ISBN 978-5-98914-293-4. EDN RTSMMI.

6. Mikhajlova Yu. A., Tamarova R. V. Primenenie geneticheskogo markirovaniya v selekcionnoj rabote s plemennymi stadami // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2020. № 2 (50). S. 26–32. DOI 10.35694/YARCX.2020.50.2.005. EDN YUXAKU.

7. Mikhajlova Yu. A., Tamarova R. V. Ispol'zovanie kompleksnyh geneticheskikh markerov dlya povysheniya sodержaniya belka v moloke korov // Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh. 2022. № 1. S. 35–43. DOI 10.25687/1996-6733.prodanim-biol.2022.1.35-43. EDN UKVNKK.

8. Kalashnikova L. A., Grashin V. A., Grashin A. A. Issledovanie polimorfizma genov molochnyh belkov u krupnogo rogatogo skota chyorno-pyostroj породы samarskogo tipa // Problemy biologii produktivnyh zhivotnyh. 2015. № 4. S. 18–28. EDN UYNHTV.

Сведения об авторе

Егор Ильич Ухов – аспирант кафедры зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 4326-4187.

Information about the author

Egor I. Ukhov – Postgraduate student of the Department of Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 4326-4187.



Научная статья
УДК 636.082.11:636.088.31
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.020

ВЛИЯНИЕ СЕЗОНА РОЖДЕНИЯ И ГЕНОТИПА ПО ГЕНАМ *GH* И *LEP* НА ВЕСОВОЙ РОСТ БЫЧКОВ КАЗАХСКОЙ БЕЛОГОЛОВОЙ ПОРОДЫ

Альбек Комарович Сангаков

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий
Российской академии наук, Оренбург, Россия
sangakovak@mail.ru, ORCID 0009-0005-9843-4572

Реферат. Представлены данные модификационной и наследственной изменчивости показателей весового роста бычков казахской белоголовой породы разных сезонов рождения и генотипов по генам *GH* и *LEP*. Влияние фиксированных факторов на динамику живой массы и среднесуточный прирост изучали в двух последовательно проведенных опытах (I и II) в условиях ООО «Омеко-труд» Оренбургской области. В I опыте – бычки ($n = 60$) разного генотипа по генам *GH* (*LL*, *LV*, *VV*) и *LEP* (*AA*, *AV*, *VV*), полученные от отёлов осеннего сезона. Во II опыте использовали молодняк ($n = 57$) аналогов по генотипу предыдущего исследования, полученных от отёлов весеннего сезона рождения. Получение молодняк при весеннем отёле способствовало лучшему ($P < 0,001$) весовому росту за период выращивания относительно сверстников осеннего сезона рождения. Полиморфизм гена *GH* также значительно ($P < 0,05-0,001$) детерминировал прижизненные признаки мясной продуктивности. Дифференциация бычков по гену *LEP* не оказывала значительного влияния на вариабельность живой массы и среднесуточного прироста у бычков. Таким образом, для более полной реализации генетического потенциала мясной продуктивности казахской белоголовой породы на Южном Урале целесообразна отработка ранневесеннего турового отёла коров.

Ключевые слова: казахская белоголовая порода, бычки, сезон рождения, генотип, живая масса, среднесуточный прирост

INFLUENCE OF BIRTH SEASON AND GENOTYPE FOR *GH* AND *LEP* GENES ON THE WEIGHT GROWTH OF KAZAKH WHITE-HEADED BULLS

Al'bek K. Sangakov

Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
sangakovak@mail.ru, ORCID 0009-0005-9843-4572

Abstract. Data on the modification and hereditary variability of weight growth indicators of Kazakh White-Headed bulls of different birth seasons and genotypes for the *GH* and *LEP* genes are presented. The effect of fixed factors on the dynamics of live weight and average daily gain was studied in two consecutive experiments (I and II) under the conditions of OOO Omeko-Trud in the Orenburg region. In the first experiment there were bulls ($n = 60$) of different genotypes according to the *GH* (*LL*, *LV*, *VV*) and *LEP* (*AA*, *AV*, *VV*) genes obtained from calvings in the autumn season. In the second experiment, young animals ($n = 57$) of analogues according to the genotype as in the previous study obtained from calvings in the spring birth season were used. Obtaining young animals at spring calving contributed to better ($P < 0.001$) weight growth during the rearing period compared to the herdmates of the autumn birth season. The polymorphism of the *GH* gene also significantly ($P < 0.05-0.001$) determined the intravital indicators of meat productivity. The differentiation of bulls according to the *LEP* gene did not have a significant effect on the variability of live weight and average daily gain in bulls. Thus, for a more complete realization of the genetic potential of meat productivity in the Kazakh White-Headed breed in the Southern Urals, it is advisable to practice early spring calving of cows.

Keywords: Kazakh White-Headed breed, bulls, birth season, genotype, live weight, average daily gain

Финансирование: исследования выполнены в соответствии с гос. заданием ФНЦ БСТ РАН № FNWZ-2026-0001.

Введение. Мясное скотоводство является важнейшим направлением аграрного сектора, однако его эффективность во многом ограничивается генетическим потенциалом животных и условиями их разведения. Суровые климатические особенности и региональные

различия в кормовой базе России предъявляют особые требования к системам содержания и выращивания мясного поголовья, что подчёркивает важность всестороннего изучения взаимодействия между генотипом животного и факторами окружающей среды [1; 2]. Сов-

ременные исследования в области повышения продуктивности крупного рогатого скота направлены либо на совершенствование генетического потенциала, либо на разработку оптимальных условий кормления и содержания [3; 4]. Однако комплексный подход, объединяющий эти аспекты, остаётся недостаточно проработанным, что затрудняет проведение эффективной селекционно-племенной работы в мясном скотоводстве.

Для повышения эффективности производства говядины требуется адаптация системы «корова – телёнок» к региональным условиям, что диктует необходимость отработки сезона рождения телят в наиболее благоприятные периоды. Сезоны отёлов напрямую влияют на доступность и питательную ценность кормов, а также на применяемые технологии содержания на разных этапах развития молодняка. Эти факторы обуславливают степень реализации генетического потенциала мясной продуктивности и экономическую эффективность производства говядины [5; 6]. Учитывая необходимость применения ресурсосберегающих технологий, научное обоснование оптимальных сроков проведения случной кампании и отёлов коров мясных стад становится первостепенной задачей. Это особенно актуально для казахской белоголовой породы ввиду её широкого ареала разведения в разнообразных агроклиматических зонах [7].

Модификационная изменчивость показателей мясной продуктивности обусловлена разнообразием условий кормления и содержания на ключевых этапах производственного цикла. Наследственная вариабельность хозяйственно ценных признаков, в свою очередь, определяется комплексом генов, регулирующих рост, развитие и метаболизм животных [8; 9]. В практической селекции мясного скота значительное внимание уделяется полиморфизмам генов гормона роста (*GH*) и лептина (*LEP*), которые ассоциированы с формированием съедобных тканей тела животных [10; 11]. Таким образом, исследование комплексного влияния сезона рождения и генотипа по генам *GH* и *LEP* на интенсивность роста бычков имеет большой потенциал практического применения в селекционно-племенной работе с мясными породами скота. Это позволит целенаправленно планировать отёлы в периоды, наиболее благоприятные для максимальной реализации генетического потенциала молодняка казахской белоголовой породы.

Целью исследования являлось изучение совместного влияния сезона рождения и генотипа по генам *GH* и *LEP* на динамику весового роста бычков казахской белоголовой породы.

Условия, материалы и методы. Влияние сезона рождения и генотипа бычков казахской белоголовой породы на динамику живой массы и среднесуточного прироста изучали в двух последовательно проведенных опытах (I и II) в условиях ООО «Омеко-труд» Оренбургской области. I опыт проведен на носителях ($n = 60$) разного генотипа по генам *GH* и *LEP*, полученных от отёлов осеннего сезона (октябрь – ноябрь). Подсосный период – по технологии зимнего стойлового содержания, отъём – в апреле – мае и выращивание с 8 до 15 месяцев осуществлялось в условиях откормочной площадки по технологии летнего содержания. Во II опыте исполь-

зовали молодняк ($n = 57$) аналогов по генотипу предыдущего исследования, полученных от отёлов весеннего сезона рождения (март – апрель). Подсосный период у полученного молодняка осуществлялся по технологии летнего пастбищного содержания, отъём происходил в октябре – ноябре и выращивание с 8 до 15 месяцев – в условиях откормочной площадки по технологии зимнего содержания. До отъёма (возраст 7–8 месяцев) бычки находились на подсосе под матерями. Динамику живой массы изучали по данным ежемесячного взвешивания молодняка, а вариабельность среднесуточного прироста определяли расчётным способом.

Генотипирование провели в 7–8-месячном возрасте при отъёме молодняка от коров-матерей [16]. Выделение ДНК для генотипирования по полиморфизмам *GH* *L127V* и *LEP* *A80V* осуществляли из цельной крови. Генотипирование проводили методом ПЦР-ПДРФ с применением наборов GenePak PCR Core (IsoGeneLab, Москва) на программируемом термоциклере «Терцик» (ДНК-технология, Россия) с использованием праймеров (НПФ «Литех»): *GH* *L127V* – (F: 5'-gct-gct-cct-gagcct-tcg-3' и R: 5'-gcg-gcg-gca-ctt-cat-gac-cct-3'), *LEP* (*A80V*) – (F: 5'-caa-gca-gga-att-agg-gag-tca-tgg-3' и R: 5'-ctg-gtg-agg-atc-agt-tcg-tag-gtc-3').

Для рестрикции амплифицированных участков генов использовали эндонуклеазы: *GH* – *AluI*, *LEP* – *PspEI*. Расщепление продуктов проводили при 37°C, генотипы идентифицировали методом гель-электрофорез с визуализацией под УФ-светом. Определение длины фрагментов проводили с помощью маркера молекулярных масс GenePakR DNA Ladder M 50 (IsoGeneLab, Москва). Идентификация продуктов для гена гормона роста: *GH*^{wt} – 223 п.н.; *GH*^L – 223, 171, 52 п.н.; *GH*^L – 171, 52 п.н.; *LEP*^{wt} – 424 п.н.; *LEP*^{wt} – 424, 398 и 26 п.н.; *LEP*^{wt} – 398 и 26 п.н.

Статистический анализ проведен с использованием программ Microsoft Excel (2010) и STATISTICA 10.0. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (P), при этом критический уровень значимости в данном исследовании принимался $P \leq 0,05$. Уровень достоверности полученных результатов определяли по критерию Тьюки для неравномерных групп.

Результаты и обсуждение. Среди организованных в исследовании факторов наиболее сильное воздействие на вариабельность живой массы бычков оказывала технология содержания (табл. 1). Модификационная изменчивость признака отмечалась на всех этапах контроля за ростом и развитием животных. В 8 месяцев различия между бычками разных сезонов отёла составляли 11,6 кг (4,7%; $P < 0,001$), в 12 мес. – 17,5 кг (4,8%; $P < 0,001$), а к возрасту 15 мес. – 23,3 кг (5,2%; $P < 0,001$) во всех случаях в пользу молодняка весеннего рождения (II опыт). Таким образом, оптимальным периодом получения телят для реализации потенциала продуктивности в условиях Южного Урала является ранневесенний сезон, который позволяет организовать подсосное выращивание молодняка на пастбище.

Наследственную изменчивость живой массы бычков изучали в контексте влияния полиморфизмов генов *GH* и *LEP*. Причём наибольший эффект на вари-

Таблица 1 – Динамика живой массы бычков в зависимости от факторов внешней среды и генотипа по генам *GH* и *LEP* ($\bar{X} \pm Sx$), кг

Фактор		Возраст, мес.			
		при рождении	8	12	15
I опыт (n = 60)		27,4±0,45	236,2±2,20 ^c	346,2±3,66 ^c	425,9±3,89 ^c
II опыт (n = 57)		27,4±0,19	247,8±2,09 ^c	363,7±3,26 ^c	449,2±3,64 ^c
GH	LL (n = 45)	27,5±0,48	236,6±2,54 ^b	342,1±3,99 ^{bc}	423,9±4,53 ^{ac}
	LV (n = 40)	27,2±0,43	241,9±2,51	357,4±4,13 ^b	438,9±4,31 ^a
	VV (n = 32)	27,5±0,28	249,3±3,09 ^b	369,2±4,25 ^c	454,1±5,03 ^c
LEP	AA (n = 61)	27,3±0,34	243,3±2,26	357,1±3,68	440,6±3,69
	AV (n = 33)	27,1±0,45	240,2±3,00	350,3±4,85	431,9±6,06
	VV (n = 23)	28,1±0,56	240,4±3,59	354,7±5,43	436,3±6,53
В среднем (n = 117)		27,4±0,25	241,9±1,61	354,7±2,58	437,3±2,87

Примечание: значения в столбцах с одинаковыми индексами различаются между генотипами при ^a – $P < 0,05$, ^b – $P < 0,01$, ^c – $P < 0,001$; между средними по опытам при ^A – $P < 0,05$, ^B – $P < 0,01$, ^C – $P < 0,001$.

бельность массы тела на разных стадиях выращивания оказывал генотип по гену *GH*. Высокий потенциал роста VV-генотипа по гену *GH* проявлялся уже с ранних этапов выращивания. Между альтернативными гомозиготными вариантами гена значительные различия фиксировались в возрасте 8 мес. на уровне 12,7 кг (5,4%; $P < 0,01$), в 12 мес. – 27,1 кг (7,9%; $P < 0,001$) и в 15 мес. – 30,2 кг (7,1%; $P < 0,001$). Гетерозиготный молодняк характеризовался промежуточной выраженностью живой массы, причём в 12- и 15-месячном возрасте отмечалось его превосходство относительно LL-генотипа на 15,3 кг (4,5%; $P < 0,01$) и 15,0 кг (3,5%; $P < 0,01$). Наши результаты согласуются с данными, полученными И. Ф. Горловым и др. [12] при выращивании бычков 3-х пород (русской комолой, казахской белоголовой и калмыцкой) южной популяции, отмечая значительное превосходство гомозиготного по V-аллелю молодняка в 16-месячном возрасте. Генотипированием бычков по гену *LEP*, который ассоциирован с липидным

обменом, не установлено значительных различий между носителями разных генотипов. Однако данные генотипического анализа голштинского молодняка показали, что полиморфизм LEP80V может быть потенциальным маркером для оценки показателей роста и откормочных качеств [13]. При этом животные с TT-генотипом быстрее достигали целевой живой массы в 200, 300 и 450 кг по сравнению с носителями альтернативных вариантов гена.

