ISSN 1997-4868 (print)
ISSN 2307-0005 (online)

Уральский государственный
аграрный университет

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

AGRARIAN BULLETIN OF THE URALS

Т. 26, № 10
Vol. 26, No. 10

2026

Аграрный вестник Урала
Т. 26, № 10, 2026 г.

Agrarian Bulletin of the Urals
Vol. 26, No. 10, 2026

Редакционная коллегия

И. М. Донник (главный редактор), академик РАН, Почетный работник высшего образования Российской Федерации, помощник президента Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (Москва, Россия)

О. Г. Лоретц (заместитель главного редактора), Почетный работник высшего образования Российской Федерации, Почетный работник агропромышленного комплекса России, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)

П. Сотони (заместитель главного редактора), академик Венгерской академии наук, академик Польской медицинской академии, ректор, Университет ветеринарной медицины Будапешта (Будапешт, Венгрия)

Янг Ли, колледж пищевых наук Северо-Восточного сельскохозяйственного университета (Харбин, Китай)

Члены редакционной коллегии

Н. В. Абрамов, Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)

Р. З. Аббас, Сельскохозяйственный университет (Фейсалабад, Пакистан)

В. Д. Богданов, член-корреспондент РАН, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия)

В. Н. Большаков, академик РАН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)

О. А. Быкова, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)

Э. Д. Джавадов, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)

Л. И. Дроздова, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)

А. С. Донченко, академик РАН, Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (Новосибирск, Россия)

Б. С. Есенгельдин, Павлодарский педагогический университет (Павлодар, Казахстан)

С. Б. Исмуратов, Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова (Костанай, Казахстан)

А. Г. Кощаев, академик РАН, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)

У. Р. Матякубов, Ургенчский государственный университет (Ургенч, Узбекистан)

В. С. Мымрин, ОАО «Уралплемцентр» (Екатеринбург, Россия)

М. С. Норов, Таджикский аграрный университет имени Шириншох Шотемур (Душанбе, Таджикистан)

В. С. Паштецкий, член-корреспондент РАН, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Россия)

Ю. В. Плугатарь, член-корреспондент РАН, член Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию, начальник Отдела РАН по взаимодействию с научными организациями Крыма и города федерального значения Севастополя, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН (Ялта, Россия)

М. Б. Ребезов, Федеральный научный центр пищевых систем Им. В. М. Горбатова РАН, (Москва, Россия)

А. Г. Самоделкин, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия (Нижний Новгород, Россия)

А. А. Стекольников, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)

В. Г. Тюрин, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии (Москва, Россия)

И. Г. Ушачев, академик РАН, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства (Москва, Россия)

С. В. Шабунин, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии Россельхозакадемии (Воронеж, Россия)

И. А. Шкуратова, Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт (Екатеринбург, Россия)

А. В. Щур, Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

Editorial board

Irina M. Donnik (Editor-in-Chief), academician of the Russian Academy of Sciences, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Assistant to the President of the National Research Center “Kurchatov Institute” (Moscow, Russia)

Olga G. Loretts (Deputy Chief Editor), Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Worker of the Agricultural Complex of Russia, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

Péter Sótonyi (Deputy chief editor) academician of Hungarian Academy of Sciences, academician of Polish Medical Academy, rector of University of Veterinary Medicine of Budapest (Budapest, Hungary)

Yang Li, Professor, College of Food Science, Northeast Agricultural University (Harbin, China)

Editorial Team

Nikolay V. Abramov, Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)

Rao Zahid Abbas, University of Agriculture (Faisalabad, Pakistan)

Vladimir D. Bogdanov, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russia)

Vladimir N. Bolshakov, academician of the Russian Academy Of Sciences, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia)

Olga A. Bykova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

Eduard D. Dzhavadov, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research and Technological Poultry Institute (St. Petersburg, Russia)

Lyudmila I. Drozdova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

Aleksandr S. Donchenko, academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Experimental Veterinary Science of Siberia and the Far East (Novosibirsk, Russia)

Bauyrzhan S. Yessengeldin, Pavlodar Pedagogical University Republic of Kazakhstan (Pavlodar, Kazakhstan)

Sabit B. Ismuratov, Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov (Kostanay, Kazakhstan)

Andrey G. Koshchayev, academician of the Russian Academy of Sciences, Kuban State Agrarian University (Krasnodar, Russia)

Umidjon R. Matyakubov, Urgench State University (Urgench, Uzbekistan)

Vladimir S. Mymrin, “Uralplemtsentr” (Ekaterinburg, Russia)

Mastibek S. Norov, Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur (Dushanbe, Tajikistan)

Vladimir S. Pashtetskiy, corresponding member of the Russian Academy Of Sciences, Research Institute of Agriculture of Crimea (Simferopol, Russia)

Yuriy V. Plugatar, corresponding member of the Russian Academy Of Sciences, member of the Presidential Council for Science and Education, Head of the Department of the Russian Academy of Sciences for Cooperation with Scientific Organizations of Crimea and Sevastopol, The Nikitsky Botanical Garden – National Scientific Center of Russian Academy of Sciences (Yalta, Russia)

Maksim B. Rebezov, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Aleksandr G. Samodelkin, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy (Nizhny Novgorod, Russia)

Anatoliy A. Stekolnikov, academician of the Russian Academy Of Sciences, Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine (Saint Petersburg, Russia)

Vladimir G. Tyurin, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology (Moscow, Russia)

Ivan G. Ushachev, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics (Moscow, Russia)

Sergey V. Shabunin, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology And Therapy of the Russian Academy of Agricultural Sciences (Voronezh, Russia)

Irina A. Shkuratova, Ural Research Veterinary Institute (Ekaterinburg, Russia)

Aleksandr V. Shchur, Belarusian-Russian University (Mogilev, Belarus)

© Аграрный вестник Урала / Agrarian Bulletin of the Urals, 2026

Содержание

Агротехнологии

Т. А. Базанов, И. В. Ущаповский, Н. Н. Логинова, Е. В. Минина, П. Д. Вересова, Гуанвэнь У 1861
Китайские сорта льна как источник новых аллелей: SSR-паспортизация и генетическая характеристика

Р. А. Гуленок, А. А. Козлов, И. В. Сеферова 1873
Элементы структуры урожая коллекционного материала нута на Нижнем Дону

М. А. Должикова, А. В. Пикунова, Т. В. Янчук, В. Е. Колмыкова, А. А. Павленко 1885
Выявление комплексных источников яблони с устойчивостью к парше и повышенным потенциалом лежкости плодов с помощью маркер-вспомогательной селекции (МВС)

Д. И. Еремин, В. В. Сахарова, А. В. Любимова 1896
Сортовая реакция ячменя на хлоридное засоление: значение для селекции и производства

Н. Г. Лапенко, Л. Р. Оганян, М. А. Старостина 1908
Вопросы оптимизации пастбищного животноводства и сохранения степной растительности Восточного Предкавказья

Т. В. Новикова, Ю. Н. Зубарев, Н. А. Зеленков 1918
Аспекты дифференцированного приема агротехники с геоинформационными технологиями и устойчивой урожайностью вико-пшеничной смеси на кормовое зерно в Среднем Предуралье

С. Н. Поцепай, Л. Н. Анищенко, М. В. Семышев, В. М. Семышева, В. С. Кухарь 1928
Эколого-биологическая характеристика динамических процессов луговых сообществ в поймах крупных рек Нечерноземья РФ

М. А. Тормозин, А. А. Зырянцева, Л. Б. Сергеева 1942
Влияние агроклиматических условий на продуктивность селекционных образцов клевера лугового

Биология и биотехнологии

С. С. Бордюгова, А. В. Павлова, Е. В. Белянская, А. В. Хромова, Д. О. Омельченко 1951
Продуктивная эффективность применения комплексного бактериофагового препарата при выращивании индеек

И. Ф. Горлов, Т. А. Антипова, О. В. Кудряшова, Е. Ю. Анисимова, Н. И. Мосолова, Е. А. Мосолова 1959
Исследование продуктивности коров голштинской породы и качества молока в условиях юга России в зависимости от сезона года

Contents

Agrotechnologies

T. A. Bazanov, I. V. Ushchapovskiy, N. N. Loginova, E. V. Minina, P. D. Veresova, Guangwen Wu 1861
Chinese flax varieties as a source of new alleles: SSR fingerprinting and genetic characterization

R. A. Gulenok, A. A. Kozlov, I. V. Seferova 1873
Yield structure elements of the chickpea germplasm on the Lower Don

M. A. Dolzhikova, A. V. Pikunova, T. V. Yanchuk, V. E. Kolmykova, A. A. Pavlenko 1885
Identification of complex apple sources with scab resistance and increased fruit keeping capacity using marker-assisted selection (MAS)

D. I. Eremin, V. V. Sakharova, A. V. Lyubimova 1896
Varietal reaction of barley to chloride salinization: importance for breeding and production

N. G. Lapenko, L. R. Oganyan, M. A. Starostina 1908
Issues of optimization of pasture animal husbandry and conservation of steppe vegetation of the Eastern Ciscaucasia

T. V. Novikova, Yu. N. Zubarev, N. A. Zelenkov 1918
Some aspects of differentiated agricultural practices with geoinformation technologies and stable yield of vetch-wheat mixture for fodder grain in the Middle Urals

S. N. Potsepai, L .N. Anishchenko, M. V. Semyshev, V. M. Semysheva, V. S. Kukhar' 1928
Ecological and biological characteristics of dynamic processes of meadow communities in floodplains of large rivers of the Non-Black Soil Zone of the Russian Federation

M. A. Tormozin, A. A. Zyryantseva, L. B. Sergeeva 1942
The influence of agro-climatic conditions on the productivity of breeding samples of meadow clover

Biology and biotechnologies

S. S. Bordyugova, A. V. Pavlova, E. V. Belyanskaya, A. V. Khromova, D. O. Omelchenko 1951
Productive efficiency of using a complex bacteriophage preparation in the cultivation of turkeys

I. F. Gorlov, T. A. Antipova, O. V. Kudryashova, E. Yu. Anisimova, N. I. Mosolova, E. A. Mosolova 1959
The evaluation of dairy performance of Holstein cows and the quality of milk produced in Southern Russia, depending on the season

Содержание

Н. П. Здюмаева, Н. М. Виноградова 1969
Применение мочевых тест-полосок в скрининг-диагностике функционального состояния крупного рогатого скота

М. А. Колосова, Д. Г. Шичкин, Н. В. Башмакова, И. С. Антипова 1979
Генетические основы стрессочувствительности свиней

М. В. Модоров, О. А. Киселева, Е. М. Чеботок, А. О. Савина, М. А. Полежаева 1993
Совершенствование инструментов генетической идентификации смородины черной с использованием микросателлитных маркеров

Е. В. Ульрих, С. А. Сухих, Е. С. Землякова, С. В. Агафонова, Н. Ю. Ключко 2009
Изучение противовоспалительных свойств микроводорослей экосистемы Балтийского моря

А. Ю. Шариков, В. В. Иванов, М. В. Амелякина, А. А. Голубев 2019
Потенциал вторичных ресурсов биотехнологических производств в кормопроизводстве для аквакультуры: химический и технологический аспекты

Е. В. Шацких, Е. Н. Латыпова 2032
Эффективность использования кормовых добавок «Гербастор» и «Биостронг 510» в технологии кормления кур-несушек

Экономика

А. Р. Валиева 2047
Государственная политика в области содействия повышению кадровой обеспеченности предприятий агропромышленного комплекса

А. А. Дубовицкий, Э. А. Климентова, В. А. Шацкий 2056
Пространственная оценка неоднородности цен на рынке молока с использованием модели многослойного перцептрона

О. В. Косенчук, Н. Л. Сысоев 2070
Крестьянские (фермерские) хозяйства как драйвер развития аграрной экономики Омской области

Л. В. Кузнецова, В. Н. Мазуров 2081
Экономически обоснованная система культуртехнических мероприятий по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения со сроками окупаемости затрат

Е. О. Миргородская, Ю. Ю. Медведева, А. М. Ермаков 2096
Оценка перспективы развития российского рынка препаратов для гуманной эвтаназии животных

Contents

N. P. Zdyumaeva, N. M. Vinogradova 1969
The use of urine test strips in screening diagnostics of the functional state of cattle

M. A. Kolosova, D. G. Shichkin, N. V. Bashmakova, I. S. Antipova 1979
Genetic basis of stress sensitivity in pigs

M. V. Modorov, O. A. Kiseleva, E. M. Chebotok, A. O. Savina, M. A. Polezhaeva 1993
Improvement of genetic identification tools for black currant using microsatellite markers

E. V. Ulrikh, S. A. Sukhikh, E. S. Zemlyakova, S. V. Agafonova, N. Yu. Klyuchko 2009
Study of anti-inflammatory properties of microalgae of the Baltic Sea ecosystem

A. Yu. Sharikov, V. V. Ivanov, M. V. Amelyakina, A. A. Golubev 2019
Potential of biotechnological by-products in aquaculture feed production: chemical and technological aspect

E. V. Shatskikh, E. N. Latypova 2032
The efficacy of using the feed additives “Gerbastor” and “Biostrong 510” in laying hen feeding programs

Econoty

A. R. Valieva 2047
State policy in the field of promoting the improvement of personnel availability for enterprises in the agro-industrial complex

A. A. Dubovitskiy, E. A. Klimentova, V. A. Shatskiy 2056
Spatial estimation of the heterogeneity of prices in the milk market using the multilayer perceptron model

O. V. Kosenchuk, N. L. Sysoev 2070
Peasant farms as a driver of agricultural economic development in the Omsk region

L. V. Kuznetsova, V. N. Mazurov 2081
An economically sound system of cultural and technical measures for the introduction of agricultural land into circulation with payback periods

E. O. Mirgorodskaya, Y. Yu. Medvedeva, A. M. Ermakov 2096
Assessment of the development prospects of the Russian market for humane animal euthanasia drugs

УДК 633.521:631.527
Код ВАК 4.1.2
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1861-1872

Китайские сорта льна как источник новых аллелей: SSR-паспортизация и генетическая характеристика

Т. А. Базанов[1]✉, И. В. Ущаповский[1], Н. Н. Логинова[1], Е. В. Минина[1], П. Д. Вересова[1], Гуанвэнь У[2]
[1] Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия
[2] Институт технических культур, Хэйлунцзянская академия сельскохозяйственных наук, Харбин, Китай
✉*E-mail: t.bazanov@fnclk.ru*

Аннотация. Лен обыкновенный (*Linum usitatissimum* L.) – важная сельскохозяйственная культура двойного назначения, используемая для получения волокна и масла. Современные отечественные селекционные программы по льну сталкиваются с проблемой сужения генетического разнообразия используемого материала. Перспективным решением данной проблемы является привлечение генетически отдаленных форм из мировых коллекций, что позволяет расширить генетическую базу и получить новые ценные аллели. **Цель** исследования – проведение SSR-анализа китайских сортов *Linum usitatissimum* L. из двух селекционных серий Института технических культур (г. Харбин) с последующим сопоставлением их генетических профилей с сортами льна, включенными в Государственный реестр селекционных достижений РФ, и составление генетических паспортов для применения в селекционной практике. **Научная новизна** работы заключается в получении новых знаний о молекулярно-генетической структуре сортов льна китайских селекционных программ и паспортизации с использованием SSR-маркеров. Объектами исследования были 26 сортов льна (6 китайских и по 10 льна масличного и льна-долгунца, включенных в Госреестр РФ). **Методы.** Генотипирование выполнено с использованием 21 микросателлитного маркера. Оценка генетического разнообразия проведена методами NJ-кластеризации, анализа главных координат PCoA и AMOVA. **Результаты.** Среднее число аллелей на локус составило 5,6, PIC – 0,59, что показало высокую информативность использованных маркеров. Исследование показало обособленный филогенетический характер китайских сортов, а также использование европейского генетического материала в китайской селекции. Выявлены уникальные аллели, характерные только для китайских сортов. Показано, что три китайских сорта по SSR-профилям генетически ближе к масличным льнам, несмотря на долгунцовый фенотип. Для всех китайских сортов разработаны генетические паспорта, пригодные для контроля идентичности сортов. Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования китайских сортов для расширения генетической базы российского льноводства.

Ключевые слова: лен, китайские сорта, SSR-маркеры, генетическое разнообразие, маркер-ассоциированная селекция (МАС)

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме FGSS-2024-0002. Авторы выражают благодарность китайским коллегам за предоставленные образцы.

Для цитирования: Базанов Т. А., Ущаповский И. В., Логинова Н. Н., Минина Е. В., Вересова П. Д., У Гуанвэнь. Китайские сорта льна как источник новых аллелей: SSR-паспортизация и генетическая характеристика // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1861–1872. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1861-1872.

Дата поступления статьи: 13.07.2026, ***дата рецензирования:*** 03.08.2026, ***дата принятия:*** 21.08.2026.