Фактор сезона рождения играл решающую роль в вариативности среднесуточного прироста бычков на разных стадиях онтогенеза (табл. 2). Так, получение телят в весенний период (II опыт) обеспечивало преимущество по интенсивности весового роста при подсосном выращивании на 48 г (5,6%; $P < 0,001$), на интервале 8–15-месячного возраста разница составляла 55 г (6,2%; $P < 0,01$), а за весь период наблюдений от рождения до 15 месяцев различия достигали 51 г (5,8%; $P < 0,001$).

Таблица 2 – Динамика среднесуточного прироста бычков в зависимости от факторов внешней среды и генотипа по генам *GH* и *LEP* ($\bar{X} \pm Sx$), г

Фактор		Период, мес.				
		0–8	8–12	12–15	8–15	0–15
I опыт (n = 60)		859±9,4 ^c	901±25,1	876±20,8	890±15,9 ^b	874±8,7 ^c
II опыт (n = 57)		907±8,8 ^c	950±23,8	940±37,7	945±12,1 ^b	925±8,0 ^c
GH	LL (n = 45)	861±11,1 ^b	865±26,1 ^{ab}	899±31,3	879±17,4 ^b	869±10,1 ^{ac}
	LV (n = 40)	883±10,2	947±28,8 ^a	896±36,4	925±16,2	903±9,4 ^a
	VV (n = 32)	913±13,0 ^b	982±34,6 ^b	933±46,6	961±17,8 ^b	935±11,2 ^c
LEP	AA (n = 61)	889±9,6	933±21,8	917±28,8	926±12,5	906±8,2
	AV (n = 33)	877±12,0	902±38,6	897±49,8	900±22,2	888±13,3
	VV (n = 23)	874±16,0	936±39,2	897±32,5	919±26,1	895±14,8
В среднем (n = 117)		883±6,8	925±17,4	907±21,4	917±10,3	899±6,4

Примечание: значения в столбцах с одинаковыми индексами различаются между генотипами при ^a – $P < 0,05$, ^b – $P < 0,01$, ^c – $P < 0,001$; между средними по опытам при ^A – $P < 0,05$, ^B – $P < 0,01$, ^C – $P < 0,001$.

Анализ показателей интенсивности роста во взаимосвязи с генотипом по гену *GH* свидетельствует о превосходстве гомозиготных по *V*-аллели бычков по среднесуточному приросту на разных этапах выращивания. Так, в подсосный период разница относительно LL-генотипа составляла 52 г (6,0%; $P < 0,001$). После отъёма скорость весового роста у гомозиготных и гетерозиготных носителей *V*-аллели существенно увеличилась, а у LL варианта гена *GH* осталась на том же уровне, что обеспечило их значительное отставание в период 8–12 мес. по величине изучаемого показателя на 82–117 г (8,7–11,9%; $P < 0,05–0,01$) относительно сверстников. За весь период контрольного выращивания от рождения до 15 месяцев соответствующая разница составляла 34–66 г (3,8–7,1%; $P < 0,05–0,001$). Результаты нашего исследования согласуются с данными N. Pečiulaitienė et al. [14] о значительном превосходстве бычков с VV-генотипом по гену *GH* по среднесуточному приросту за период откорма.

В свою очередь полиморфизм гена *LEP* не оказал значительного влияния на динамику среднесуточных приростов живой массы молодняка, что подтверждается результатами выращивания абердин-ангусского молодняка, полученными Е. Н. Коноваловой и др. [15].

Выводы. Проведённые исследования показали, что получение молодняка при весеннем отёле способствовало лучшему ($P < 0,001$) весовому росту за период выращивания относительно сверстников осеннего сезона рождения. Полиморфизм гена *GH* также значительно ($P < 0,05–0,001$) детерминировал прижизненные признаки мясной продуктивности. Дифференциация бычков по гену *LEP* не оказывала значительного влияния на вариабельность живой массы и среднесуточного прироста у бычков. Таким образом, для более полной реализации генетического потенциала мясной продуктивности казахской белоголовой породы на Южном Урале целесообразна отработка ранневесеннего турового отёла коров.

Список источников

1. Джуламанов К. М., Колпаков В. И., Герасимов Н. П., Бактыгалиева А. Т. Продуктивность и интерьерные особенности молодняка мясного скота разных генотипов в связи с возрастом и сезоном года // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 2. С. 37–48. DOI 10.33284/2658-3135-105-2-37. EDN OUAWEWD.
2. Харламов А. В., Фролов А. Н., Ильин В. В., Ажмулдинов Е. А. Продуктивность казахских белоголовых бычков при разных системах выращивания и откорма // Животноводство и кормопроизводство. 2025. № 108 (3). С. 169–182. DOI 10.33284/2658-3135-108-3-169. EDN NMPNGM.
3. Герасимов Н. П., Джуламанов К. М., Дубовскова М. П., Насамбаев Е. Г. Оценка генотипа быков-производителей по качеству потомства // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 1. С. 66–68. EDN NTLDSP.
4. Насамбаев Е. Г., Ахметалиева А. Б., Нугманова А. Е. [и др.] Влияние типов кормления на продуктивные качества животных казахской белоголовой породы // Животноводство и кормопроизводство. 2020. № 103 (4). С. 150–159. DOI 10.33284/2658-3135-103-4-150. EDN QZHNT.
5. Отаров А. И., Каюмов Ф. Г., Третьякова Р. Ф. Рост, развитие и мясные качества чистопородных и помесных бычков при откорме на площадке в зависимости от сезона года // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (89). С. 267–272. DOI 10.37670/2073-0853-2021-89-3-267-272. EDN SYNJAQ.
6. Фролов А. Н., Завьялов О. А. Влияние сезона года на элементный статус и продуктивные качества бычков // Животноводство и кормопроизводство. 2024. № 107 (4). С. 31–40. DOI 10.33284/2658-3135-107-4-31. EDN LPELJ.
7. Бактыгалиева А. Т., Джуламанов К. М., Ухтверов А. М., Герасимов Н. П. Продуктивные и биологические качества молодняка казахской белоголовой породы разных генотипов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 94–101. EDN WDSUHR.
8. Chimidova N., Ubushieva A., Ubushieva V., Bochkayeva Z. Genetic polymorphisms influencing meat productivity and quality in Kalmyk cattle of Russia: A systematic review of growth hormone, thyroglobulin, leptin, and calpain-1 genes // Veterinary World. 2026. Vol. 19, № 2. P. 523–538. DOI 10.14202/vetworld.2026.523-538.
9. Kostusiak P., Bagnicka E., Żelazowska B. [et al.] Genetic Markers Related to Meat Quality Properties in Fattened HF and HF x Charolaise Steers // Genes (Basel). 2024. Vol. 15, Is. 7. Art. 843. DOI 10.3390/genes15070843.
10. Дубовскова М. П., Герасимов Н. П. Генетическая структура и ассоциация полиморфизма генов гормона роста (*L127V*) и лептина (*A80V*) с продуктивностью северо-кавказской популяции герефордской породы // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103, № 3. С. 91–101. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-91. EDN ZNLSRY.
11. Sycheva I., Latynina E. S., Mamedov A. [et al.] Effect of TG5 and LEP polymorphisms on the productivity, chemical composition, and fatty acid profile of meat from Simmental bulls // Veterinary world. 2023. Vol. 16 (8). P. 1647–1654. DOI 10.14202/vetworld.2023.1647-1654.
12. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Анисимова Е. Ю. [и др.] Полиморфизм генов *GH*, *MC4R* и *CAPN1* у южных популяций крупного рогатого скота мясных пород и влияние на живую массу // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 21–34. DOI 10.33284/2658-3135-106-3-21. EDN TWYSLT.
13. Ardici S., Samli H., Vatansever B. [et al.] Comprehensive assessment of candidate genes associated with fattening performance in Holstein-Friesian bulls // Archives Animal Breeding. 2019. Vol. 62 (1). P. 9–32. DOI 10.5194/aab-62-9-2019.
14. Pečiulaitienė N., Mišeikienė R., Bižienė R. [et al.] Association between polymorphisms in the *STAT5A* and *GH* genes and beef cattle productivity parameters // Journal of Animal and Feed Sciences. 2026. Vol. 35 (1). P. e11. DOI 10.22358/jafs/207216/2026.
15. Коновалова Е. Н., Селионова М. И., Гладырь Е. А. [и др.] ДНК-анализ полиморфизма генов миостатина, лептина и кальпаина 1 у российской популяции крупного рогатого скота абердин-ангусской породы // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 4. С. 622–637. DOI 10.15389/agrobiol.2023.4.622rus. EDN KVFATF.
16. Сангаков А. К. Генетическая структура популяции казахской белоголовой породы на Южном Урале по полиморфизмам генов гормона роста и лептина // Вестник АПК Верхневолжья. 2025. № 3 (71). С. 106–111. DOI 10.35694/YARCX.2025.71.3.015. EDN UKGFDJ.

References

1. Dzhulamanov K. M., Kolpakov V. I., Gerasimov N. P., Baktygalieva A. T. Produktivnost' i inter'ernye osobennosti molodnyaka myasnogo skota raznyh genotipov v svyazi s vozrastom i sezonom goda // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2022. T. 105, № 2. S. 37–48. DOI 10.33284/2658-3135-105-2-37. EDN OUAWEWD.
2. Kharlamov A. V., Frolov A. N., Il'in V. V., Azhmuldinov E. A. Produktivnost' kazahskih belogolovyh bychkov pri raznyh sistemah vyrashchivaniya i otkorma // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2025. № 108 (3). S. 169–182. DOI 10.33284/2658-3135-108-3-169. EDN NMPNGM.
3. Gerasimov N. P., Dzhulamanov K. M., Dubovskova M. P., Nasambaev E. G. Ocenka genotipa bykov-proizvoditelej po kachestvu potomstva // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2011. № 1. S. 66–68. EDN NTLDSP.
4. Nasambaev E. G., Akhmetalieva A. B., Nugmanova A. E. [i dr.] Vliyanie tipov kormleniya na produktivnye kachestva zhivotnyh kazahskoj belogolovoy porody // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2020. № 103 (4). S. 150–159. DOI 10.33284/2658-3135-103-4-150. EDN QZHHNT.
5. Otarov A. I., Kayumov F. G., Tret'yakova R. F. Rost, razvitie i myasnye kachestva chistoporodnyh i pomesnyh bychkov pri otkorme na ploshchadke v zavisimosti ot sezona goda // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 3 (89). S. 267–272. DOI 10.37670/2073-0853-2021-89-3-267-272. EDN SYHJAQ.
6. Frolov A. N., Zav'yalov O. A. Vliyanie sezona goda na elementnyj status i produktivnye kachestva bychkov // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2024. № 107 (4). S. 31–40. DOI 10.33284/2658-3135-107-4-31. EDN LPELKI.
7. Baktygalieva A. T., Dzhulamanov K. M., Ukhtverov A. M., Gerasimov N. P. Produktivnye i biologicheskie kachestva molodnyaka kazahskoj belogolovoy porody raznyh genotipov // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2019. № 2. S. 94–101. EDN WDSUHR.
8. Chimidova N., Ubushieva A., Ubushieva V., Bochkayeva Z. Genetic polymorphisms influencing meat productivity and quality in Kalmyk cattle of Russia: A systematic review of growth hormone, thyroglobulin, leptin, and calpain-1 genes // Veterinary World. 2026. Vol. 19, № 2. P. 523–538. DOI 10.14202/vetworld.2026.523-538.
9. Kostusiak P., Bagnicka E., Żelazowska B. [et al.] Genetic Markers Related to Meat Quality Properties in Fattened HF and HF x Charolaise Steers // Genes (Basel). 2024. Vol. 15, Is. 7. Art. 843. DOI 10.3390/genes15070843.
10. Dubovskova M. P., Gerasimov N. P. Geneticheskaya struktura i asociaciya polimorfizma genov gormona rosta (L127V) i leptina (A80V) s produktivnost'yu severo-kavkazskoj populyacii gerefordskoj porody // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2020. T. 103, № 3. S. 91–101. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-91. EDN ZNLSRY.
11. Sycheva I., Latynina E. S., Mamedov A. [et al.] Effect of TG5 and LEP polymorphisms on the productivity, chemical composition, and fatty acid profile of meat from Simmental bulls // Veterinary world. 2023. Vol. 16 (8). P. 1647–1654. DOI 10.14202/vetworld.2023.1647-1654.
12. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Anisimova E. Yu. [i dr.] Polimorfizm genov GH, MC4R i CAPN1 u yuzhnyh populyacij krupnogo rogatogo skota myasnyh porod i vliyanie na zhivuyu massu // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2023. T. 106, № 3. S. 21–34. DOI 10.33284/2658-3135-106-3-21. EDN TWYSLT.
13. Ardicli S., Samli H., Vatansever B. [et al.] Comprehensive assessment of candidate genes associated with fattening performance in Holstein-Friesian bulls // Archives Animal Breeding. 2019. Vol. 62 (1). P. 9–32. DOI 10.5194/aab-62-9-2019.
14. Pečiulaitienė N., Mišeikienė R., Bižienė R. [et al.] Association between polymorphisms in the *STAT5A* and *GH* genes and beef cattle productivity parameters // Journal of Animal and Feed Sciences. 2026. Vol. 35 (1). P. e11. DOI 10.22358/jafs/207216/2026.
15. Kononova E. N., Selionova M. I., Gladyr' E. A. [i dr.] DNK-analiz polimorfizma genov miostatina, leptina i kal'paina 1 u rossijskoj populyacii krupnogo rogatogo skota aberdin-angusskoj porody // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2023. T. 58, № 4. S. 622–637. DOI 10.15389/agrobiologiya.2023.4.622rus. EDN KVFATF.
16. Sangakov A. K. Geneticheskaya struktura populyatsii kazahskoy belogolovoy porody na Yuzhnom Urale po polimorfizmam genov gormona rosta i leptina // Vestnik APK Verkhnevolzh'ya. 2025. № 3 (71). C. 106–111. DOI 10.35694/YARCX.2025.71.3.015. EDN UKGFDJ.

Сведения об авторе

Альбек Комарович Сангаков – аспирант селекционно-генетического центра по мясным породам скота, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», spin-код: 9654-0744.