© Bazanov T. A., Ushchapovskiy I. V., Loginova N. N., Minina E. V., Veresova P. D., Wu Guangwen, 2026

Chinese flax varieties as a source of new alleles: SSR fingerprinting and genetic characterization

T. A. Bazanov[1]✉, I. V. Ushchapovskiy[1], N. N. Loginova[1], E. V. Minina[1], P. D. Veresova[1], Guangwen Wu[2]

[1] Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

[2] Institute of Industrial Crops, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, China

✉*E-mail: t.bazanov@fnclk.ru*

Abstract. Flax (*Linum usitatissimum* L.) is an important dual-purpose crop used for fiber and oil production. Current domestic flax breeding programs face the challenge of declining genetic diversity. A promising solution to this problem is to incorporate genetically distant forms from global collections, which allows for expanding the genetic base and obtaining new valuable alleles. **The purpose** of this study was to conduct an SSR-analysis of Chinese *Linum usitatissimum* L. varieties from two breeding series at the Institute of Industrial Crops (Harbin), followed by a comparison of their genetic profiles with flax varieties included in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation, and the compilation of genetic passports for use in breeding practices. **The scientific novelty** of the study lies in obtaining new knowledge about the molecular genetic structure of flax varieties from Chinese breeding programs and certification using SSR markers. The objects of the study were 26 flax varieties (6 Chinese varieties, 10 varieties of oil flax and 10 varieties of fiber flax included in the State Register of the Russian Federation). **Method**s. Genotyping was performed using 21 microsatellite markers. Genetic diversity was assessed using NJ clustering, PCoA, and AMOVA. **Results.** The average number of alleles per locus was 5.6, and the PIC was 0.59, demonstrating the high informativeness of the markers. The study demonstrated the distinct phylogenetic nature of Chinese varieties, as well as the use of European genetic material in Chinese breeding. Unique alleles characteristic only of Chinese varieties were identified. Three Chinese varieties were shown to be genetically closer to oil flax in terms of SSR-profiles, despite their fiber-fibred phenotype. Genetic passports suitable for cultivar identity verification were developed for all Chinese varieties. The obtained data demonstrate the potential of using Chinese varieties to expand the genetic base of Russian flax cultivation.

Keywords: flax, Chinese varieties, SSR-markers, genetic diversity, marker-associated selection (MAS)

Acknowledgements. This study was carried out as part of the state assignment of the Russian Ministry of Education and Science, topic FGSS-2024-0002. The authors are grateful to their Chinese colleagues for providing the samples.

For citation: Bazanov T. A., Ushchapovskiy I. V., Loginova N. N., Minina E. V., Veresova P. D., Wu Guangwen. Chinese flax varieties as a source of new alleles: SSR-certification and genetic characterization. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1861–1872. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1861-1872. (In Russ.)

Date of paper submission: 13.07.2026, ***date of review:*** 03.08.2026, ***date of acceptance:*** 21.08.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Лен обыкновенный (*Linum usitatissimum* L.) – одна из наиболее значимых сельскохозяйственных культур, возделываемых человеком на протяжении нескольких тысячелетий. Хозяйственная ценность вида определяется возможностью его комплексного использования: стебли льна-долгунца служат источником высококачественных волокна и целлюлозы, а семена масличных форм – сырьем для получения масла, характеризующегося высоким содержанием незаменимых полиненасыщенных жирных кислот [1].

Селекция льна исторически ориентирована на улучшение основных хозяйственно ценных признаков – урожайности, содержания масла в семенах или волокна в стеблях, устойчивости к болезням и полеганию. Для достижения этих целей селекционеры использовали гибридизацию и отбор в расщепляющихся популяциях. Анализ родословных современных сортов указывает, что в исходные и возвратные скрещивания вовлекаются с наибольшей частотой высокопродуктивные сорта, демонстрирующие стабильное наследование целевых признаков. Селекционная работа, основанная на этом базовом принципе, имеет существенное ограничение. Длительное и интенсивное использование генетически близких родительских форм ведет к снижению генетического разнообразия создаваемых сортов льна и, как следствие, повышению риска гибели посевов или недобора урожая из-за резкого увеличения

© Базанов Т. А., Ущаповский И. В., Логинова Н. Н., Минина Е. В., Вересова П. Д., У Гуанвэнь, 2026

давления лимитирующего климатического фактора или возникновения провокационного фитопатогенного фона. Методы оценки генетического родства вовлекаемых в гибридизацию форм во многом повышают эффективность селекционной работы на льне [2–4].

Один из перспективных путей решения данной проблемы – поиск и вовлечение в селекционные программы генетически отдаленных форм льна, потенциально содержащих ценные аллели, отсутствующие в современном селекционном материале. Их введение в культуру в сочетании с современными методами селекции (включая маркер-ассоциированную селекцию – МАС) позволит расширить генетическую базу получаемых сортов, повысить их продуктивность и устойчивость к неблагоприятным факторам, а также улучшить показатели качества продукции [4].

Значительный интерес для российских селекционных программ могут представлять современные достижения учреждений КНР, работающих с культурой льна [5]. Китай имеет более чем 7000-летнюю традицию ее возделывания, причем изначально она культивировалась исключительно для получения масла и семян. Прядильное направление использования начало активно развиваться лишь с начала XX века, хотя археологические находки свидетельствуют о том, что одежда из льняного сырья была знакома местному населению за 4000 лет до н. э. Научная селекционная работа с культурой берет свое начало в 1950–60-х годах в северных регионах и направлена на создание масличных форм (селекционные учреждения Ганьсу и других северо-западных провинций) и долгунцовых (селекционные учреждения провинции Хэйлунцзян) [6].

В настоящее время в перечень Министерства сельского хозяйства Китая включено более 35 прядильных и 55 масличных сортов, созданных специалистами 16 научных учреждений и рекомендованных для производства в стране [7]. Традиционно в местной селекции предусматривается создание серий сортов на основе различных программ. Такой подход предполагает не столько единый исходный материал в качестве селекционной платформы, сколько четкую стратегию в рамках конкретного направления. Так, в Институте технических культур Хэйлунцзянской академии сельскохозяйственных наук созданы линейки Хэйя и Шуанья, насчитывающие 32 и 18 сортов соответственно. Первая охватывает основные хозяйственно полезные признаки, тогда как вторая нацелена на улучшение отдельных свойств, а именно устойчивости к патогенам, полеганию и засухе [8].

Согласно литературным данным, современные китайские сорта льна-долгунца произошли как от высокопродуктивных российских и западноевропейских форм, так и от китайских селекционных линий [9]. Около трети этой коллекции составляют местные формы и формы народной селекции [10].

Таким образом, китайские сорта можно рассматривать как потенциальный источник генетического разнообразия для дальнейших исследований российских и западноевропейских селекционеров. Однако в работе с сортовым материалом необходимо проверить уровень генетической близости.

Среди различных методов анализа генетического разнообразия и паспортизации коллекционных образцов наиболее перспективным является SSR-маркирование. Преимущество такой системы заключается в высокой воспроизводимости результатов, а также в простоте детекции с помощью ПЦР [11–13]. Благодаря своим характеристикам SSR-маркеры являются эффективным и наиболее удобным инструментом для генотипирования [4; 14]. Микросателлитный анализ способствует однозначной идентификации образцов, обеспечиванию количественной оценки генетического разнообразия сортов, выявляя при этом перспективных доноров новых аллелей, степень родства между линиями, что, несомненно, важно для рационального планирования селекционного процесса. Эффективность использования SSR-маркеров в работе со льном ранее была подтверждена в исследованиях, посвященных идентификации сортов льна, оценке их генетической чистоты и анализу степени генетического сходства между образцами [15; 16].

Цель данной работы – проведение SSR-анализа китайских сортов *Linum usitatissimum* L. из двух селекционных серий Института технических культур (г. Харбин) с последующим сравнением их генетических профилей с сортами льна, включенными в Государственный реестр селекционных достижений РФ, и составление генетических паспортов для применения в селекционной практике.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование было проведено в лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции в Федеральном научном центре лубяных культур (г. Тверь) в 2026 году. В исследование включили 26 образцов льна: 6 китайских сортов, 10 сортов льна масличного и 10 сортов льна-долгунца различного географического происхождения, полученных из коллекции ФНЦ ЛК и включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ (таблица 1).

Геномную ДНК извлекали листьев 4-недельных растений с помощью модифицированного CTAB-метода [17]. SSR-анализ проводили с помощью 21 микросателлитного маркера, применявшегося в наших предыдущих исследованиях [15; 16]. Качество экстрагированной ДНК оценивали с помощью спектрофотометрии на приборе NanoPhotometer NP80, определяя степень чистоты и концентрацию нуклеиновых кислот.