Information about the author

Al'bek K. Sangakov – Postgraduate student of the Selection and Genetic Center for Beef Cattle Breeds, Federal State Scientific Institution "Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences", spin-code: 9654-0744.

Научная статья
УДК 636.082:575.17
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.021

ГЕНЫ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТЬЮ И ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ МЯСНОГО СКОТА (ОБЗОР)

Максим Евгеньевич Лондарев

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий
Российской академии наук, Оренбург, Россия
Londarev80@mail.ru, ORCID 0009-0005-1556-599X

Реферат. В обзоре систематизированы современные данные о молекулярно-генетических маркерах, ассоциированных с продуктивными и воспроизводительными качествами у мясного скота. Показано, что традиционная селекция по фенотипическим признакам имеет ограничения из-за низкой наследуемости хозяйственно полезных признаков, позднего их проявления и сильной зависимости от условий кормления и содержания. Поддержкой классическому отбору выступает маркер-ассоциированная селекция, основанная на анализе однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), которые обладают высокой стабильностью, удобством детекции и пригодны для автоматизированного генотипирования с использованием ПЦР-ПДРФ и ДНК-чипов. На основе анализа публикаций в базах Elibrary, PubMed, Web of Science и Scopus за 2020–2026 годы выделены гены *MSTN* (миостатин), *CAPN1* (кальпаин 1), *CAST* (кальпастатин), *TG5* (тиреоглобулин), *LEP* (лептин) и *GH* (гормон роста). Для каждого из них описаны хромосомная локализация, предпочтительные аллели и генотипы, а также влияние на мясную продуктивность и воспроизводительные функции. Установлена породная специфика распределения аллельных частот у абердин-ангусской, калмыцкой и герефордской пород. Показана необходимость валидации маркеров на конкретных популяциях перед их внедрением в селекционные программы. Сделан вывод, что использование ДНК-технологий позволяет ускорить генетический прогресс, снизить затраты на длительные фенотипические оценки и повысить конкурентоспособность мясного скотоводства. Перспективными направлениями являются расширение панелей маркеров, изучение эпистатических взаимодействий генов и разработка стандартизованных протоколов для комплексной оценки.

Ключевые слова: молекулярные маркеры, SNP, мясной скот, мясная продуктивность, воспроизводительные качества, маркер-ассоциированная селекция

GENES ASSOCIATED WITH MEAT PRODUCTIVITY AND REPRODUCTIVE CAPACITY IN BEEF CATTLE (REVIEW)

Maksim E. Londarev

Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
Londarev80@mail.ru, ORCID 0009-0005-1556-599X

Abstract. This review systematized current data on molecular genetic markers associated with productive and reproductive qualities in beef cattle. It has been shown that traditional breeding based on phenotypic traits has limitations due to the low heritability of economically useful traits, their late manifestation, and strong dependence on feeding and housing conditions. Classical selection is supported by marker-assisted selection based on the analysis of single-nucleotide polymorphisms (SNP), which have high stability, ease of detection and are suitable for automated genotyping using PCR-RFLP and DNA chips. Based on an analysis of publications in the Elibrary, PubMed, Web of Science, and Scopus databases for 2020–2026, the genes *MSTN* (myostatin), *CAPN1* (calpain 1), *CAST* (calpastatin), *TG5* (thyroglobulin), *LEP* (leptin), and *GH* (growth hormone) were identified. The chromosomal localization, preferred alleles and genotypes, as well as the effect on meat productivity and reproductive function were described for each of them. The breed specificity of the distribution of allele frequencies in the Aberdeen Angus, Kalmyk, and Hereford breeds has been established. The need for validation of markers in specific populations before their introduction into breeding programs was shown. It was concluded that the use of DNA technologies can accelerate genetic progress, reduce the costs of long-term phenotypic assessments, and increase the competitiveness of beef cattle breeding. Promising areas are the expansion of marker panels, the study of epistatic gene interactions, and the development of standardized protocols for comprehensive assessment.

Keywords: molecular markers, SNP, beef cattle, meat productivity, reproductive qualities, marker-assisted selection

Финансирование: исследования выполнены в соответствии с государственным заданием ФНЦ БСТ РАН № FNWZ-2026-0001.

**Гены, ассоциированные с мясной продуктивностью
и воспроизводительной способностью мясного скота (обзор)**

Введение. Мясное скотоводство является одним из стратегических направлений агропромышленного комплекса России [1]. Повышение эффективности селекции требует внедрения современных генетических методов, поскольку традиционный отбор по фенотипическим признакам имеет ограничения. Многие хозяйственно полезные признаки обладают низкой наследуемостью, проявляясь поздно или оцениваются только после убоя животного, а также сильно зависят от условий кормления и содержания [2–4].

Существенной поддержкой классической племенной работе выступает ДНК-маркерная селекция на основе анализа участков генома и полиморфизма генов, связанных с продуктивными качествами и отбором носителей желательных генотипов, а также интенсивное их использование в воспроизводстве стада. Наиболее перспективным типом молекулярных маркеров являются однонуклеотидные полиморфизмы (SNP). В геноме крупного рогатого скота присутствуют миллионы SNP-локусов, что обеспечивает высокую разрешающую способность генетического анализа. SNP стабильны, удобны для автоматизированного генотипирования и положены в основу современных методов геномной селекции [5].

В мясном скотоводстве большой интерес представляют гены, ассоциированные с ростом, качеством мяса, воспроизводством и устойчивостью к болезням. К числу ключевых относятся: *MSTN* (двойная мускулатура), *CAPN1* и *CAST* (нежность мяса), *TG5* (мраморность), *LEP* (энергетический обмен), *GH* (гормон роста) [6].

Материалы и методы исследования. Обобщение данных и стратегия электронного поиска проводились в соответствии с международными рекомендациями PRISMA. Проведён обзор опубликованных исследований в наукометрических базах Elibrary, PubMed, Web of Science и Scopus за период преимущественно с 2020 по 2026 гг.

Целью настоящего обзора является систематизация современных сведений о молекулярных маркерах продуктивных и воспроизводительных качеств крупного рогатого скота. Рассматриваются типы маркеров, локализация ключевых генов.

Результаты исследований. Традиционные методы отбора, основанные на оценке фенотипических показателей животных (живая масса, среднесуточные приросты, качественные характеристики туши), обладают существенными ограничениями: многие хозяйственно полезные признаки имеют низкие коэффициенты наследуемости, проявляются на поздних этапах онтогенеза или требуют проведения убоя особи для прямой оценки. Кроме того, значительное влияние факторов внешней среды, включая условия кормления и содержания, препятствуют раскрытию истинного генетического потенциала животных [7].

Решение перечисленных проблем связано с внедрением в селекционный процесс методов ДНК-диагностики, позволяющих оценивать генетическую ценность особи непосредственно на молекулярном уровне. В основе таких методов лежит использование молекулярно-генетических маркеров – полиморфных участков генома, контролирующих проявление количественных и

качественных признаков [8]. Благодаря развитию современных технологий, в первую очередь ПЦР-анализа и ДНК-чипирования, маркер-опосредованная селекция за последние два десятилетия прошла путь от лабораторных экспериментов до широкого практического применения в крупных селекционных центрах [9].

Особое место среди молекулярных маркеров занимают однонуклеотидные полиморфизмы (Single Nucleotide Polymorphisms, SNP). В геноме крупного рогатого скота насчитываются миллионы SNP-локусов, что создаёт практически неисчерпаемый ресурс для ассоциативных исследований. По сравнению с другими типами маркеров (RFLP, микросателлиты), SNP характеризуются высокой стабильностью, удобством детекции и возможностью полной автоматизации, что делает этот метод наиболее эффективным для популяционной генетики и геномной селекции. На основе SNP-панелей разработаны высокоплотные микрочипы, позволяющие одновременно определять сотни тысяч маркеров у одного животного, что в сочетании с методами биоинформационного анализа обеспечивает расчёт геномной племенной ценности (GEBV) с высокой точностью [10; 11].

Важным аспектом практического использования молекулярных маркеров является необходимость валидации найденных ассоциаций на конкретных породах и популяциях. Генетическая структура разных пород значительно различается по аллельным частотам, уровню и направлению связи конкретного генотипа с признаками продуктивности. В связи с этим эффективность переноса маркеров из одной популяции в другую может существенно различаться [12].

В рамках настоящего обзора был проведён анализ доступных научных публикаций, посвящённых поиску ассоциаций между молекулярно-генетическими маркерами и хозяйственно полезными признаками крупного рогатого скота мясного направления продуктивности. Критериями отбора генов-кандидатов служили: наличие воспроизводимых данных о связи полиморфных вариантов с показателями роста, качеством мяса или воспроизводительной функцией, а также количество исследований в российских и зарубежных популяциях мясного скота.

В результате были выделены шесть генов с высокой частотой упоминаний и достоверной связью с признаками: *MSTN* (миостатин), *CAPN1* (кальпаин 1), *CAST* (кальпастантин), *TG5* (тиреоглобулин), *LEP* (лептин) и *GH* (гормон роста). Каждый из этих генов вовлечён в ключевые физиологические процессы, определяющие конечную продуктивность животных, и характеризуется наличием стабильных однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), пригодных для маркерной селекции в мясном скотоводстве.

Для удобства последующего анализа выявленные ассоциации были сгруппированы по двум категориям: общая характеристика исследуемых генов-маркеров (табл. 1) и их влияние на продуктивные и воспроизводительные качества (табл. 2).

Ген миостатина (*MSTN*)

Миостатин кодируется геном *MSTN*, расположенным на хромосоме 2 (BTA2), и относится к семейству транс-

Таблица 1 – Характеристика генов-маркеров, ассоциированных с продуктивными качествами крупного рогатого скота

Ген	Локализация	Предпочтительный генотип
Миостатин (<i>MSTN</i>)	Хромосома 2	<i>MSTN</i> F94L, <i>MSTN</i> nt821 [13–15]
Кальпаин 1 (<i>CAPN1</i>)	Хромосома 29	<i>CAPN1</i> 316 CC, <i>CAPN1</i> 6545 TT [16; 17]
Кальпастатин (<i>CAST</i>)	Хромосома 7	<i>CAST</i> 282 G, <i>CAST</i> 2959 TT [16–18]
Тиреоглобулин (<i>TG5</i>)	Хромосома 14	<i>TG5</i> TT / <i>TG5</i> TC [19; 20]
Лептин (<i>LEP</i>)	Хромосома 4	<i>LEPTT</i> / <i>LEPBVB</i> [19; 20]
Гормон роста (<i>GH</i>)	Хромосома 19	<i>GH</i> VV (для продуктивности), <i>GH</i> LL (для воспроизводства)

формирующих факторов роста TGF- β . Данный белок выполняет функцию негативного регулятора мышечной ткани, подавляя размножение и созревание миобластов, что в норме предотвращает избыточное развитие скелетной мускулатуры и поддерживает баланс между мышечной и жировой тканями. В литературе наиболее подробно охарактеризованы две мутации, приводящие к потере функции миостатина: миссенс-замена F94L, характерная для абердин-ангусской породы, и делеция на 11 пар нуклеотидов (nt821) в третьем экзоне, распространённая у бельгийской голубой и ряда континентальных пород [13; 15]. У носителей мутантных аллелей наблюдается феномен «двойной мускулатуры», проявляющийся в гипертрофии мышечных волокон, повышенном выходе мяса и снижении доли подкожного жира. Экспериментально доказано, что такие животные более эффективно используют питательные вещества корма для синтеза мышечной ткани. Для большинства мясных пород предпочтительным считают гетерозиготный генотип, так как гомозиготность может сопровождаться осложнениями при отёле, включая повышенную частоту дистоции и снижение выживаемости телят. Таким образом, выбор целевого генотипа по *MSTN* зависит от породной принадлежности и конкретных задач селекционной программы. Для повышения мышечной массы и выхода мяса предпочтителен гетерозиготный или мутантный гомозиготный генотип (F94L или nt821), но при этом следует учитывать риск осложнений при отёлах у маток [13; 14].

Ген кальпаина 1 (*CAPN1*)

Ген *CAPN1* локализован на хромосоме 29 (BTA29) и кодирует кальций-зависимую протеазу микрокальпаин, которая после убоя животного инициирует деградацию миофибриллярных белков, включая десмин, титин и тропонин-T [16; 25]. Активность этого фермента прямо коррелирует с нежностью говядины, скоростью размягчения мышечной ткани в процессе созревания. Наиболее широко в научных работах упоминаются SNP-маркеры *CAPN1* 316 (также обозначается *CAPN1* 4751, замена C>T в интроне 14) и *CAPN1* 6545 (замена G>T в интроне 21) [18; 26]. Животные с генотипом *CAPN1* 316 CC значительно отличаются более нежным мясом при созревании, согласно тестам Уорнера–Брацлера на разрез, по сравнению с носителями генотипа TT. Аналогичные ассоциации описаны для маркера *CAPN1* 6545 TT [17]. Влияние на репродуктивную функцию является косвенным и обусловлено участием кальпаина в эмбри-

ональных процессах, а также его воздействием на выживаемость зародышей [16]. Для практической селекции предпочтительным считают генотип CC по маркеру *CAPN1* 316 и TT – по *CAPN1* 6545 для получения более нежного мяса [6; 17].

Ген кальпастатина (*CAST*)

CAST находится на хромосоме 7 (BTA7) и кодирует специфический эндогенный ингибитор кальпаинов – кальпастатин, который связывается с активным центром кальпаина и подавляет его протеолитическую активность [16]. Соотношение активностей кальпаина и кальпастатина является определяющим фактором нежности мяса: высокий уровень кальпастатина замедляет распад мышечных белков, сохраняя жёсткость мяса. В селекционных программах чаще всего используют маркеры *CAST* 282 (замена C>G в интроне 5) и *CAST* 2959 (транзиция C>T в 3'-нетранслируемой области). Аллели, ассоциированные с пониженной экспрессией *CAST* (например, аллель G для *CAST* 282), способствуют более активному протеолизу и, как следствие, повышению нежности мяса. Напротив, генотип *CAST* 282 CC обычно связывают с его повышенной жёсткостью [18]. Для *CAST* 2959 более низкие показатели усилия на разрез установлены у носителей генотипа TT по сравнению с CC. Известно, что комбинированное генотипирование по *CAPN1* и *CAST* позволяет прогнозировать нежность мяса точнее, чем использование только одного из этих маркеров. Влияние *CAST* на воспроизводительные качества не доказано, поскольку кальпастатин не участвует в гормональной регуляции репродуктивной функции. Целевыми генотипами для повышения нежности мяса являются *CAST* 282 G (GG или AG) в сочетании с *CAST* 2959 TT [6; 25].