Таблица 1

Список исследованных образцов льна

№	Название	Оригинатор
Китайские сорта льна		
1	Хэйя 15	Институт технических культур Хэйлунцзянской академии сельскохозяйственных наук, КНР
2	Хэйя 17	
3	Хэйя 19	
4	Хэйя 20	
5	Хэйя 21	
6	Шуанья 12	
Сорта льна масличного, включенные в Госреестр РФ		
7	Бирюза	ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК
8	ВНИИМК 630	
9	Радуга	
10	Ручеек	
11	Илим	РУП «Институт льна»
12	Исток	ФГБНУ Пензенский НИИСХ
13	Кинельский 2000	ФГБНУ Поволжский НИИСС
14	ЛМ 98	ФГБНУ ВНИИЛ
15	Уральский	ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН
16	Чибис	Бараник В. А.
Сорта льна-долгунца, включенные в Госреестр РФ		
17	Агата	Limagrain Nederland B.V.
18	Василек	РУП «Институт льна»
19	Мерилин	Van de Bilt Zaden en Vlas B.V.
20	Надежда	ФГБНУ ВНИИЛ
21	Тверской	ФГБНУ ВНИИЛ
22	Прибой	ФГБНУ Псковский НИИСХ
23	С 108	ГБНУ Смоленская ГОСХОС
24	Синичка	ФГБОУ ВО Вятская ГСХА
25	Сурский	ФГБНУ ВНИИЛ / ОАО «Студенецкий мукомольный завод»
26	Тост 3	ФГБНУ СФНЦА РАН

Table 1

The studied flax samples

No.	*Name*	*Originator*
Chinese varieties of flax		
1	*Heiya15*	*Institute of Industrial Crops, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, China*
2	*Heiya 17*	
3	*Heiya 19*	
4	*Heiya 20*	
5	*Heiya 21*	
6	*Shuangya 12*	
Varieties of linseed included in the State Register of the Russian Federation		
7	*Biryuza*	*FSBSI FSC VNIIMK*
8	*VNIIMK 630*	
9	*Raduga*	
10	*Rucheek*	
11	*Ilim*	*RUE "Institute of Flax"*
12	*Istok*	*FSBSI Penza RIA*
13	*Kinel'skiy 2000*	*FSBSI Povolzhsky RIBSP*
14	*LM 98*	*FSBSI VNIIL*
15	*Ural'skiy*	*FSBSI UFARC Ural Branch of RAS*
16	*Chibis*	*Baranik V. A.*
Varieties of flax included in the State Register of the Russian Federation		
17	*Agata*	*Limagrain Nederland B.V.*
18	*Vasilek*	*RUE "Institute of Flax"*
19	*Merilin*	*Van de Bilt Zaden en Vlas B.V.*
20	*Nadezhda*	*FSBSI VNIIL*
21	*Tverskoy*	*FSBSI VNIIL*
22	*Priboy*	*FSBSI Pskov RIA*
23	*S 108*	*SBSI Smolensk SAES*
24	*Sinichka*	*FSBEI HE Vyatka SAA*
25	*Surskiy*	*FSBSI VNIIL / JSC "Studenetskskiy Flour Mill"*
26	*Tost 3*	*FSBSI SFSCA RAS*

ПЦР-реакцию проводили в объеме 25 мкл. В смесь входили 20 нг исследуемой ДНК, 2,5 мкМ $MgCl_2$, 200 мкМ dNTP, 1 ед. Taq-полимеразы, концентрацию праймеров подбирали экспериментально. Анализ осуществляли на амплификаторе T100 MyCycler (Bio-Rad, США) по следующей схеме: 94 °С – 5 мин.; затем 35 циклов (94 °С – 30 с, 55 °С – 45 с, 72 °С – 40 с); финальная элонгация 72 °С – 5 мин.

Разделение продуктов ПЦР осуществляли методом капиллярного электрофореза с использованием анализатора «НАНОФОР 05» (производство ООО «НПФ Синтол», Россия). В качестве стандарта длины фрагментов применяли маркер СД-450. Обработку электрофореграмм и определение размеров аллелей выполняли в программном обеспечении «ДНК-ФА».

В рамках статистического анализа полученных данных генетические расстояния были рассчитаны по методу Нея с помощью функции *nei.dist* пакета *poppr* в среде R [17]. Дендрограмма методом NJ и анализ методом главных координат выполнены в программе Darwin v.6. Межгрупповая изменчивость была оценена с помощью AMOVA при 999 перестановках с использованием пакета *poppr.amova* [19; 20]. Для определения того, к какой группе сортов льна (лен масличный или лен-долгунец) генетически ближе китайские сорта, были рассчитаны их средние генетические расстояния до центроидов групп масличных и прядильных сортов.

Результаты (Results)

Характеристика SSR-маркеров. Анализ 21 SSR-локуса выявил их полиморфность во всей выборке образцов (характеристика исследованных SSR-маркеров представлена в таблице 2). Среднее число аллелей на локус составило 5,6, а среднее значение коэффициента PIC – 0,59, что свидетельствует о высокой информативности использованной маркерной системы.

Таблица 2

Характеристика исследованных SSR-маркеров

Локус	Число аллелей	Аллели (п. н.)	PIC
Lin1	2	323, 330	0,35
Lin2	3	425, 434, 437	0,42
Lin3	3	194, 207, 216	0,46
Lin4	3	307, 312, 315	0,54
Lin5	2	406, 419	0,37
Lin6	7	162, 164, 177, 182, 186, 192, 195	0,68
Lin7	3	379, 382, 388	0,55
Lin8	5	117, 140, 147, 149, 153	0,51
Lin9	3	289, 292, 295	0,48
Lin10	7	246, 251, 254, 257, 264, 267, 270	0,67
Lin11	6	163, 166, 171, 173, 179, 182	0,73
Lu17	6	246, 251, 254, 257, 264, 267	0,63
Lu3	3	148, 155, 157	0,45
Lu28	6	166, 168, 174, 178, 180, 187	0,62
Lu8	6	197, 205, 209, 211, 213, 217	0,68
Flu7	8	135, 137, 138, 143, 145, 148, 155, 157	0,71
Flu8	9	146, 150, 163, 168, 183, 200, 204, 220, 223	0,78
Lu13	6	197, 205, 209, 211, 213, 217	0,66
Flu25	8	161, 176, 182, 197, 213, 216, 219, 234	0,70
Lu21	7	199, 202, 204, 212, 214, 216, 218	0,75
Lu23	6	242, 244, 246, 248, 250, 252	0,63
Среднее	5,6		0,59

Table 2

Characteristics of the studied SSR markers

Locus	*Number of alleles*	*Alleles (b. p.)*	*PIC*
Lin1	*2*	*323, 330*	*0.35*
Lin2	*3*	*425, 434, 437*	*0.42*
Lin3	*3*	*194, 207, 216*	*0.46*
Lin4	*3*	*307, 312, 315*	*0.54*
Lin5	*2*	*406, 419*	*0.37*
Lin6	*7*	*162, 164, 177, 182, 186, 192, 195*	*0.68*
Lin7	*3*	*379, 382, 388*	*0.55*
Lin8	*5*	*117, 140, 147, 149, 153*	*0.51*
Lin9	*3*	*289, 292, 295*	*0.48*
Lin10	*7*	*246, 251, 254, 257, 264, 267, 270*	*0.67*
Lin11	*6*	*163, 166, 171, 173, 179, 182*	*0.73*
Lu17	*6*	*246, 251, 254, 257, 264, 267*	*0.63*
Lu3	*3*	*148, 155, 157*	*0.45*
Lu28	*6*	*166, 168, 174, 178, 180, 187*	*0.62*
Lu8	*6*	*197, 205, 209, 211, 213, 217*	*0.68*
Flu7	*8*	*135, 137, 138, 143, 145, 148, 155, 157*	*0.71*
Flu8	*9*	*146, 150, 163, 168, 183, 200, 204, 220, 223*	*0.78*
Lu13	*6*	*197, 205, 209, 211, 213, 217*	*0.66*
Flu25	*8*	*161, 176, 182, 197, 213, 216, 219, 234*	*0.70*
Lu21	*7*	*199, 202, 204, 212, 214, 216, 218*	*0.75*
Lu23	*6*	*242, 244, 246, 248, 250, 252*	*0.63*
Average	*5.6*		*0.59*

Генетическая структура исследуемых сортов. На рис. 1 представлена дендрограмма генетического подобия исследованных сортов льна, выполненная методом NJ в программе Darwin по генетическим дистанциям Нея на основе 21 SSR-локуса. Все три исследуемые группы льна образовали три выраженных генетических кластера. Реестровые сорта льна масличного и льна-долгунца характеризуются разделением по направлению использования. Внутри своего кластера китайские сорта не образуют характерных подгрупп. Филогенетический интерес представляет включение голландского сорта Агата в кластер китайских сортов, что подтверждает использование европейского генетического материала в их селекции.

Анализ главных координат (PCoA), выполненный для 26 сортов льна на основании матрицы попарных генетических расстояний по 21 SSR-локусу (рис. 2), также продемонстрировал обособленность китайских сортов. Первые две координаты объясняют 38,1 % общей изменчивости: доля PCo1 составляет 20,1 %, доля PCo2 – 18,0 %.

Фенотипические характеристики китайских сортов льна и их сопоставление с данными генетического анализа. По совокупности хозяйственно ценных признаков (высота растения, техническая длина, содержание волокна) все шесть изученных китайских сортов льна относятся к долгунцовому типу (таблица 3). Их средняя техническая длина составила 75,8 см, что сопоставимо со средним показателем 78,0 см для сортов льна-долгунца коллекции ФНЦ ЛК (среднее по 10 изученным сортам). При этом она значительно выше, чем у масличных сортов, у которых этот показатель составляет 59,8 см. Содержание общего волокна у китайских сортов находится в пределах 26,9–31,0 %, что является характерным показателем для долгунцовой группы льна.

На основании данных, полученных при сопоставлении генетических расстояний китайских образцов льна (таблица 4) с их характерными фенотипическими показателями, было выявлено, что сорта Хэйя 20, Хэйя 21 и Шуанья 12, классифицируемые как долгунцы, генетически близки к масличному льну. Это говорит о том, что в их родословной были формы, имеющие по некоторым маркерам генетическое сходство с сортами, являющимися источниками генетического материала для российского масличного льна. Данный факт возможно связан с видовыми генами устойчивости растений к болезням, засухе и другим.

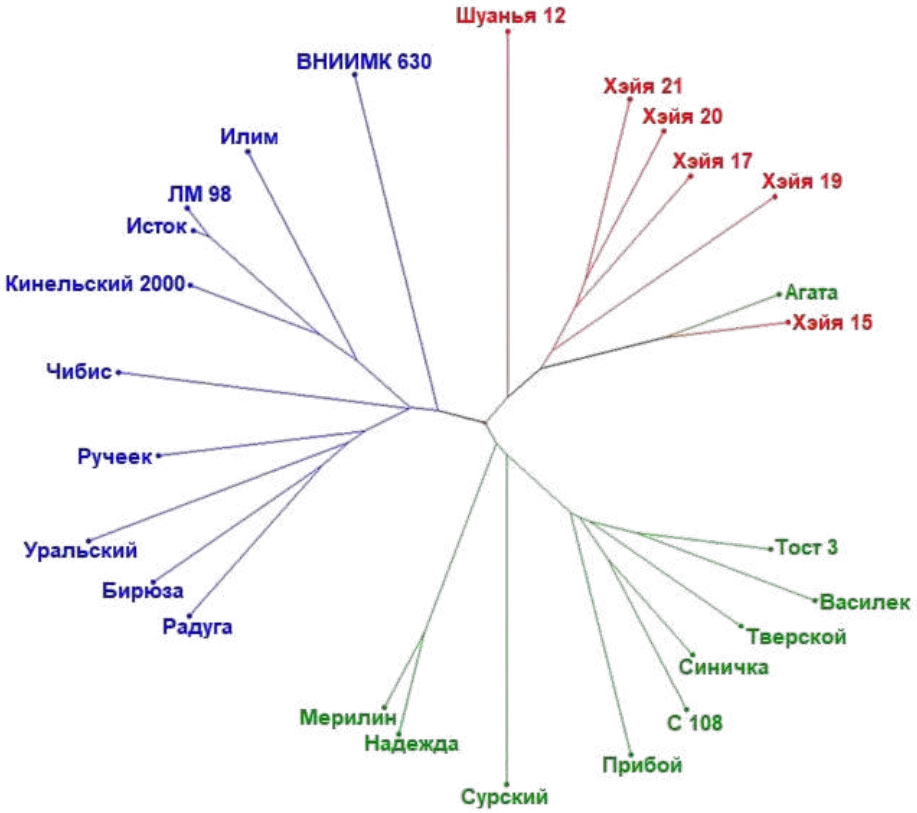


Рис. 1. Дендрограмма генетического сходства 26 сортов льна, построенная методом NJ на основе 21 SSR-локуса. Красным цветом обозначены китайские сорта, синим – масличные, зеленым – сорта льна-долгунца

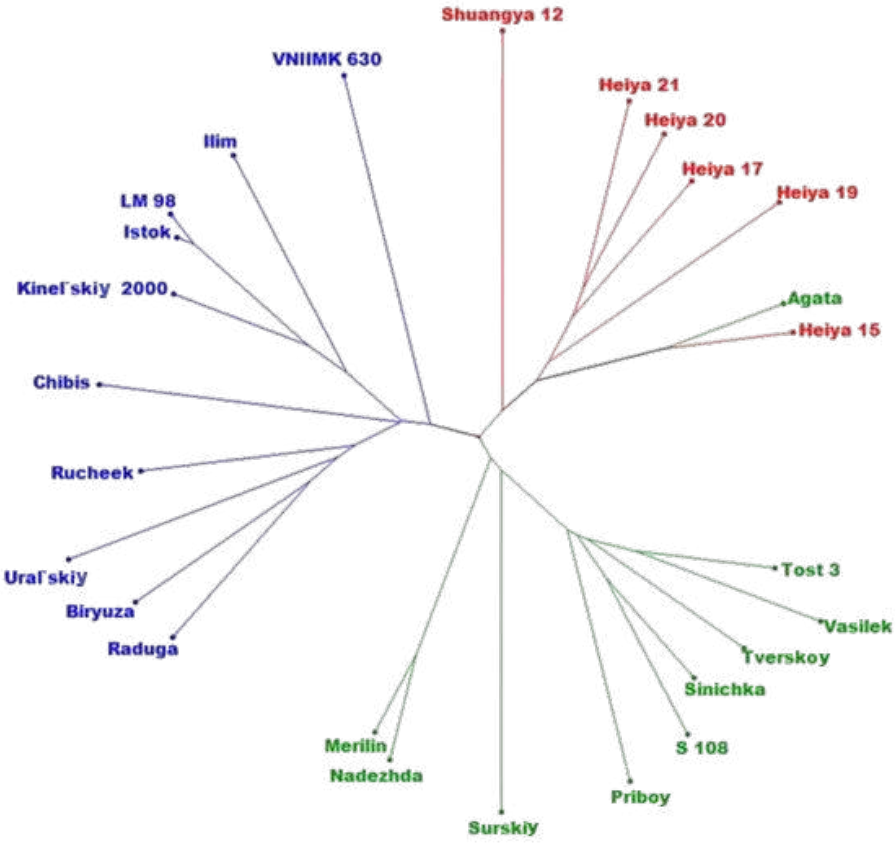


Fig. 1. Dendrogram of genetic similarity of 26 flax varieties constructed by the NJ method based on 21 SSR loci. Chinese varieties are marked in red, linseed varieties in blue, and flax varieties in green

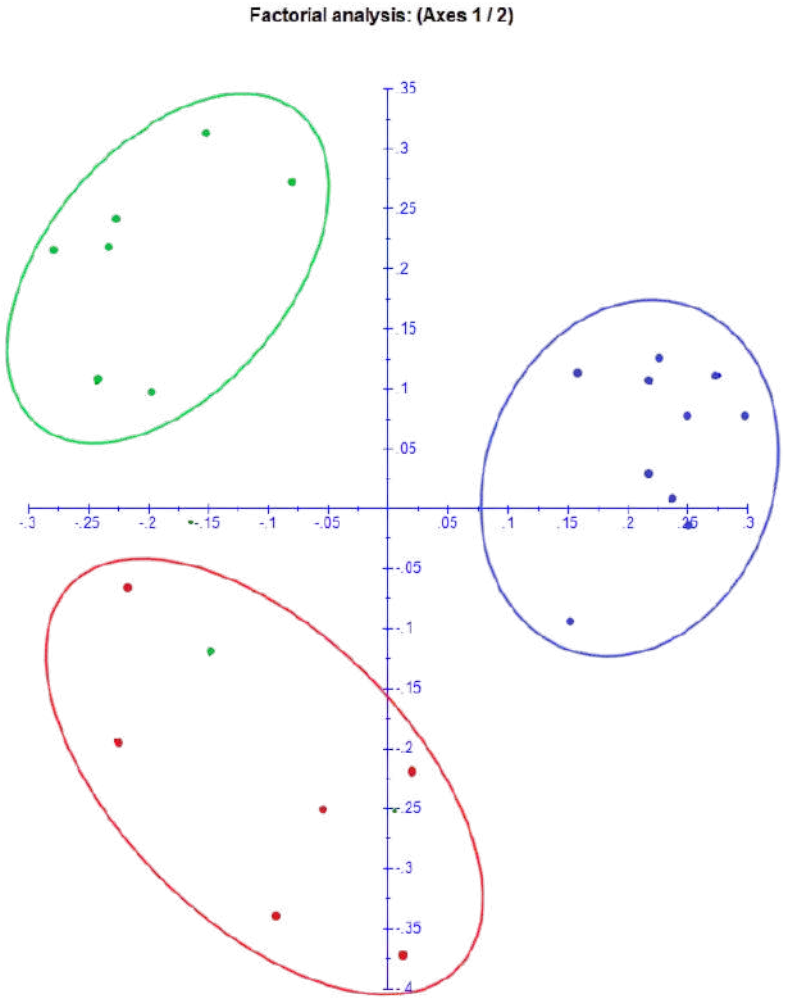


Рис. 2. Анализ главных координат (PCoA) 26 сортов льна по 21 SSR-локусу.
Красным цветом обозначены китайские сорта, синим – масличные, зеленым – сорта льна-долгунца
Fig. 2. Principal coordinate analysis (PCoA) of 26 flax varieties at 21 SSR loci.
Chinese varieties are marked in red, linseed varieties in blue, and flax varieties in green

Таблица 3

Фенотипические характеристики китайских сортов льна (по данным Института технических культур ХААН)

Сорт	Высота растения, см	Техническая длина, см	Содержание общего волокна, %
Хэйя 15	78,7	65,1	26,9–31,0
Хэйя 17	86,8	73,0	29,9–30,7
Хэйя 19	82,9	71,0	29,4–29,7
Хэйя 20	100,2	86,2	29,1–30,0
Хэйя 21	90,2	79,3	31,0
Шуанья 12	110,0	80,0	29,8–30,2