Ген тиреоглобулина (*TG5*)

Ген тиреоглобулина (*TG*) картирован на хромосоме 14 (BTA14) и кодирует крупный гликопротеин – предшественник тиреоидных гормонов Т3 и Т4, регулирующих интенсивность липогенеза и дифференцировку жировых клеток [19]. Полиморфизм *TG5* в промоторной области представляет собой замену цитозина на тимин в положении -422 относительно старта транскрипции (с.-422C>T), которая изменяет уровень экспрессии гена. Аллель Т ассоциирован с повышенным содержанием внутримышечного жира (мраморностью), особенно в длиннейшей мышце спины. У бычков-носителей этого аллеля балльная оценка мраморности выше [6; 20].

Таблица 2 – Характеристика генов-маркеров, ассоциированных с продуктивными и воспроизводительными качествами крупного рогатого скота

Ген	Влияние на продуктивные качества	Влияние на воспроизводительные качества
Миостатин (<i>MSTN</i>)	Масса мышечной ткани, фенотип «двойной мускулатуры», носители мутаций эффективнее используют корм для синтеза мышечной массы [15]	Влияет на выживаемость приплода у маток [13]
Кальпаин 1 (<i>CAPN1</i>)	Определяет нежность мяса, влияет на посмертные процессы созревания мяса [17]	Связывают с жизнеспособностью эмбрионов [16]
Кальпастатин (<i>CAST</i>)	Ингибитор протеолиза, в паре с <i>CAPN1</i> влияет на посмертные процессы созревания мяса [17; 18]	–
Тиреоглобулин (<i>TG5</i>)	Участвует в синтезе гормонов щитовидной железы, влияет на отложение внутримышечного жира [19]	Косвенное влияние через энергообмен [20]
Лептин (<i>LEP</i>)	Регулирует аппетит и энергетический обмен, влияет на массу тела, упитанность, внутримышечный жир [19; 20]	Ключевой регулятор репродуктивной оси: половое созревание, овуляция, стельность [21]
Гормон роста (<i>GH</i>)	Контроль роста, мышечной массы и упитанности [6; 22; 23]	Влияет на возраст первого отёла и межотельный период [6; 24]

Механизм связывают с тем, что изменённая экспрессия тиреоглобулина влияет на локальный синтез ТЗ в мышечной ткани, стимулируя липогенез. Прямых данных о влиянии *TG5* на воспроизводительные качества крупного рогатого скота нет, однако через регуляцию энергетического гомеостаза и упитанности этот полиморфизм может косвенно сказываться на овуляции и выживаемости эмбрионов. Для улучшения мраморности предпочтительно наличие аллеля Т (генотипы ТТ или ТС) [19].

Ген лептина (*LEP*)

Лептин кодируется геном *LEP*, расположенным на хромосоме 4 (BTA4) [18]. Этот адипокин секретируется белыми жировыми клетками пропорционально массе жировой ткани и действует на гипоталамус, подавляя активность нейропептида Y и стимулируя проопиомеланокортин, что приводит к снижению аппетита и увеличению энерготрат [20; 27]. Периферически лептин служит метаболическим сигналом для гонадной оси, влияя на секрецию гонадолиберина и гонадотропинов. Наиболее часто исследуют SNP в интроне 2 (с.73С>Т, сайт узнавания Sau3AI); в литературе он также обозначается как полиморфизм А/В, где аллель В соответствует желательному Т. У бычков с генотипом *LEP* ТТ отмечена лучшая конверсия корма и более равномерное распределение жировой ткани. Важно, что лептин является критическим посредником между энергетическим статусом организма и репродуктивной функцией [18–20; 26]. У тёлочек с генотипом ТТ чаще наблюдают более раннее половое созревание и стабильные овуляторные циклы, а у коров с этим же генотипом выше стельность после первого осеменения и короче межотельный период. Носительство аллеля Т (генотип ТТ) ассоциировано с лучшими откормочными качествами, мраморностью и репродуктивной функцией [6; 27; 28].

Ген гормона роста (*GH*)

Ген *GH*, локализованный на хромосоме 19 (BTA19), кодирует полипептидный гормон, синтезируемый соматотрофами гипофиза. Гормон роста стимулирует выработку инсулиноподобного фактора роста 1 (IGF-1) в

печени и других тканях, который активирует пролиферацию хондроцитов и миоцитов, участвует в процессах липолиза и углеводного обмена, росте мышечной массы и линейных размеров тела [22; 29]. Наиболее изучен несинонимичный SNP в пятом экзоне (g.2141C>G, также обозначаемый *GH*/MspI-RFLP) [24]. Генотип *GH* CC (в некоторых работах – *GH* LL) связывают с повышенной живой массой при рождении, среднесуточными приростами и убойной массой, тогда как генотип *GH* GG (*GH* VV) чаще ассоциируют с меньшей массой, но с лучшей эффективностью конверсии корма. Кроме того, *GH*/IGF-1 ось модулирует фолликулогенез, стероидогенез и качество ооцитов [22]. У коров с генотипом *GH* CC отмечен более ранний возраст первого отёла и более короткий межотельный период, а у бычков-производителей с этим же генотипом – повышенный объём эякулята и лучшая подвижность сперматозоидов. В третьем интроне гена *GH* выявлен полиморфизм g.48769565 C>T, различные генотипы которого значительно ассоциированы с продуктивными качествами крупного рогатого скота [30]. Так, генотип CC был достоверно связан с молочностью и количеством осеменений на плодотворное зачатие ($p < 0,05$), у гетерозиготных матерей масса приплода в 3-месячном возрасте значительно ($p < 0,05$) превосходила носителей других вариантов гена, а у коров с генотипом ТТ установлен оптимальный сервис-период и интервал между отёлами. Выбор предпочтительного генотипа зависит от приоритетов селекции. Для повышения продуктивности и сокращения репродуктивного интервала желателен генотип *GH* CC [6; 24; 31].

Межпородные особенности ДНК-маркерной селекции

При внедрении методов ДНК-диагностики в селекционный процесс необходимо учитывать, что частоты встречаемости и ассоциации маркерных аллелей с хозяйственно полезными признаками существенно различаются у животных разных генеалогических линий и породной принадлежности [32]. Установлено, что предпочтительные аллели для одной породы могут не

проявлять ожидаемого эффекта в другой популяции ввиду различий в генетической структуре, уровне неравновесности по сцеплению и условиях выращивания [6; 10; 23].

Абердин-ангусская порода является одной из наиболее изученных в аспекте маркер-ассоциированной селекции. Российскими исследователями разработаны тест-системы на основе ПЦР-ПДРФ для выявления аллельных вариантов полиморфизмов генов *LEP* (Arg4Cys), *CAPN1* 316 и *MSTN* (F94L) в популяции этой породы [33; 34]. По полиморфизму *LEP* Arg4Cys (замена С на Т в позиции с.466) в исследованной группе бычков из хозяйств Калужской области частота встречаемости генотипов составила 21,9% (СС), 42,2% (СТ) и 35,9% (ТТ). Было установлено, что животные с генотипом СС имели тенденцию к превосходству по предубойной массе (на 1,3–4,2%), убойному выходу и массе туши по сравнению с носителями ТТ- и СТ-генотипов. При созревании наименьшая потеря влаги отмечалась в тушах, полученных от животных с генотипом ТТ (2,0% против 2,5% у СТ и 3,1% – у СС) [34]. Животные с генотипом ТТ также превосходили сверстников других генотипов по площади мышечного глазка на 5,6% и балльной оценке мраморности, что было подтверждено гистологическим анализом: наименьший удельный вес соединительной ткани в длиннейшей мышце спины отмечен именно у них (18,33% против 25,53% у СТ и 23,33% – у СС) [21; 34]. В абердин-ангусской популяции Калужской области по полиморфизму F94L *MSTN* наиболее распространённым оказался генотип СС, частота генотипа ТС составила 29–36%. Изучение полиморфизма *GH* g.2141C>G у абердин-ангусского скота показало, что аллель С положительно коррелирует с живой массой при рождении, крупным телосложением, более коротким межотельным интервалом, а также крупноплодностью. При этом аллель G коррелирует с массой мышечной ткани, что может иметь значение для селекции быков-производителей [6; 21; 23; 33–34].

Для калмыцкой породы актуальны исследования генетических особенностей формирования нежности мяса. Генотипирование популяции калмыцкой породы выявило шесть однонуклеотидных полиморфизмов в гене *CAPN1*, в том числе с.947C>G, g.43405930C>G, с.1800+169C>T, с.*479C>T, g.43406123G>A и g.43422631G>A, а также два полиморфизма в гене *CAST*: с.484G>A и g.96121070G>A. Наиболее высокие частоты встречаемости в исследуемой популяции отмечены для гетерозиготных генотипов CG, СТ и GA по пяти полиморфизмам гена *CAPN1*, варьируя в диапазоне 42–51% [35]. По гену *CAST* наибольшие частоты зафиксированы для гетерозиготного генотипа GA и гомозиготного GG (50 и 45% соответственно). Установлены достоверные ассоциации с живой массой: носители гомозиготного генотипа СС по полиморфизму *CAPN1* с.947C>G превосходили животных с генотипами CG и GG на 22,6 и 21,4% соответственно. Бычки-носители генотипов СС и СТ по полиморфизму с.1800+169C>T имели большую живую массу, по сравнению с генотипом ТТ, на 12,6 и 12,1% соответственно [18; 25; 35]. Для гена *CAST* носители генотипа GG по полиморфизму g.96121070G>A отличались

большой живой массой относительно животных с генотипами GA и AA (на 6,73 и 5,3% соответственно) [35].

Сравнительное исследование генетической структуры герефордской и калмыцкой пород по ряду SNP- и STR-маркеров показало, что по частоте генотипов генов *LEP*, *TG5*, *SCD1* и *OLR1* значимых различий между породами не установлено [6; 10], за исключением гена *TG5*: в герефордской породе генотип *TG5*CC встречается на 24,8% чаще, а генотип *TG5*CT – на 27,5% реже по сравнению с калмыцкой [36]. По основным параметрам генетического разнообразия (гетерозиготность, число эффективных аллелей, коэффициент полиморфности) достоверных различий между породами не выявлено: гетерозиготность составляет 0,618–0,648, число эффективных аллелей – 1,54–1,62, изменчивость – 35,9–39%, коэффициент полиморфности – 0,352–0,381. Генное равновесие в обеих породах не нарушено ($\chi^2 = 0,008–4,198$). Среднее число аллелей на STR-локус в герефордской породе составляет 10,25 против 8,94 у калмыцкой, при этом число приватных аллелей в герефордской породе значительно выше (32 против 11), что свидетельствует о более высоком уровне генетического разнообразия и успешной селекционной работе [6; 18; 28; 36].

Созданные тест-системы для генотипирования по полиморфизмам *LEP* Arg4Cys, *CAPN1* 316 и *MSTN* F94L открывают возможности для целенаправленного отбора носителей селекционно-значимых аллелей в российской популяции абердин-ангусского скота. Эффективность маркер-ассоциированной селекции подтверждена мета-анализом: в частности, для гена *TG5* положительная ассоциация аллеля Т с мраморностью отмечена во всех изученных породных группах [34].

Несмотря на достигнутые результаты, остаётся нерешённым ряд проблем. Во-первых, многие ассоциации нуждаются в дополнительном подтверждении на расширенных выборках и в разных условиях содержания. Во-вторых, комплексное взаимодействие нескольких генов (эпистаз) при формировании сложных признаков, таких как мраморность или воспроизводительная способность, остаётся малоизученным. В-третьих, отсутствуют стандартизованные протоколы для комбинированного использования нескольких маркеров в селекционных индексах.

Тем не менее, уже сегодня внедрение ДНК-технологий в племенную работу позволяет значительно ускорить генетический прогресс по хозяйственно полезным признакам, снизить затраты на длительные фенотипические оценки и повысить конкурентоспособность отрасли мясного скотоводства. Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение панели маркеров, изучение механизмов генетической регуляции продуктивных качеств и разработку экономически обоснованных алгоритмов их применения в селекционных программах.

Выводы. Маркер-ассоциированная селекция на основе использования однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) является эффективным инструментом для повышения точности и ускорения селекционного процесса, даёт возможность проводить отбор животных на ранних этапах онтогенеза и не зависит от влияния фак-

торов внешней среды. В мясном скотоводстве актуальны ассоциативные исследования генетических особенностей животных по генам *MSTN*, *CAPN1*, *CAST*, *TG5*, *LEP* и *GH* с количественными и качественными показателями мясной продуктивности. Для каждого из этих генов охарактеризованы предпочтительные аллели и генотипы, использование которых в селекционных программах позволяет целенаправленно улучшать конкретные при-

знаки. Эффективность маркеров существенно варьирует в зависимости от породной принадлежности животных. Представлены данные о межпородных различиях по частоте аллелей и их ассоциации с продуктивными качествами у абердин-ангусского, калмыцкого и герефордского скота. В то же время для гена *TG5* мета-анализ подтвердил универсальный характер ассоциации аллеля Т с мраморностью вне зависимости от породы.