Table 3

Phenotypic characteristics of Chinese flax varieties (according to data from the Institute of Industrial Crops of the HAAS)

Variety	*Plant height, cm*	*Technical length, cm*	*Total fiber content, %*
Heiya 15	*78.7*	*65.1*	*26.9–31.0*
Heiya 17	*86.8*	*73.0*	*29.9–30.7*
Heiya 19	*82.9*	*71.0*	*29.4–29.7*
Heiya 20	*100.2*	*86.2*	*29.1–30.0*
Heiya 21	*90.2*	*79.3*	*31.0*
Shuangya 12	*110.0*	*80.0*	*29.8–30.2*

Таблица 4

Генетические расстояния до центроидов групп (по Нею)

Сорт	Расстояние до центроида группы льна масличного	Расстояние до центроида группы льна-долгунца
Хэйя 15	0,37	**0,28**
Хэйя 17	0,35	0,32
Хэйя 19	0,41	0,34
Хэйя 20	0,31	0,36
Хэйя 21	**0,27**	0,39
Шуанья 12	0,33	0,37

Примечание. Полужирным выделены наименьшие значения.*

Table 4

Genetic distances to group centroids (according to Nei)

Variety	*Distance to the centroid of the linseed group*	*Distance to the centroid of the flax group*
Heiya 15	*0.37*	***0.28***
Heiya 17	*0.35*	*0.32*
Heiya 19	*0.41*	*0.34*
Heiya 20	*0.31*	*0.36*
Heiya 21	***0.27***	*0.39*
Shuangya 12	*0.33*	*0.37*

*Note: * Lowest values are shown in bold.*

Таблица 5

Генетические паспорта китайских сортов льна

Сорт	Генетический паспорт
Хэйя 15	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{315}E_{419}F_{162,186}G_{379}H_{153}I_{292}J_{264}K_{173}L_{287}M_{155}N_{168,178}O_{197}P_{137}Q_{163}R_{377}S_{176}T_{214}U_{248}$
Хэйя 17	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{315}E_{419}F_{162,186}G_{388}H_{153}I_{292}J_{264}K_{182}L_{285}M_{148,157}N_{168,178}O_{213}P_{145}Q_{163}R_{377}S_{176}T_{214}U_{248}$
Хэйя 19	$A_{323}B_{425}C_{216}D_{315}E_{419}F_{192}G_{388}H_{153}I_{289}J_{264}K_{182}L_{289}M_{155}N_{168,178}O_{211}P_{145}Q_{150}R_{377}S_{161}T_{216}U_{248}$
Хэйя 20	$A_{323}B_{425}C_{216}D_{307}E_{419}F_{177,186}G_{379}H_{140,147}I_{292}J_{264}K_{182}L_{285}M_{155}N_{168,178}O_{197}P_{145}Q_{163}R_{377}S_{176}T_{214}U_{248}$
Хэйя 21	$A_{323}B_{425}C_{216}D_{307}E_{419}F_{182,192}G_{381}H_{140,147}I_{292}J_{264}K_{182}L_{287}M_{148,157}N_{178,187}O_{217}P_{145}Q_{163}R_{377}S_{176}T_{216}U_{248}$
Шуанья 12	$A_{323}B_{425}C_{207}D_{307}E_{406}F_{182,192}G_{388}H_{140,147}I_{292}J_{264}K_{173}L_{289}M_{155}N_{168,178}O_{205}P_{137}Q_{200}R_{377}S_{213}T_{214}U_{246}$

Примечание. Соответствие буквенных обозначений и локусов: A – Lin1; B – Lin2; C – Lin3; D – Lin4; E – Lin5; F – Lin6; G – Lin7; H – Lin8; I – Lin9; J – Lin10; K – Lin11; L – Lu17; M – Lu3; N – Lu28; O – Lu8; P – Flu7; Q – Flu8; R – Lu13; S – Flu25; T – Lu21; U – Lu23.

Table 5

Genetic passports of Chinese flax varieties

Variety	*Genetic passport*
Heiya 15	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{315}E_{419}F_{162,186}G_{379}H_{153}I_{292}J_{264}K_{173}L_{287}M_{155}N_{168,178}O_{197}P_{137}Q_{163}R_{377}S_{176}T_{214}U_{248}$
Heiya 17	$A_{323}B_{425,437}C_{216}D_{315}E_{419}F_{162,186}G_{388}H_{153}I_{292}J_{264}K_{182}L_{285}M_{148,157}N_{168,178}O_{213}P_{145}Q_{163}R_{377}S_{176}T_{214}U_{248}$
Heiya 19	$A_{323}B_{425}C_{216}D_{315}E_{419}F_{192}G_{388}H_{153}I_{289}J_{264}K_{182}L_{289}M_{155}N_{168,178}O_{211}P_{145}Q_{150}R_{377}S_{161}T_{216}U_{248}$
Heiya 20	$A_{323}B_{425}C_{216}D_{307}E_{419}F_{177,186}G_{379}H_{140,147}I_{292}J_{264}K_{182}L_{285}M_{155}N_{168,178}O_{197}P_{145}Q_{163}R_{377}S_{176}T_{214}U_{248}$
Heiya 21	$A_{323}B_{425}C_{216}D_{307}E_{419}F_{182,192}G_{381}H_{140,147}I_{292}J_{264}K_{182}L_{287}M_{148,157}N_{178,187}O_{217}P_{145}Q_{163}R_{377}S_{176}T_{216}U_{248}$
Shuangya 12	$A_{323}B_{425}C_{207}D_{307}E_{406}F_{182,192}G_{388}H_{140,147}I_{292}J_{264}K_{173}L_{289}M_{155}N_{168,178}O_{205}P_{137}Q_{200}R_{377}S_{213}T_{214}U_{246}$

Note. Correspondence of letter designations and loci: A – Lin1; B – Lin2; C – Lin3; D – Lin4; E – Lin5; F – Lin6; G – Lin7; H—Lin8; I – Lin9; J – Lin10; K – Lin11; L – Lu17; M – Lu3; N – Lu28; O – Lu8; P—Flu7; Q – Flu8; R – Lu13; S – Flu25; T – Lu21; U – Lu23.

Специфичные аллели китайских сортов льна. В результате сравнения аллельных профилей китайских сортов и сортов из Госреестра РФ были обнаружены уникальные аллели, характерные исключительно для китайской выборки (таблица 6).

Генетические паспорта китайских сортов. В результате проведенного анализа по 21 микросателлитному локусу для каждого из шести исследованных китайских сортов льна были разработаны генетические паспорта. Для их составления применялся буквенно-цифровой метод, согласно которому каждому SSR-маркеру присваивается буква латинского алфавита, а размеры аллелей обозначаются подстрочным индексом. Такой формат записи удобен для визуального сопоставления генотипов и последующей автоматизированной обработки информации. Генетические паспорта китайских сортов льна представлены в таблице 5.

В исследованной выборке сорта льна Хэйя 15, Хэйя 17, Хэйя 20 и Шуанья 12 характеризуются наибольшим числом уникальных аллелей. Результаты анализа подтверждают наличие специфичных генетических вариантов в китайском генофонде льна, при этом дальнейшие исследования требуют расширения анализируемой выборки для оценки их видовой уникальности [21; 22].

Согласно результатам анализа молекулярной дисперсии (AMOVA), между китайскими сортами льна и сортами, включенными в Государственный реестр селекционных достижений РФ, наблюдается значимая межгрупповая разница. Ее доля составила 24 % ($p < 0{,}001$), что указывает на обособленность китайского генофонда льна относительно российского.

Таблица 6

Аллели, специфичные для исследованных китайских сортов льна

Локус	Специфичные аллели (п. н.)	Носители среди китайских сортов
Flu8	150	Хэйя 19
Flu8	163	Хэйя 15, Хэйя 17, Хэйя 20, Хэйя 21
Flu8	200	Шуанья 12
Lu13	205	Шуанья 12
Lu21	214	Хэйя 15, Хэйя 17, Хэйя 20, Шуанья 12

Table 6

Alleles specific to the studied Chinese varieties

Locus	*Specific alleles (b. p.)*	*Carriers among Chinese varieties*
Flu8	*150*	*Heiya 19*
Flu8	*163*	*Heiya 15, Heiya 17, Heiya 20, Heiya 21*
Flu8	*200*	*Shuangya 12*
Lu13	*205*	*Shuangya 12*
Lu21	*214*	*Heiya 15, Heiya 17, Heiya 20, Shuangya 12*

По результатам исследования можно сделать вывод, что китайские сорта льна могут стать ценным ресурсом в работе российских селекционеров благодаря своему уникальному генетическому материалу. Их четкое филогенетическое положение и высокая межгрупповая дифференциация говорят о том, что китайский и российский генофонды формировались независимо [23–25]. Сравнение данных SSR-анализа по некоторым маркерам с фенотипическими характеристиками позволило выявить генетическое родство ряда образцов типичного долгунцового фенотипа с масличными льнами. Это свидетельствует о том, что SSR-маркеры играют важную роль в выявлении закономерностей, неочевидных при фенотипическом анализе.