Список источников

1. Лебедев С. В., Бельков Г. И., Костюк Р. В., Герасимов Н. П. Производственный потенциал отрасли мясного скотоводства в России // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 133–143. DOI 10.33284/2658-3135-107-4-133. EDN GGAVHO.
2. Макаев Ш. А., Герасимов Н. П. Влияние генотипа быков-отцов казахской белоголовой породы по генам *CAPN1*, *CAST* и *TG5* на качественные показатели мяса у потомков // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103, № 3. С. 102–113. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-102. EDN STEBLL.
3. Дубовская М. П., Герасимов Н. П. Генетическая структура и ассоциация полиморфизма генов гормона роста (*L127V*) и лептина (*A80V*) с продуктивностью в северо-кавказской популяции герефордской породы // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103, № 3. С. 91–101. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-91. EDN ZNLSRY.
4. Горлов И. Ф., Сложенкина М. И., Анисимова Е. Ю. [и др.] Полиморфизм генов *GH*, *MC4R* и *CAPN1* у южных популяций крупного рогатого скота мясных пород и влияние на живую массу // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 21–34. DOI 10.33284/2658-3135-106-3-21. EDN TWYSLT.
5. Пояркова Т. А., Болгов А. Е. Использование ДНК-технологий для оценки происхождения, показателей здоровья и отбора животных. Петрозаводск : Петрозаводский государственный университет, 2021. 78 с. EDN JTYVIC.
6. Седых Т. А., Калашникова Л. А., Гизатуллин Р. С. [и др.] Технологические и генетические аспекты производства высококачественной говядины: по материалам Республики Башкортостан. Уфа : Башкирский НИИ сельского хозяйства УФИЦ РАН, БГПУ им. М. Акмуллы, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 2024. 250 с. ISBN 978-5-605-17008-2. EDN HSLLRM.
7. Абдельманова А. С. Динамика генетической архитектуры и изменчивость генома локальных пород крупного рогатого скота, разводимых в России, в процессе их формирования и селекции : дис. ... д-ра биол. наук : 4.2.5 – Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных, 1.5.7 – Генетика / ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», 2023. 354 с. EDN VPIHEU.
8. Jilo D. D., Abebe B. K., Wang J. [et al.] The functions of MicroRNAs in myogenesis and their effects in beef cattle meat quality: a review // Molecular Biology Reports. 2025. Vol. 53 (1). Art. 76. DOI 10.1007/s11033-025-11205-8.
9. Евлагина Д. Д., Гаджиев З. К., Погодаев В. А. [и др.] Полиморфизм гена гормона роста у крупного рогатого скота молочного и мясного направления продуктивности (обзор) // Сельскохозяйственный журнал. 2023. № 4 (16). С. 96–107. DOI 10.48612/FARC/2687-1254/010.4.16.2023. EDN VMAVKD.
10. Lee W., Nam I., Kim D. [et al.] Allele-specific polymerase chain reaction for the discrimination of elite Korean cattle associated with high beef quality and quantity // Archives Animal Breeding. 2022. Vol. 65 (1). P. 47–53. DOI 10.5194/aab-65-47-2022.
11. Столповский Ю. А., Пискунов А. К., Свищева Г. Р. Геномная селекция. I. Последние тенденции и возможные пути развития // Генетика. 2020. Т. 56, № 9. С. 1006–1017. DOI 10.31857/S0016675820090143. EDN SIFGKO.
12. Nurgulsim K., Khan R., Raza S. H. A. [et al.] Bioinformatics and genetic variants analysis of *FGF10* gene promoter with their association at carcass quality and body measurement traits in Qinchuan beef cattle // Animal Biotechnology. 2023. Vol. 34, Is. 6. P. 1950–1959. DOI 10.1080/10495398.2022.2059667.
13. Zhao X., Liu J., Xiao J. [et al.] *MSTN* gene editing does not alter reproductive capacity but modifies gestational metabolism in Mongolian cattle // BMC Veterinary Research. 2025. Vol. 21. Art. 630. DOI 10.1186/s12917-025-05079-y.
14. Wu D., Wang S., Hai C. [et al.] The Effect of *MSTN* Mutation on Bile Acid Metabolism and Lipid Metabolism in Cattle // Metabolites. 2023. Vol. 13 (7). Art. 836. DOI 10.3390/metabo13070836.
15. Le N. A. T., Kubo R., Borjigin L. [et al.] Presence of a Deletion Mutation of Myostatin (*MSTN*) Gene Associated With Double-Muscling Phenotype in Japanese Black Cattle Population // Animal Science Journal. Vol. 96, Is. 1. Art. e70055. DOI 10.1111/asj.70055.
16. Романишко Е. Л., Киреева А. И., Михайлова М. Е., Шейко Р. И. Исследование полиморфизма rs17872000 в генах кальпаина (*CAPN1*) и rs109221039 кальпастатина (*CAST*) у крупного рогатого скота мясного направления продуктивности // Молекулярная и прикладная генетика. 2022. Т. 32. С. 88–96. DOI 10.47612/1999-9127-2022-32-88-96. EDN BHCDWB.
17. Cushman R. A., Bennett G. L., Tait R. G. Jr. [et al.] Relationship of molecular breeding value for beef tenderness with heifer traits through weaning of their first calf // Theriogenology. 2021. Vol. 173. P. 128–132. DOI 10.1016/j.theriogenology.2021.07.020.
18. Le T. N. A., Duong H. T., Le P. T. L. [et al.] Genetic diversity and polymorphism of genes associated with meat quality and growth traits of A Luoi Yellow cattle in Vietnam // Veterinary World. 2024. Vol. 17, № 10. P. 2295–2303. DOI 10.14202/vetworld.2024.2295-2303.
19. Sycheva I., Latynina E., Mamedov A. [et al.] Effect of *TG5* and *LEP* polymorphisms on the productivity, chemical composition, and fatty acid profile of meat from Simmental bulls // Veterinary World. 2023. Vol. 16 (8). P. 1647–1654. DOI 10.14202/vetworld.2023.1647-1654.
20. Van Dung D., Huong D. T., Tra T. T. T. [et al.] Genetic characterization of *LEP* and *TG5* gene polymorphisms in crossbred beef cattle populations // Journal of Advanced Veterinary and Animal Research. 2024. Vol. 11, № 4. P. 989–995. DOI 10.5455/javar.2024.k849.
21. Dzhalamanov K. M., Lebedev S. V., Gerasimov N., Kolpakov V. I. Effect of leptin C528T and leptin C73T polymorphisms and pregnancy on adipose tissue formation and carcass grade in Aberdeen Angus heifers and first-calf cows // Veterinary World. 2022. Vol. 15 (7). P. 1632–1640. DOI 10.14202/vetworld.2022.1632-1640.
22. Bila L., Malatji D. P., Tyasi T. L. Single nucleotide polymorphisms of growth hormone gene in cattle and their association with growth traits: a systematic review // Tropical Animal Health and Production. 2024. Vol. 56. Art. 141. DOI 10.1007/s11250-024-03985-1.

23. Han Y., Liu J., Zhang C. [et al.] Relationship between the *CUBN* and the *MIA3* gene copy number variation and growth traits in different cattle breeds // *Animal Biotechnology*. 2025. Vol. 36, Is. 1. Art. 2450355. DOI 10.1080/10495398.2025.2450355.
24. Prihandini P. W., Hasinah H., Sari A. P. Z. N. L. [et al.] Sumbawa cattle: a study of growth hormone (GH) gene variants and their association with biometric traits // *Brazilian Journal of Biology*. 2024. Vol. 84. Art. e282823. DOI 10.1590/1519-6984.282823.
25. Thaloengsakdadech T., Triwutanon S., Lertwacharasarakul P. [et al.] Single-Nucleotide Polymorphisms in Calpastatin (*CAST*) and Micro-Calpain (*CAPN1*) Genes Influencing Meat Tenderness in Crossbred Beef Cattle in Thailand // *Veterinary Sciences*. 2026. Vol. 13, Is. 1. Art. 99. DOI 10.3390/vetsci13010099.
26. Щеголев П. О., Чаицкий А. А., Чаицкая К. Д., Дуркина В. А. Генетические маркеры мясной и молочной продуктивности: гены *CAPN1* и *CAST* (обзор) // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2026. № 1 (73). С. 42–49. DOI 10.35694/YAR-CX.2026.73.1.006. EDN ХКАССР.
27. Форнара М. С., Абдельманова А. С., Соловьева А. Д. Исследование полиморфизмов в генах *DGAT1* и *LEP* для локальных пород крупного рогатого скота // *Молочное и мясное скотоводство*. 2025. № 6. С. 8–11. DOI 10.33943/MMS.2025.97.58.002. EDN ZKKOBD.
28. Malau-Aduli A. E. O., Curran J., Gall H. [et al.] Genetics and nutrition impacts on herd productivity in the Northern Australian beef cattle production cycle // *Veterinary and Animal Science*. 2021. Vol. 15. Art. 100228. DOI 10.1016/j.vas.2021.100228.
29. Gerasimov N. P., Dzhulamanov K. M., Lebedev S. V., Kolpakov V. I. Effect of IGF-1 C472T, GH C2141G, and GHR T914A polymorphisms on growth performance and feed efficiency in young Kazakh White-Headed cattle // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16, № 8. P. 1584–1592. DOI 10.14202/vetworld.2023.1584–1592.
30. Anamika, Magotra A., Bangar Y. C. [et al.] Evaluation of candidate genotype of GH gene associated with growth, production and reproduction traits in Dairy Cows // *Reproduction in Domestic Animals*. 2022. Vol. 57 (7). P. 711–721. DOI 10.1111/rda.14110.
31. Kazhgaliyev N., Nurgulsim K., Gabbassov M. [et al.] Gene-Polymorphism Effects on Growth Efficiency in the Kalmyk Breed of Central Asia // *Genes (Basel)*. 2025. Vol. 17, Is. 1. DOI 10.3390/genes17010001.
32. Герасимов Н. П., Елемесов Б. К., Сангаков А. К. [и др.] Генетическая и фенотипическая характеристики бычков герефордской и казахской белоголовой пород // *Животноводство и кормопроизводство*. 2025. Т. 108, № 2. С. 74–86. DOI 10.33284/2658-3135-108-2-74. EDN RUJXVL.
33. Luo S., Liu Y., Bu L. [et al.] The Impact of *MSTN* Gene Editing on Meat Quality and Metabolomics: A Comparative Study Among Three Breeds of *MSTN*-Edited and Non-Edited Cattle // *Animals (Basel)*. 2024. Vol. 15, Is. 1. 47. DOI 10.3390/ani15010047.
34. Коновалова Е. Н., Селионова М. И., Гладырь Е. А. [и др.] ДНК-анализ полиморфизма генов миостатина, лептина и кальпаина 1 у российской популяции крупного рогатого скота абердин-ангусской породы // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58, № 4. С. 622–637. DOI 10.15389/agrobiology.2023.4.622rus. EDN KVFATF.
35. Chimidova N., Ubushieva A., Ubushieva V., Bochkaeva Z. Genetic polymorphisms influencing meat productivity and quality in Kalmyk cattle of Russia: A systematic review of growth hormone, thyroglobulin, leptin, and calpain-1 genes // *Veterinary World*. 2026. Vol. 19 (2). P. 523–538. DOI 10.14202/vetworld.2026.523-538.
36. Dzhulamanov K. M., Gerasimov N. P. Effects of GH L127V and TG5 C422T polymorphisms on the hormonal profile, slaughter traits, and meat quality of Hereford bulls // *Veterinary World*. 2024. Vol. 17 (8). P. 1920–1927. DOI 10.14202/vetworld.2024.1920-1927.

References

1. Lebedev S. V., Bel'kov G. I., Kostyuk R. V., Gerasimov N. P. Proizvodstvennyy potencial otrasli myasnogo skotovodstva v Rossii // *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*. 2024. Т. 107, № 4. С. 133–143. DOI 10.33284/2658-3135-107-4-133. EDN GGAVHO.
2. Makaev Sh. A., Gerasimov N. P. Vliyaniye genotipa bykov-otcov kazahskoj belogolovoy porody po genam *CAPN1*, *CAST* i *TG5* na kachestvennye pokazateli myasa u potomkov // *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*. 2020. Т. 103, № 3. С. 102–113. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-102. EDN STEBLL.
3. Dubovskova M. P., Gerasimov N. P. Geneticheskaya struktura i asociaciya polimorfizma genov gormona rosta (L127V) i leptina (A80V) s produktivnost'yu v severo-kavkazskoy populyacii gerefordskoj porody // *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*. 2020. Т. 103, № 3. С. 91–101. DOI 10.33284/2658-3135-103-3-91. EDN ZNLSRY.
4. Gorlov I. F., Slozhenkina M. I., Anisimova E. Yu. [i dr.] Polimorfizm genov GH, MC4R i *CAPN1* u yuzhnykh populyacij krupnogo rogatogo skota myasnykh porod i vliyaniye na zhivuyu massu // *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo*. 2023. Т. 106, № 3. С. 21–34. DOI 10.33284/2658-3135-106-3-21. EDN TWYSLT.
5. Poyarkova T. A., Bolgov A. E. Ispol'zovanie DNK-tehnologiy dlya ocenki proiskhozhdeniya, pokazatelej zdorov'ya i otbora zhivotnykh. Petrozavodsk : Petrozavodskiy gosudarstvennyy universitet, 2021. 78 s. EDN JTYVIC.
6. Sedykh T. A., Kalashnikova L. A., Gizatullin R. S. [i dr.] Tekhnologicheskie i geneticheskie aspekty proizvodstva vysokokachestvennoj govyadiny: po materialam Respubliki Bashkortostan. Ufa : Bashkirskiy NII sel'skogo hozyajstva UFIC RAN, BGPU im. M. Akmully, FGBOU VO Bashkirskiy GAU, 2024. 250 s. ISBN 978-5-605-17008-2. EDN HSLLRM.
7. Abdel'manova A. S. Dinamika geneticheskoy arhitektury i izmenchivost' genoma lokal'nykh porod krupnogo rogatogo skota, razvodimyykh v Rossii, v processe ih formirovaniya i selekcii : dis. ... d-ra biol. nauk : 4.2.5 – Razvedeniye, selekciya, genetika i biotekhnologiya zhivotnykh, 1.5.7 – Genetika / FGBNU «Federal'nyy nauchnyy centr zhivotnovodstva – VIZh imeni akademika L. K. Ernsta», 2023. 354 s. EDN VPIHEU.
8. Jilo D. D., Abebe B. K., Wang J. [et al.] The functions of MicroRNAs in myogenesis and their effects in beef cattle meat quality: a review // *Molecular Biology Reports*. 2025. Vol. 53 (1). Art. 76. DOI 10.1007/s11033-025-11205-8.
9. Evlagina D. D., Gadzhiev Z. K., Pogodaev V. A. [i dr.] Polimorfizm gena gormona rosta u krupnogo rogatogo skota molochnogo i myasnogo napravleniya produktivnosti (obzor) // *Sel'skohozyajstvennyy zhurnal*. 2023. № 4 (16). С. 96–107. DOI 10.48612/FARC/2687-1254/010.4.16.2023. EDN VMAVKD.
10. Lee W., Nam I., Kim D. [et al.] Allele-specific polymerase chain reaction for the discrimination of elite Korean cattle associated with high beef quality and quantity // *Archives Animal Breeding*. 2022. Vol. 65 (1). P. 47–53. DOI 10.5194/aab-65-47-2022.
11. Stolpovskiy Yu. A., Piskunov A. K., Svishcheva G. R. Genomnaya selekciya. I. Poslednie tendencii i vozmozhnye puti razvitiya // *Genetika*. 2020. Т. 56, № 9. С. 1006–1017. DOI 10.31857/S0016675820090143. EDN SIFGKO.
12. Nurgulsim K., Khan R., Raza S. H. A. [et al.] Bioinformatics and genetic variants analysis of *FGF10* gene promoter with their association at carcass quality and body measurement traits in Qinchuan beef cattle // *Animal Biotechnology*. 2023. Vol. 34, Is. 6. P. 1950–1959. DOI 10.1080/10495398.2022.2059667.