Генетические паспорта шести китайских сортов, сформированные в данном исследовании, имеют практическую ценность для последующих работ отечественных селекционеров. Молекулярные маркеры, на основе которых они созданы, позволяют однозначно идентифицировать образцы, контролировать процесс селекции на всех этапах и обеспечивать сохранение генетической чистоты линий. Разрабатываемые молекулярно-генетические характеристики направлены на упрощение процедуры регистрации новых селекционных достижений, где требуется объективность оценки и воспроизводимость данных.

Углубленный анализ генетического потенциала выявленных аллелей и их селекционной ценности требует проведения дальнейших исследований, включая ассоциативное картирование [26; 27]. Тем не менее, даже на данном этапе полученные результаты позволяют рассматривать китайские сорта льна как ценный источник генетического разнообразия для участия в российских селекционных программах для расширения генофонда культуры льна.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

SSR-анализ показал значимое генетическое отличие исследованных сортов китайской селекции от сортов льна, включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ. Для эффективной идентификации китайского генетического материала наиболее перспективными являются локусы Flu8, Lu13 и Lu21. Полученные результаты свидетельствуют о том, что китайские сорта можно использовать в качестве дополнительного источника ценных аллелей с целью расширения генетического разнообразия отечественной селекции льна.

Анализ полученных генетических данных ряда китайских сортов льна-долгунца выявил наличие маркеров, характерных для масличного льна.

Для каждого китайского сорта составлен генетический паспорт, который может быть полезен в селекционных программах и для подтверждения сортовой идентичности. Полученные данные свидетельствуют о том, что включение китайских сортов в селекционные программы способно обогатить генофонд российских сортов льна.

Библиографический список

1. Захарчук Д. Д., Болтовский В. С. Комплексная переработка льна с получением инновационной продукции (обзор) // Труды БГТУ. Серия 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. Т. 2, № 283. С. 77–91. DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-10.

2. Diederichsen A., Kusters P. M., Kessler D., et al. Assembling a core collection from the flax world collection maintained by Plant Gene Resources of Canada // Genetic Resources and Crop Evolution. 2013. Vol. 60, No. 4. Pp. 1479–1485. DOI: 10.1007/s10722-012-9936-1.

3. Xie D., Dai Z., Yang Z., et al. Genomic variations and association study of agronomic traits in flax // BMC Genomics. 2018. Vol. 19, No. 1. Article number 512. DOI: 10.1186/s12864-018-4899-z.

4. Kaur V., Singh M., Wankhede D. P., et al. Diversity of Linum genetic resources in global genebanks: from agro-morphological characterisation to novel genomic technologies – a review // Frontiers in Nutrition. 2023. Vol. 10. Article number 1165580. DOI: 10.3389/fnut.2023.1165580.

5. Павлов А. В., Брач Н. Б., Пороховинова Е. А., Кутузова С. Н. Образцы льна-долгунца китайской селекции как источники хозяйственно-ценных признаков // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2015. Т. 176, № 1. С. 68–75. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-68-75.

6. Hua K. Q., Yi S. Z., Sheng Q. C., et al. The study progress on breeding of flax and industrial hemp in China // Journal of Natural Fibers. 2024. Vol. 21, No. 1. Article number 2389159. DOI: 10.1080/15440478.2024.2389159.

7. Министерство сельского хозяйства и сельских дел Китайской Народной Республики [Электронный ресурс]. URL: https://www.moa.gov.cn/ (дата обращения: 16.03.2026).

8. Ji Y. R., Liu Y. F., Han C. W., et al. Breeding report of new fiber flax variety Shuangya No. 16 // Plant Fiber Sciences in China. 2012. Vol. 34, No. 3. Pp. 109–111.

9. Wang Y. F., Kang Q. H., Zhu X., et al. Advances in flax (*Linum usitatissimum* L.) breeding and biotechnology strategies // In: Breeding and Biotechnology of Grass and Bast Fiber Crops. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. Pp. 463–506. DOI: 10.1007/978-3-032-00403-1_10.

10. Dai Z. G., Yang Z. M., Chen J. Q., et al. Research progress of national infrastructure for bast fiber crop germplasm resources during the 12th five-year plan // Plant Fiber Sciences in China. 2017. Vol. 39, No. 6. Pp. 321–326.

11. Bickel C. L., Gadani S., Lukacs M., Cullis C. A. SSR markers developed for genetic mapping in flax (*Linum usitatissimum* L.) // Research and Reports in Biology. 2011. Vol. 2. Pp. 23–29. DOI: 10.2147/RRB.S16091.

12. Chen C., Liu Y. Genetic diversity and distinctness of flax (*Linum usitatissimum* L.) based on morphological and simple sequence repeat (SSR) markers // Genetic Resources and Crop Evolution. 2024. Vol. 71, No. 8. Pp. 4763–4777. DOI: 10.1007/s10722-024-01933-4.

13. Zhernova D. A., Pushkova E. N., Rozhmina T. A., et al. History and prospects of flax genetic markers // Frontiers in Plant Science. 2025. Vol. 15. Article number 1495069. DOI: 10.3389/fpls.2024.1495069.

14. Raut V. K., Ngangkham U., Yadav A., et al. Cross-species transferability and genetic diversity analysis in Linum species using microsatellite markers // Scientific Reports. 2026. Vol. 16. Article number 13358. DOI: 10.1038/s41598-026-42744-0.

15. Базанов Т. А., Ущаповский И. В., Рожмина Т. А. [и др.]. Молекулярная оценка генетической однородности линий льна методом SSR-анализа // Аграрная наука. 2025. Т. 401, № 12. С. 155–163. DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-155-163.

16. Базанов Т. А., Ущаповский И. В., Логинова Н. Н. [и др.]. Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (*Linum usitatissimum* L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184, № 1. С. 163–176. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-163-176.

17. Doyle J. J., Doyle J. L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue // Phytochemical Bulletin. 1987. Vol. 19. Pp. 11–15.

18. Nei M. Genetic distance between populations // American Naturalist. 1972. Vol. 106, No. 949. Pp. 283–292.

19. Paradis E., Schliep K. P. ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R // Bioinformatics. 2018. Vol. 35, No. 3. Pp. 526–528. DOI: 10.1093/bioinformatics/bty633.

20. Kamvar Z. N., Tabima J. F., Grünwald N. J. Poppr: an R package for genetic population structure and genetic diversity analysis // PeerJ. 2014. Vol. 2. Article number e281. DOI: 10.7717/peerj.281.

21. Zhang J., Long Y., Wang L., et al. Consensus genetic linkage map construction and QTL mapping for plant height-related traits in linseed flax (*Linum usitatissimum* L.) // BMC Plant Biology. 2018. Vol. 18, No. 1. Article number 160. DOI: 10.1186/s12870-018-1366-6.

22. Xie D., Dai Z., Yang Z., et al. Genome-wide association study identifying candidate genes influencing important agronomic traits of flax (*Linum usitatissimum* L.) using SLAF-seq // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 8. DOI: 10.3389/fpls. 2017.02232.

23. Рожмина Т. А., Мясникова А. В. Идентификация генов устойчивости к фузариозному увяданию у образцов льна масличного с различным жирнокислотным составом // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 6. С. 980–988. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.6.980-988.

24. Богдан В. З., Лемеш В. А., Богданова М. В. [и др.]. Генетическая паспортизация новых сортов льна-долгунца белорусской селекции с использованием молекулярных маркеров // Земледелие и растениеводство. 2021. № 6. С. 48–52.

25. Ахметшина А. О., Стрыгина К. В., Хлесткина Е. К. [и др.]. Высокопроизводительное секвенирование в генетике и селекции льна // Экологическая генетика. 2020. Т. 18, № 1. С. 103–124. DOI: 10.17816/ecogen16126.

26. Guo D., Jiang H., Yan W., et al. Resequencing 200 flax cultivated accessions identifies candidate genes related to seed size and weight and reveals signatures of artificial selection // Frontiers in Plant Science. 2020, Vol. 10. Article number 1682. DOI: 10.3389/fpls.2019.01682.

27. Kumar S., You F. M., Duguid S., et al. QTL for fatty acid composition and yield in linseed (*Linum usitatissimum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2015. Vol. 128, No. 5. Pp. 965–984. DOI: 10.1007/s00122-015-2483-3.

Об авторах:

Тарас Александрович Базанов, кандидат химических наук, заведующий лабораторией молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия; ORCID 0000-0001-9544-5528, AuthorID 166977. *E-mail: t.bazanov@fnclk.ru*

Игорь Валентинович Ущаповский, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, заместитель директора по науке, Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия; ORCID 0000-0002-0602-1211, AuthorID 103288. *E-mail: i.uschapovsky@fnclk.ru*

Наталья Николаевна Логинова, научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия; ORCID 0000-0003-4633-392X, AuthorID 1099174. *E-mail: n.loginova@fnclk.ru*

Екатерина Витальевна Минина, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия; ORCID 0000-0001-6559-9577, AuthorID 1060911. *E-mail: ev.smirnova@fnclk.ru*

Полина Дмитриевна Вересова, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции, Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия; ORCID 0000-0001-7797-2578, AuthorID 1062261. *E-mail: p.mikhaylova@fnclk.ru*

Гуанвэнь У, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Институт технических культур, Хэйлунцзянская академия сельскохозяйственных наук, Харбин, Китай; ORCID 0000-0002-7068-655X. *E-mail: wuguangwenflax@haas.cn*

References

1. Zakharchuk D. D., Boltovskiy V. S. Complex processing of flax with the production of innovative products (review). *Proceedings of BSTU. Series 2. Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*. 2024; 2 (283): 77–91. DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-10. (In Russ.)