13. Zhao X., Liu J., Xiao J. [et al.] MSTN gene editing does not alter reproductive capacity but modifies gestational metabolism in Mongolian cattle // BMC Veterinary Research. 2025. Vol. 21. Art. 630. DOI 10.1186/s12917-025-05079-y.
14. Wu D., Wang S., Hai C. [et al.] The Effect of MSTN Mutation on Bile Acid Metabolism and Lipid Metabolism in Cattle // Metabolites. 2023. Vol. 13 (7). Art. 836. DOI 10.3390/metabo13070836.
15. Le N. A. T., Kubo R., Borjigin L. [et al.] Presence of a Deletion Mutation of Myostatin (MSTN) Gene Associated With Double-Muscling Phenotype in Japanese Black Cattle Population // Animal Science Journal. Vol. 96, Is. 1. Art. e70055. DOI 10.1111/asj.70055.
16. Romanishko E. L., Kireeva A. I., Mikhajlova M. E., Shejko R. I. Issledovanie polimorfizma rs17872000 v genah kal'paina (CAPN1) i rs109221039 kal'pastatina (CAST) u krupnogo rogatogo skota myasnogo napravleniya produktivnosti // Molekulyarnaya i prikladnaya genetika. 2022. T. 32. S. 88–96. DOI 10.47612/1999-9127-2022-32-88-96. EDN BHCDWB.
17. Cushman R. A., Bennett G. L., Tait R. G. Jr. [et al.] Relationship of molecular breeding value for beef tenderness with heifer traits through weaning of their first calf // Theriogenology. 2021. Vol. 173. P. 128–132. DOI 10.1016/j.theriogenology.2021.07.020.
18. Le T. N. A., Duong H. T., Le P. T. L. [et al.] Genetic diversity and polymorphism of genes associated with meat quality and growth traits of A Luoi Yellow cattle in Vietnam // Veterinary World. 2024. Vol. 17, № 10. P. 2295–2303. DOI 10.14202/vetworld.2024.2295-2303.
19. Sycheva I., Latynina E., Mamedov A. [et al.] Effect of *TG5* and *LEP* polymorphisms on the productivity, chemical composition, and fatty acid profile of meat from Simmental bulls // Veterinary World. 2023. Vol. 16 (8). P. 1647–1654. DOI 10.14202/vetworld.2023.1647-1654.
20. Van Dung D., Huong D. T., Tra T. T. T. [et al.] Genetic characterization of *LEP* and *TG5* gene polymorphisms in crossbred beef cattle populations // Journal of Advanced Veterinary and Animal Research. 2024. Vol. 11, № 4. P. 989–995. DOI 10.5455/javar.2024.k849.
21. Dzhulamanov K. M., Lebedev S. V., Gerasimov N., Kolpakov V. I. Effect of leptin C528T and leptin C73T polymorphisms and pregnancy on adipose tissue formation and carcass grade in Aberdeen Angus heifers and first-calf cows // Veterinary World. 2022. Vol. 15 (7). P. 1632–1640. DOI 10.14202/vetworld.2022.1632-1640.
22. Bila L., Malatji D. P., Tyasi T. L. Single nucleotide polymorphisms of growth hormone gene in cattle and their association with growth traits: a systematic review // Tropical Animal Health and Production. 2024. Vol. 56. Art. 141. DOI 10.1007/s11250-024-03985-1.
23. Han Y., Liu J., Zhang C. [et al.] Relationship between the *CUBN* and the *MIA3* gene copy number variation and growth traits in different cattle breeds // Animal Biotechnology. 2025. Vol. 36, Is. 1. Art. 2450355. DOI 10.1080/10495398.2025.2450355.
24. Prihandini P. W., Hasinah H., Sari A. P. Z. N. L. [et al.] Sumbawa cattle: a study of growth hormone (GH) gene variants and their association with biometric traits // Brazilian Journal of Biology. 2024. Vol. 84. Art. e282823. DOI 10.1590/1519-6984.282823.
25. Thaloengsakdadech T., Triwutanon S., Lertwatcharasarakul P. [et al.] Single-Nucleotide Polymorphisms in Calpastatin (*CAST*) and Micro-Calpain (*CAPN1*) Genes Influencing Meat Tenderness in Crossbred Beef Cattle in Thailand // Veterinary Sciences. 2026. Vol. 13, Is. 1. Art. 99. DOI 10.3390/vetsci13010099.
26. Shchegolev P. O., Chaitskij A. A., Chaitskaya K. D., Durkina V. A. Geneticheskie markery myasnoj i molochnoj produktivnosti: geny CAPN1 i CAST (obzor) // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2026. № 1 (73). S. 42–49. DOI 10.35694/YARCX.2026.73.1.006. EDN XKACCP.
27. Fornara M. S., Abdel'manova A. S., Solov'eva A. D. Issledovanie polimorfizmov v genah DGAT1 i LEP dlya lokal'nyh porod krupnogo rogatogo skota // Molochnoe i myasnoe skotovodstvo. 2025. № 6. S. 8–11. DOI 10.33943/MMS.2025.97.58.002. EDN ZKKOBD.
28. Malau-Aduli A. E. O., Curran J., Gall H. [et al.] Genetics and nutrition impacts on herd productivity in the Northern Australian beef cattle production cycle // Veterinary and Animal Science. 2021. Vol. 15. Art. 100228. DOI 10.1016/j.vas.2021.100228.
29. Gerasimov N. P., Dzhulamanov K. M., Lebedev S. V., Kolpakov V. I. Effect of IGF-1 C472T, GH C2141G, and GHR T914A polymorphisms on growth performance and feed efficiency in young Kazakh White-Headed cattle // Veterinary World. 2023. Vol. 16, № 8. P. 1584–1592. DOI 10.14202/vetworld.2023.1584-1592.
30. Anamika, Magotra A., Bangar Y. C. [et al.] Evaluation of candidate genotype of GH gene associated with growth, production and reproduction traits in Dairy Cows // Reproduction in Domestic Animals. 2022. Vol. 57 (7). P. 711–721. DOI 10.1111/rda.14110.
31. Kazhgaliyev N., Nurgulsim K., Gabbassov M. [et al.] Gene-Polymorphism Effects on Growth Efficiency in the Kalmyk Breed of Central Asia // Genes (Basel). 2025. Vol. 17, Is. 1. DOI 10.3390/genes17010001.
32. Gerasimov N. P., Elemesov B. K., Sangakov A. K. [i dr.] Geneticheskaya i fenotipicheskaya harakteristiki bychkov gerefordskoj i kazahskoj belogolovoj porod // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2025. T. 108, № 2. S. 74–86. DOI 10.33284/2658-3135-108-2-74. EDN RUJXVL.
33. Luo S., Liu Y., Bu L. [et al.] The Impact of MSTN Gene Editing on Meat Quality and Metabolomics: A Comparative Study Among Three Breeds of MSTN-Edited and Non-Edited Cattle // Animals (Basel). 2024. Vol. 15, Is. 1. 47. DOI 10.3390/ani15010047.
34. Konovalova E. N., Selionova M. I., Gladyr' E. A. [i dr.] DNK-analiz polimorfizma genov miostatina, leptina i kal'paina 1 u rossijskoj populyacii krupnogo rogatogo skota aberdin-angusskoj porody // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2023. T. 58, № 4. S. 622–637. DOI 10.15389/agrobiol.2023.4.622rus. EDN KVFAF.
35. Chimidova N., Ubushieva A., Ubushieva V., Bochkaeva Z. Genetic polymorphisms influencing meat productivity and quality in Kalmyk cattle of Russia: A systematic review of growth hormone, thyroglobulin, leptin, and calpain-1 genes // Veterinary World. 2026. Vol. 19 (2). P. 523–538. DOI 10.14202/vetworld.2026.523-538.
36. Dzhulamanov K. M., Gerasimov N. P. Effects of GH L127V and TG5 C422T polymorphisms on the hormonal profile, slaughter traits, and meat quality of Hereford bulls // Veterinary World. 2024. Vol. 17 (8). P. 1920–1927. DOI 10.14202/vetworld.2024.1920-1927.

Информация об авторе

Максим Евгеньевич Лондарев – аспирант селекционно-генетического центра по мясным породам скота, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», spin-код: 8562-4723.

Information about the author

Maksim E. Londarev – Postgraduate student of the Selection and Genetic Center for Beef Cattle Breeds, Federal State Scientific Institution "Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences", spin-code: 8562-4723.

Научная статья
УДК 636.294:575.17
doi:10.35694/YARCX.2026.75.3.022

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ НЕНЕЦКОЙ ПОРОДЫ НА ПРИМЕРЕ МСП «МУЖЕВСКОЕ» ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Евгения Анатольевна Сырчина

Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия
4243@student.yarcx.ru

Реферат. В рамках исследования был проанализирован генетический материал 19 северных оленей ненецкой породы второй бригады МСП «Мужевское» Ямало-Ненецкого автономного округа по 16 микросателлитным локусам (BMS1788, Rt30, Rt1, Rt9, C143, Rt7, OheQ, FCB193, Rt6, C217, Rt24, C32, BMS745, NVHRT16, T40, C276). МСП «Мужевское» является племенным хозяйством по разведению ненецкой породы северных оленей. По данному стаду были рассчитаны основные показатели, характеризующие генетическое разнообразие: среднее число аллелей на локус ($N_a = 6,25$), эффективное число аллелей ($N_e = 3,608$), наблюдаемая ($H_o = 0,684$) и ожидаемая ($H_e = 0,652$) гетерозиготность, индекс фиксации ($F_{is} = -0,046$). По 12 локусам был выявлен избыток гетерозиготных аллелей, по четырём локусам наблюдается их дефицит. Наибольшее аллельное разнообразие отмечено в локусах OheQ ($N_a = 10$) и Rt9 ($N_e = 5,918$), наименьшее – в локусах C217 ($N_a = 2$, $H_o = 0,053$). Кроме того, в рамках исследования был рассчитан показатель χ^2 по 16 локусам, что позволило сделать вывод о равновесии Харди–Вайнберга и достоверности полученных результатов. Полученные данные свидетельствуют о высоком уровне гетерозиготности и отсутствии выраженного инбридинга среди северных оленей ненецкой породы во второй бригаде МСП «Мужевское». Согласно расчётам относительно достоверности данных, исследуемая популяция находится в равновесии Харди–Вайнберга, и данные можно считать достоверными. Однако малый размер выборки ограничивает интерпретацию результатов и требует расширения исследований для оценки генетической структуры всей популяции хозяйства.

Ключевые слова: северный олень, ненецкая порода, генетическое разнообразие, микросателлитные маркеры, гетерозиготность, индекс фиксации

GENETIC DIVERSITY OF REINDEER OF THE NENETS BREED ON THE EXAMPLE OF MAE MUZHEVSKOE OF THE YAMALO-NENETS AUTONOMOUS OKRUG

Evgeniya A. Syrchina

Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia
4243@student.yarcx.ru

Abstract. As a part of the study, the genetic material of 19 reindeer of the Nenets breed of the second herd of the MAE Muzhevskoye of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug was analyzed for 16 microsatellite loci (BMS1788, Rt30, Rt1, Rt9, C143, Rt7, OheQ, FCB193, Rt6, C217, Rt24, C32, BMS745, NVHRT16, T40, C276). MAE Muzhevskoye is a livestock breeding farm for breeding the Nenets breed of reindeer. For this herd, the main indicators characterizing genetic diversity were calculated: the average number of alleles per locus ($N_a = 6.25$), the effective number of alleles ($N_e = 3.608$), the observed ($H_o = 0.684$) and expected ($H_e = 0.652$) heterozygosity, fixation index ($F_{is} = -0.046$). An excess of heterozygous alleles was found at 12 loci, and a deficiency was observed at four loci. The highest allelic diversity was noted at the OheQ loci ($N_a = 10$) and Rt9 ($N_e = 5.918$), the lowest – at the C217 loci ($N_a = 2$, $H_o = 0.053$). In addition, as a part of the study χ^2 index was calculated for 16 loci, which made it possible to conclude that Hardy–Weinberg equilibrium was maintained and the results were reliable. The data obtained indicate a high level of heterozygosity and the absence of pronounced inbreeding in the second herd of the MAE Muzhevskoye. According to calculations regarding the reliability of the data, the population under study is in Hardy–Weinberg equilibrium and the data can be considered reliable. However, the small sample size limits the interpretation of the results and requires an expansion of research to assess the genetic structure of the entire population of the farm.

Keywords: reindeer, Nenets breed, genetic diversity, microsatellite markers, heterozygosity, fixation index

Генетическое разнообразие северных оленей ненецкой породы
на примере МСП «Мужевское» Ямало-Ненецкого автономного округа

Введение. Северный олень (*Rangifer tarandus*) является ключевым видом циркулярных экосистем и имеет важное хозяйственное значение для коренных народов Севера [1]. Генетическое разнообразие этих животных играет определяющую роль в поддержании продуктивности, адаптационного потенциала и устойчивости к заболеваниям. Полиморфизм и распределение генов в породах северных оленей тесно связаны с географическим расположением хозяйств и путями кочёвок.

В последние годы для изучения генетики северного оленя активно применяются различные молекулярно-генетические маркеры: микросателлиты, SNP-чипы и митохондриальная ДНК. В 2020 году по 14 микросателлитным локусам проводился анализ 528 домашних северных оленей из разных регионов и было установлено, что наиболее высокое генетическое разнообразие характерно для оленей ненецкой породы ($H_e = 0,699$; $A_r = 6,086$), тогда как во всех исследованных группах наблюдался значимый избыток гомозигот, достигавший максимума у географически изолированных популяций – монгольской ($F_{IS} = 0,326$) и тувинской ($F_{IS} = 0,229$) [2]. Исследование с использованием BovineHD BeadChip показало, что дикая популяция обладает более высоким уровнем генетического разнообразия ($H_o = 0,172$; $H_e = 0,177$) по сравнению с домашними породами ($H_o = 0,167$; $H_e = 0,175$); при этом все группы характеризовались небольшим дефицитом гетерозигот ($F_{IS} > 0$), более выраженным у домашних оленей ($F_{IS} = 0,044$) [3]. В другой работе на основе микросателлитного анализа установлено, что аллельное богатство у российских домашних оленей варьировало от 1,573 до 1,666, а индекс фиксации был слабopоложительным (0,012–0,027) [4]. Для расширения возможностей геномного анализа северных оленей разработана 63K SNP-панель, включающая маркеры для определения пола [5]. Кроме того, показана возможность создания низкоплотной SNP-панели из 368 информативных маркеров, которая сохраняет эффективность по сравнению с 4456 полиморфными SNP [6].

Исследования генетической структуры отдельных пород также выявили внутривидовую дифференциацию: например, у эвенкийской породы в Якутии обнаружены генетические различия между хозяйствами, связанные с географической удалённостью и обменом производителями [7]. Филогенетический анализ полных митохондриальных геномов показал родство домашних оленей ненецкой породы и эвенкийских оленей, а также общие аллельные варианты с дикими оленями [8]. С использованием STR-маркеров у домашних и диких оленей Якутии установлено, что дикие группы превосходят домашних по аллельному разнообразию ($A_r = 7,8$ –8,6 против 6,2–6,8) и числу эффективных аллелей ($H_e = 5,3$ –6,9 против 4,1–4,5), при этом все группы характеризовались дефицитом гетерозигот ($U_{FIS} = 0,101$ –0,372) [9]. Анализ митохондриального гена CytB показал, что таймырская дикая популяция превосходит домашних оленей по всем параметрам генетического разнообразия ($H_d = 0,958$; $p = 0,00697$) [10]. Наконец, крупномасштабный скрининг полиморфизмов гена миостатина выявил значимые межпопуляционные различия между

домашними и дикими оленями: у диких популяций доминировал аллель A (67,8–71,1%), тогда как у домашних его частота составляла 43,5–60,2% [11].

Таким образом, несмотря на значительный прогресс в изучении генетики северного оленя, данные о генетическом разнообразии отдельных стад и внутривидовых групп остаются ограниченными. Это определяет необходимость оценки генетической структуры локальных популяций, в том числе ненецкой породы, разводимой в хозяйствах Ямало-Ненецкого автономного округа.

Цель исследования – оценка генетического разнообразия северных оленей ненецкой породы, содержащихся в МСП «Мужевское».

Задачи:

1. Рассчитать и проанализировать следующие показатели: среднее число аллелей на локус, число эффективных аллелей, наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность, индекс фиксации, равновесие Харди-Вайнберга по 16 микросателлитным локусам.

2. Оценить генетическое разнообразие популяции северных оленей по полученным данным.

Материалы и методы исследования. Генетический материал северных оленей был отобран на базе второй бригады Муниципального сельскохозяйственного предприятия «Мужевское» Шурышкарского района Ямало-Ненецкого автономного округа (МСП «Мужевское») во время проведения подсчёта животных и приживочной кампании.

МСП «Мужевское» – племенное хозяйство по разведению северных оленей, дополнительными видами деятельности которого являются рыбоводство и молочное скотоводство. Общее поголовье предприятия составляет 5 528 голов северных оленей (1997 гол. – самки, 597 гол. – самцы, 1851 гол. – телята, 1083 гол. – годовалые важенки).

Животные МСП «Мужевское» находятся на пастбищном содержании: в летний период – на севере Республики Коми, в зимний период – на территории Ямало-Ненецкого автономного округа. Ветеринарные и зоотехнические мероприятия проводятся дважды в год: в мае и сентябре, забойная кампания – ежегодно с ноября по декабрь.

В качестве объектов исследования были выбраны северные олени второй бригады МСП «Мужевское» разного пола и возраста в количестве 19 голов. В качестве материала для выделения ДНК использовались ушные выщипы северных оленей, которые были законсервированы в спиртовом растворе (75%).

Выделение ДНК и исследование образцов методом полимеразной цепной реакции по 16 микросателлитным маркерам (BMS1788, Rt30, Rt1, Rt9, C143, Rt7, OheQ, FCB193, Rt6, C217, Rt24, C32, BMS745, NVHRT16, T40, C276) проводилось по договору с обществом с ограниченной ответственностью «Гордиз» (ИНН 7705840548, ОГРН 1087746553938). Расчёт показателей и обработка данных производилась в надстройке программного обеспечения Microsoft Excel GeneAlex. Индекс фиксации F_{IS} рассчитан по формуле [12]:

$$F_{IS} = 1 - (H_o/H_e). \quad (1)$$

Результаты. В таблице 1 представлены значения показателей генетического разнообразия по 16 микросателлитным локусам.

Среднее число аллелей на локус (N_a) варьировало от 2 (локус C217) до 10 (локус OheQ), составив в среднем 6,25. Наибольшее аллельное разнообразие отмечено в локусах OheQ ($N_a = 10$), BMS1788, Rt9, FCB193 и Rt6 ($N_a = 8$), наименьшее – в локусе C217 ($N_a = 2$). Число эффективных аллелей (N_e) изменялось от 1,054 (C217) до 5,918 (Rt9), при среднем значении 3,608. На более высокие значения N_e (> 5) выявлены в локусах Rt9 (5,918) и OheQ (5,685), что указывает на относительно равномерное распределение частот аллелей в этих локусах.

Наблюдаемая гетерозиготность (H_o) колебалась от 0,053 (C217) до 0,947 (Rt9 и FCB193), ожидаемая гетерозиготность (H_e) – от 0,051 (C217) до 0,831 (Rt9). Средние значения H_o и H_e составили 0,684 и 0,652 соответственно. В 12 локусах (BMS1788, Rt30, Rt9, C143, OheQ, FCB193, C217, Rt24, BMS745, NVHRT16, T40, C276) наблюдаемая гетерозиготность превышала ожидаемую, в четырёх локусах (Rt1, Rt7, Rt6, C32) была ниже ожидаемой.

Индекс фиксации F_{IS} имел отрицательные значения в 12 локусах (BMS1788, Rt30, Rt9, C143, OheQ, FCB193, C217, Rt24, BMS745, NVHRT16, T40, C276), что свидетельствует об избытке гетерозигот. Положительные значения индекса зафиксированы в четырёх локусах (Rt1, Rt7, Rt6, C32), указывая на возможный дефицит гетерозигот. Среднее значение F_{IS} по всем локусам составило $-0,046$, что говорит о незначительном общем избытке гетерозигот в исследованной выборке.

Также для более точной интерпретации полученных результатов нами был вычислен критерий χ^2 . Согласно полученным данным, нарушение равновесия Харди–Вайнберга наблюдается по локусу Rt1 ($p = 0,011$). Остальные локусы имеют $p \geq 0,05$, следовательно, можно говорить о том, что популяция находится в равновесии Харди–Вайнберга.

Таким образом, для северных оленей ненецкой породы второй бригады МСП «Мужевское» характерен достаточно высокий уровень гетерозиготности и отсутствие выраженного инбридинга, однако низкое разнообразие по локусу C217 и положительные значения F_{IS} по отдельным локусам требуют дальнейшего изучения. В то же время небольшой размер выборки ограничивает интерпретацию результатов и требует расширения исследований для оценки генетической структуры всей популяции бригады и хозяйства в целом.

Полученные в настоящем исследовании данные позволяют оценить уровень генетического разнообразия северных оленей ненецкой породы второй бригады МСП «Мужевское» и сопоставить его с результатами ранее опубликованных работ. Среднее число аллелей на локус ($N_a = 6,25$) и число эффективных аллелей ($N_e = 3,608$) свидетельствуют о достаточно высоком уровне аллельного разнообразия в изученной выборке. Эти значения сопоставимы с данными, полученными для ненецкой породы из различных регионов России: при анализе 528 животных по 14 микросателлитным локусам среднее

аллельное богатство (A_r) у ненецкой породы составило 6,086 [2], а в работе А. Д. Соловьевой и др. [9] среднее число аллелей на локус у домашних оленей Якутии варьировало от 7,1 до 12,4, что несколько выше наших результатов, однако прямое сравнение затруднено из-за различий в наборах маркеров и размерах выборок.

Наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность в нашем исследовании ($H_o = 0,684$; $H_e = 0,652$) находятся на высоком уровне, что характерно для микросателлитных маркеров. Близкие значения ожидаемой гетерозиготности ($H_e = 0,699$) были отмечены для ненецкой породы (NEN_N) в работе В. Р. Харзиновой и др. [2], где авторы объясняли это постоянным обменом животными между хозяйствами и, как следствие, притоком «чужих» аллелей. В то же время в ряде исследований, основанных на SNP-маркерах, показатели гетерозиготности были значительно ниже ($H_o \approx 0,17$ – $0,18$) [3; 4], что объясняется принципиальными различиями в природе маркеров: SNP-маркеры, как правило, обладают меньшей изменчивостью по сравнению с микросателлитами.

Особого внимания заслуживает характер распределения значений индекса фиксации. В нашей выборке по 12 из 16 локусов наблюдаются отрицательные значения F_{IS} , что указывает на избыток гетерозигот, а среднее значение F_{IS} составило $-0,046$. Это контрастирует с большинством опубликованных данных по северным оленям, где фиксируется дефицит гетерозигот. При исследовании разных географических популяций северных оленей все группы демонстрировали значимый избыток гомозигот с максимальными значениями F_{IS} у монгольской (0,326) и тувинской (0,229) популяций [2]. Аналогично, у домашних и диких оленей Якутии отмечен положительный коэффициент инбридинга $UFIS$ – от 0,101 до 0,372 [9], а в работе с BovineHD BeadChip все группы характеризовались слабopоложительным F_{IS} (в среднем 0,044 у домашних) [3]. Лишь в одном исследовании [4] индекс фиксации близок к нулю (0,012–0,027), но всё же был положительным.

Кроме того, отрицательные значения F_{IS} могут возникать при наличии нулевых аллелей, не выявленных в ходе генотипирования, а также при эффекте Валунда, если выборка неоднородна по происхождению. Также нельзя исключать и действие естественного или искусственного отбора в пользу гетерозиготных особей.

Низкое разнообразие по локусу C217 ($N_a = 2$, $N_e = 1,054$, $H_o = 0,053$, $H_e = 0,051$) заслуживает отдельного упоминания. Подобная фиксация может быть следствием дрейфа генов, особенно в небольшой изолированной группе, либо технических проблем при амплификации. В литературе по северным оленям этот локус не охарактеризован подробно, поэтому сложно сделать однозначный вывод. Тем не менее, наличие локуса с крайне низкой изменчивостью может снижать общую информативность панели и должно учитываться при дальнейшем мониторинге.

Сравнение с данными по диким популяциям [3; 9; 10] показывает, что домашние северные олени, как правило, уступают диким по уровню генетического разноо-

Таблица 1 – Характеристика микросателлитных локусов северных оленей ненецкой породы второй бригады МСП «Мужевское»

Показатель	Локус													
	BMS1788	RC30	Rt1	Rt9	C143	Rt7	OheQ	FCB193	Rt6	C217	Rt24	C32	BMS745	NVHRT16
Na	8	6	7	8	3	6	10	7	8	2	7	5	6	7
Ne	4,349	2,407	4,688	5,918	1,885	2,777	5,685	4,173	3,967	1,054	4,349	2,263	3,646	4,541
Ho	0,789	0,737	0,632	0,947	0,526	0,579	0,895	0,947	0,684	0,053	0,842	0,474	0,842	0,789
He	0,770	0,584	0,787	0,831	0,470	0,640	0,824	0,760	0,748	0,051	0,770	0,558	0,726	0,780
F _{is}	-0,025	-0,261	0,197	-0,140	-0,121	0,095	-0,086	-0,246	0,085	-0,027	-0,094	0,151	-0,160	-0,012
χ ²	30,185	7,228	38,660	21,477	1,475	19,592	40,336	14,309	14,398	0,014	23,017	2,983	12,333	21,690
df	28	15	21	28	3	15	45	21	28	1	21	10	15	21
p	0,354	0,951	0,011	0,805	0,688	0,188	0,670	0,856	0,984	0,906	0,343	0,982	0,654	0,418

Примечание: отклонение значимо при $p < 0,05$.

бразия. В нашем случае значения гетерозиготности превышают таковые для диких оленей в некоторых работах (например, $H_o = 0,520$ у таёжной дикой популяции [9]), что может объясняться особенностями конкретной микросателлитной панели и небольшой выборкой, а не биологическими причинами. Более корректное сопоставление требует использования единых маркеров и репрезентативных выборок.

Выводы. В ходе исследования были получены и проанализированы новые данные по генетическому разнообразию ненецкой породы северных оленей второй бригады МСП «Мужевское». Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что ненецкая порода северных оленей МСП «Мужевское» характеризуется достаточно высоким уровнем генетического разнообразия по микросателлитным локусам.

Список источников

1. Давыдов А. В., Моргунов Н. А., Чугреев М. К., Ткачева И. С. Северные олени таёжной зоны Западной Сибири // Вестник АПК Верхневолжья. 2022. № 3 (59). С. 10–21. DOI 10.35694/YARCX.2022.59.3.002. EDN DHGHIW.
2. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Solovieva A. D. [et al.] PSIII-15 Genetic variability of Russian domestic reindeer populations (*Rangifer tarandus*) by microsatellites // Journal of Animal Science. 2020. Vol. 98, Suppl. 4. P. 237–238. DOI 10.1093/jas/skaa278.435.
3. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Deniskova T. E. [et al.] Genetic diversity and population structure of domestic and wild reindeer (*Rangifer tarandus* L. 1758): A novel approach using BovineHD BeadChip // PLoS One. 2018. Vol. 13, № 11. Art. e0207944. DOI 10.1371/journal.pone.0207944.
4. Kharzinova V., Dotsev A., Solovieva A. [et al.] Insight into the Current Genetic Diversity and Population Structure of Domestic Reindeer (*Rangifer tarandus*) in Russia // Animals (Basel). 2020. Vol. 10, Is. 8. Art. 1309. DOI 10.3390/ani10081309.
5. Carrier A., Prunier J., Poisson W. [et al.] Design and validation of a 63K genome-wide SNP-genotyping platform for caribou/reindeer (*Rangifer tarandus*) // BMC Genomics. 2022. Vol. 23. Art. 687. DOI 10.1186/s12864-022-08899-6.
6. Харзинова В. Р., Денискова Т. Е., Доцев А. В. [и др.] Разработка и валидация SNP-панели низкой плотности для характеристики генетического разнообразия популяций северного оленя (*Rangifer tarandus*) // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 6. С. 1167–1176. DOI 10.15389/agrobiology.2019.6.1167rus. EDN GPPNAR.
7. Додохов В. В., Румянцева Т. Д., Сидоров М. Н. Генетическая структура эвенкийской породы домашних северных оленей на территории Якутии // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109, № 1. С. 112–120. DOI 10.33284/2658-3135-109-1-112. EDN SVBCYP.
8. Артюшин И. В., Коноров Е. А., Курбаков К. А., Столповский Ю. А. Разработка системы праймеров для секвенирования митохондриального генома северного оленя *Rangifer tarandus* // Генетика. 2021. Т. 57, № 1. С. 103–107. DOI 10.31857/S0016675821010033. EDN ESRRPQ.
9. Соловьева А. Д., Харзинова В. Р., Денискова Т. Е., Зиновьева Н. А. Исследование генетической структуры домашних и диких северных оленей Республики Саха (Якутия) с использованием STR-анализа // Генетика и разведение животных. 2022. № 3. С. 5–11. DOI 10.31043/2410-2733-2022-3-5-11. EDN DAWAMX.
10. Харзинова В. Р., Кошкина О. А., Доцев А. В., Зиновьева Н. А. Генетическое разнообразие региональных популяций северного оленя на основе анализа гена *cytb* митохондриальной ДНК // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 300–308. DOI 10.32786/2071-9485-2023-04-31. EDN XQPYPC.
11. Харзинова В. Р., Чурбакова Н. А. Оценка генетического разнообразия популяций северных оленей (*Rangifer tarandus*): крупномасштабный скрининг полиморфизмов гена *миостатина* // Аграрная наука. 2025. № 11. С. 54–59. DOI 10.32634/0869-8155-2025-400-11-54-59. EDN LAATXC.
12. Айтназаров Р. Б., Мишакова Т. М., Юдин Н. С. Оценка генетического разнообразия и филогенетических отношений черно-пестрого скота Новосибирской области с использованием микросателлитных маркеров // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 8. С. 831–838. DOI 10.18699/VJ21.096. EDN CCDLRS.

References

1. Davydov A. V., Morgunov N. A., Chugreev M. K., Tkacheva I. S. Severnye oleni tayozhnoj zony Zapadnoj Sibiri // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2022. № 3 (59). S. 10–21. DOI 10.35694/YARCX.2022.59.3.002. EDN DHGHIW.
2. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Solovieva A. D. [et al.] PSIII-15 Genetic variability of Russian domestic reindeer populations (*Rangifer tarandus*) by microsatellites // Journal of Animal Science. 2020. Vol. 98, Suppl. 4. P. 237–238. DOI 10.1093/jas/skaa278.435.
3. Kharzinova V. R., Dotsev A. V., Deniskova T. E. [et al.] Genetic diversity and population structure of domestic and wild reindeer (*Rangifer tarandus* L. 1758): A novel approach using BovineHD BeadChip // PLoS One. 2018. Vol. 13, № 11. Art. e0207944. DOI 10.1371/journal.pone.0207944.
4. Kharzinova V., Dotsev A., Solovieva A. [et al.] Insight into the Current Genetic Diversity and Population Structure of Domestic Reindeer (*Rangifer tarandus*) in Russia // Animals (Basel). 2020. Vol. 10, Is. 8. Art. 1309. DOI 10.3390/ani10081309.
5. Carrier A., Prunier J., Poisson W. [et al.] Design and validation of a 63K genome-wide SNP-genotyping platform for caribou/reindeer (*Rangifer tarandus*) // BMC Genomics. 2022. Vol. 23. Art. 687. DOI 10.1186/s12864-022-08899-6.
6. Kharzinova V. R., Deniskova T. E., Dotsev A. V. [i dr.] Razrabotka i validaciya SNP-paneli nizkoj plotnosti dlya harakteristiki geneticheskogo raznoobraziya populyacij severnogo olenya (*Rangifer tarandus*) // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2019. T. 54, № 6. S. 1167–1176. DOI 10.15389/agrobiology.2019.6.1167rus. EDN GPPNAR.
7. Dodokhov V. V., Rumyantseva T. D., Sidorov M. N. Geneticheskaya struktura evenkijskoj porody domashnih severnyh oleney na territorii Yakutii // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2026. T. 109, № 1. S. 112–120. DOI 10.33284/2658-3135-109-1-112. EDN SVBCYP.
8. Artyushin I. V., Konorov E. A., Kurbakov K. A., Stolpovskij Yu. A. Razrabotka sistemy prajmerov dlya sekvenirovaniya mitohondrial'nogo genoma severnogo olenya Rangifer tarandus // Genetika. 2021. T. 57, № 1. S. 103–107. DOI 10.31857/S0016675821010033. EDN ESRRPQ.
9. Solov'eva A. D., Kharzinova V. R., Deniskova T. E., Zinov'eva N. A. Issledovanie geneticheskoy struktury domashnih i dikih severnyh oleney Respubliki Saha (Yakutiya) s ispol'zovaniem STR-analiza // Genetika i razvedenie zhivotnyh. 2022. № 3. S. 5–11. DOI 10.31043/2410-2733-2022-3-5-11. EDN DAWAMX.

10. Kharzinova V. R., Koshkina O. A., Dotsev A. V., Zinov'eva N. A. Geneticheskoe raznoobrazie regional'nyh populyacij severnogo olenya na osnove analiza gena cytb mitochondrial'noj DNK // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2023. № 4 (72). S. 300–308. DOI 10.32786/2071-9485-2023-04-31. EDN XQPYPC.

11. Kharzinova V. R., Churbakova N. A. Ocenka geneticheskogo raznoobraziya populyacij severnyh oleney (*Rangifer tarandus*): krupnomasshtabnyj skringing polimorfizmov gena miostatina // Agrarnaya nauka. 2025. № 11. S. 54–59. DOI 10.32634/0869-8155-2025-400-11-54-59. EDN LAATXC.

12. Ajtnazarov R. B., Mishakova T. M., Yudin N. S. Ocenka geneticheskogo raznoobraziya i filogeneticheskikh otnoshenij cherno-pestrogo skota Novosibirskoj oblasti s ispol'zovaniem mikrosatelitnyh markerov // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2021. T. 25, № 8. S. 831–838. DOI 10.18699/VJ21.096. EDN CCDLRS.

Сведения об авторе

Евгения Анатольевна Сырчина – аспирант кафедры зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 9003-6312.

Information about the author

Evgeniya A. Syrchina – Postgraduate student of the Department of Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 9003-6312.



С
CSN3, 88
 D
DGAT1, 88, 143
 L
LGB, 88
 S
SNP, 154
STR, 76
 T
Tinca tinca, 5
 A
 Авиачёт, 11
 Автономное электроснабжение, 119
 Аквакультура, 49
 Алиментарная подготовка, 49
 Аминокислотный состав, 43
 Ахалтекинская порода, 61
 Б
 Бактериостатик, 43
 Бактерицидная активность, 49
 Баранчики, 20
 Белок, 24
 Беспилотное воздушное судно, 11
 Бета-лактоглобулин (*LGB*), 143
 Биологическая ценность, 43
 Биологические консерванты, 24
 Биомеханика движений, 61
 Биоразнообразие, 88
 Биофизика мембран, 134
 Биохимический анализ
 крови, 34
 Борьба с сорными
 растениями, 126
 Бычки, 149
 В
 Валушки, 20
 Витамины С и Е, 49
 Воспроизводительные качества, 154
 Производство, 95
 Выездка, 61
 Выход питательных веществ, 20
 Г
 Ген, 102
 Генетические чипы, 76
 Генетическое разнообразие, 162
 Генотип, 149
 Генотипирование, 67
 Гетерозиготность, 162
 Гибридная энергосистема, 119
 Голштинская порода, 24
 Гормон роста (*GH1*), 143
 Горьковское водохранилище, 56
 Граница Парето, 88
 Д
 Двигательные качества, 61
 Дифференциация, 76
 Длина волны, 111
 Ж
 Живая масса, 149
 З
 Здоровье человека, 56
 Зелёная масса люцерны
 изменчивой, 34

И
 Импульсное низкочастотное
 электрическое поле, 134
 Индейка, 43
 Индекс фиксации, 162
 Ионные каналы, 134
 Искусственный интеллект, 119
 К
 Кабан, 11
 Казахская белоголовая порода, 149
 Калмыцкий скот, 67
 Кальпаин, 67
 Кальпастин, 67
 Кальций, 24
 Канцерогенный риск, 56
 Каппа-казеин (*CSN3*), 143
 Картофель, 134
 Качество молока, 24
 Комбинированная селекция, 102
 Конкур, 61
 Коронный разряд, 134
 Костромская порода, 95
 Коэффициенты упитанности, 5
 Кровность, 88
 Крупный рогатый скот, 76, 102
 Кукурузный силос, 24
 Л
 Лактоза, 24
 Линии, 95
 Линь, 5
 М
 Маркер-ассоциированная селекция, 154
 Масса тела, 5
 Машинное обучение, 119
 Методы учёта, 11
 Микросателлитные маркеры, 162
 Микросеть, 119
 Михайловский тип, 143
 Модель Фрике, 134
 Молекулярные маркеры, 154
 Молочная продуктивность, 34, 88, 95
 Мониторинг, 11
 Морфометрия, 5
 Мышечный желудок, 43
 Мясная продуктивность, 102, 154
 Мясной скот, 154
 Н
 Неканцерогенный риск, 56
 Ненецкая порода, 162
 Нильская теляпия, 49
 О
 Овцеводство, 20
 Однонуклеотидные полиморфизмы, 67
 Охотничье хозяйство, 11
 Охотничьи ресурсы, 11
 П
 Питательность силоса, 34
 Пластические признаки, 5
 Племенная работа, 95
 Подбор, 95
 Полиморфизм, 143
 Половой диморфизм, 5
 Помеси с эдильбаевской породой, 20
 Порода, 76
 Потенциал действия, 134

Прицензионное животноводство, 88
 Прогнозирование, 119
 Продуктивное долголетие, 88
 Проращивание зерна, 111
 Прыжковые качества, 61
 Р
 Радужная форель, 49
 Разрушение клеточных мембран, 126
 Рецептор гормона роста, 102
 Родственные группы, 95
 С
 Северный олень, 162
 Сезон рождения, 149
 Селекция, 88
 Селекция, 95
 Сельская местность, 119
 СИЛТЕК®, 24
 Солнечная энергетика, 119
 Соматотропин (гормон роста), 102
 Сорбенты, 43
 Спектр излучения, 111
 Спортивная работоспособность, 61
 Среднесуточный прирост, 149
 Судак *Sander luciooperca*, 56
 Сухое вещество, 24
 Съедобная часть, 20
 Т
 Трансмембранный потенциал, 134
 Транспортный стресс, 49
 Туша, 20
 Тяжёлые металлы, 56
 У
 Ультрафиолетовое излучение, 111
 Управление, 119
 Урожайность, 134
 Учёты численности, 11
 Ф
 Фагоцитоз, 49
 Ферментно-микробиологические
 инокулянты, 34
 Фитосветильник, 111
 Фитофтороз, 134
 Фосфор, 24
 Х
 Химический состав, 43
 Химический состав силоса, 34
 Ц
 Цигайская порода, 20
 Ч
 Частота аллелей, 143
 Частота встречаемости, 67
 Э
 Эквивалентная схема замещения, 134
 Экстракт прополиса, 49
 Электрическая прополка, 126
 Электрическая стимуляция, 134
 Электроимпульсное воздействие, 126
 Электропорация, 134
 Электростатическое поле, 134
 Электрофизические методы, 126
 Энергоэффективность, 134
 Энзосил форте, 24
 Я
 Ярославская порода, 76, 88, 143



ПОРЯДОК РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ РУКОПИСЕЙ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК АПК ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ»

Для издания в журнале «Вестник АПК Верхневолжья» принимаются только ранее не опубликованные автором (авторами) материалы.

1. Автор статьи предоставляет рукопись, оформленную согласно требованиям, заверенную собственной подписью.
2. Если статья соответствует тематике журнала и требованиям к оформлению, она направляется на рецензирование специалисту с целью экспертной оценки. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи.
3. Сроки рецензирования в каждом отдельном случае определяются с учетом создания условий для максимально оперативной публикации статей.
4. В рецензии освещаются следующие вопросы:
 - соответствие содержания статьи заявленной в названии теме;
 - актуальность и соответствие современным достижениям науки;
 - доступность читателям с точки зрения языка, стиля, расположения материала, наглядности таблиц, диаграмм, рисунков и формул;
 - целесообразность публикации статьи с учётом ранее вышедших в свет публикаций;
 - в чём конкретно заключаются положительные стороны, а также недостатки статьи, какие исправления и дополнения должны быть внесены автором.
- Рецензент рекомендует, рекомендует с учётом исправления отмеченных недостатков или не рекомендует статью к публикации.
5. Рецензии заверяются в порядке, установленном в учреждении, где работает рецензент.
6. Рецензирование проводится конфиденциально. Редакция издания направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство образования и науки Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.
7. Наличие положительной/отрицательной рецензии не является достаточным основанием для публикации/отказа в публикации статьи. Окончательное решение о целесообразности публикации принимается редколлегией журнала и фиксируется в протоколе заседания редколлегии. Порядок и очерёдность публикации статьи определяются в зависимости от объёма публикуемых материалов и перечня рубрик в каждом конкретном номере журнала.
8. После принятия редколлегией решения о допуске статьи к публикации редакция информирует об этом автора и указывает сроки публикации. Текст рецензии по запросу направляется автору по электронной почте.
9. Оригиналы рецензий хранятся в редакции в течение пяти лет.
10. Не допускаются к публикации:
 - статьи, не оформленные должным образом, авторы которых отказываются от технической доработки статей;
 - статьи, авторы которых не отвечают на замечания рецензента.

Индекс журнала: 80759



Журнал рассылается только по подписке, в розничную продажу не поступает
The journal is sent only on subscription, not on sale