2. Diederichsen A., Kusters P. M., Kessler D., et al. Assembling a core collection from the flax world collection maintained by Plant Gene Resources of Canada. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2013; 60 (4): 1479–1485. DOI: 10.1007/s10722-012-9936-1.

3. Xie D., Dai Z., Yang Z., et al. Genomic variations and association study of agronomic traits in flax. *BMC Genomics*. 2018; 19: 512. DOI: 10.1186/s12864-018-4899-z.

4. Kaur V., Singh M., Wankhede D. P., et al. Diversity of Linum genetic resources in global genebanks: from agro-morphological characterisation to novel genomic technologies – a review. *Frontiers in Nutrition*. 2023; 10: 1165580. DOI: 10.3389/fnut.2023.1165580.

5. Pavlov A. V., Brutch N. B., Porokhovinova E. A., Kutuzova S. N. Fiber flax accessions of Chinese breeding as sources of valuable agronomic characters. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2015; 176 (1): 68–75. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-68-75. (In Russ.)

6. Hua K. Q., Yi S. Z., Sheng Q. C., et al. The study progress on breeding of flax and industrial hemp in China. *Journal of Natural Fibers*. 2024; 21 (1): 2389159. DOI: 10.1080/15440478.2024.2389159.

7. *Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China* [Internet]. 2018 [cited 2026 Mar 16]. Available from: https://www.moa.gov.cn/.

8. Ji Y. R., Liu Y. F., Han C. W., et al. Breeding report of new fiber flax variety Shuangya No. 16. *Plant Fiber Sciences in China.* 2012; 34 (3): 109–111.

9. Wang Y. F., Kang Q. H., Zhu X., et al. Advances in flax (*Linum usitatissimum* L.) breeding and biotechnology strategies. In: *Breeding and Biotechnology of Grass and Bast Fiber Crops*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. Pp. 463–506. DOI: 10.1007/978-3-032-00403-1_10.

10. Dai Z. G., Yang Z. M., Chen J. Q., et al. Research progress of national infrastructure for bast fiber crop germplasm resources during the 12th Five-year plan. *Plant Fiber Sciences in China*. 2017; 39 (6): 321–326.

11. Bickel C. L., Gadani S., Lukacs M., Cullis C. A. SSR markers developed for genetic mapping in flax (*Linum usitatissimum* L.). *Research and Reports in Biology*. 2011; 2: 23–29. DOI: 10.2147/RRB.S16091.

12. Chen C., Liu Y. Genetic diversity and distinctness of flax (*Linum usitatissimum* L.) based on morphological and simple sequence repeat (SSR) markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024; 71 (8): 4763–4777. DOI: 10.1007/s10722-024-01933-4.

13. Zhernova D. A., Pushkova E. N., Rozhmina T. A., et al. History and prospects of flax genetic markers. *Frontiers in plant science.* 2025; 15: 1495069. DOI: 10.3389/fpls.2024.1495069.

14. Raut V. K., Ngangkham U., Yadav A., et al. Cross-species transferability and genetic diversity analysis in Linum species using microsatellite markers. *Scientific Reports.* 2026; 16: 13358 DOI: 10.1038/s41598-026-42744-0.

15. Bazanov T. A., Ushchapovskiy I. V., Rozhmina T. A., et al. Molecular assessment of genetic homogeneity of flax lines using SSR-analysis. *Agrarian Science*. 2025; 12: 155–163. DOI: 10.32634/0869-8155-2025-401-12-155-163. (In Russ.).

16. Bazanov T. A., Ushchapovskiy I. V., Loginova N. N., et al. Molecular genetic diversity of flax cultivars (*Linum usitatissimum* L.) represented in the State Register for Selection Achievements of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023; 184 (1): 163–176. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-163-176. (In Russ.)

17. Doyle J. J., Doyle J. L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin.* 1987; 19: 11–15.

18. Nei M. Genetic distance between populations. *American Naturalist.* 1972; 106 (949): 283–292.

19. Paradis E., Schliep K. P. ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. *Bioinformatics.* 2018; 35 (3): 526–528. DOI: 10.1093/bioinformatics/bty633.

20. Kamvar Z. N., Tabima J. F., Grünwald N. J. Poppr: an R package for genetic population structure and genetic diversity analysis. *PeerJ.* 2014; 2: e281. DOI: 10.7717/peerj.281.

21. Zhang J., Long Y., Wang L., et al. Consensus genetic linkage map construction and QTL mapping for plant height-related traits in linseed flax (*Linum usitatissimum* L.). *BMC Plant Biology.* 2018; 18 (1): 160. DOI: 10.1186/s12870-018-1366-6.

22. Xie D., Dai Z., Yang Z., et al. Genome-wide association study identifying candidate genes influencing important agronomic traits of flax (*Linum usitatissimum* L.) using SLAF-seq. *Frontiers in Plant Sciences.* 2018; 8. DOI: 10.3389/fpls.2017.02232.

23. Rozhmina T. A., Myasnikova A. V. Identification of resistance genes to Fusarium wilt in oil flax samples with different fatty acid composition. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24 (6): 980–988. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.6.980-988. (In Russ.)

24. Bogdan V. Z., Lemesh V. A., Bogdanova M. V., et al. Genetic passport system of Belarusian selection new fiber flax varieties with the use of molecular markers. *Crop Farming and Plant Growing*. 2021; 6: 48–52. (In Russ.).

25. Akhmetshina A., Strygina K., Khlestkina E., et al. High-throughput sequencing techniques to flax genetics and breeding. *Ecological Genetics*. 2020; 18 (1): 103–124. DOI: 10.17816/ecogen16126. (In Russ.)

26. Guo D., Jiang H., Yan W., et al. Resequencing 200 flax cultivated accessions identifies candidate genes related to seed size and weight and reveals signatures of artificial selection. *Frontiers in Plant Sciences*. 2020; 10: 1682. DOI: 10.3389/fpls.2019.01682.

27. Kumar S., You F. M., Duguid S., et al. QTL for fatty acid composition and yield in linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Theoretical and Applied Genetics.* 2015; 128 (5): 965–984. DOI: 10.1007/s00122-015-2483-3.

Authors' information:

Taras A. Bazanov, candidate of chemical science, head of the laboratory of the molecular-genetic researches and cell selection, leading researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia; ORCID 0000-0001-9544-5528, AuthorID 166977. *E-mail: t.bazanov@fnclk.ru*

Igor V. Ushchapovskiy, candidate of biological science, leading researcher of the laboratory of the molecular-genetic researches and cell selection, deputy director for science, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia; ORCID 0000-0002-0602-1211, AuthorID 103288. *E-mail: i.uschapovsky@fnclk.ru*

Natalya N. Loginova, researcher of the laboratory of the molecular-genetic researches and cell selection, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia; ORCID 0000-0003-4633-392X, AuthorID 1099174. *E-mail: n.loginova@fnclk.ru*

Ekaterina V. Minina, postgraduate, junior researcher of the laboratory of the molecular-genetic researches and cell selection, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia; ORCID 0000-0001-6559-9577, AuthorID 1060911. *E-mail: ev.smirnova@fnclk.ru*

Polina D. Veresova, junior researcher of the laboratory of the molecular-genetic researches and cell selection, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia; ORCID 0000-0001-7797-2578, AuthorID 1062261. *E-mail: p.mikhaylova@fnclk.ru*

Guangwen Wu, doctor of agricultural science, leading researcher, Institute of Industrial Crops, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, China; ORCID 0000-0002-7068-655X. *E-mail: wuguangwenflax@haas.cn*

УДК 635.657:631.527
Код ВАК 4.1.2
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1873-1884

Элементы структуры урожая коллекционного материала нута на Нижнем Дону

Р. А. Гуленок[1]✉, **А. А. Козлов**[1], **И. В. Сеферова**[2]
[1] Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия
[2] Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия
✉*E-mail: rozaliya.gulenok@mail.ru*

Аннотация. **Цель исследования** – изучить коллекционный материал нута по основным элементам структуры урожая в условиях Ростовской области, выделить генотипы, перспективные для использования в качестве родительских компонентов для гибридизации. **Материал и методы.** Объектом исследований являлся коллекционный материал нута, в том числе 20 сортов из коллекции ВИР им. Н. И. Вавилова и 8 образцов, выделенных индивидуальным отбором. Полевые опыты закладывались в Аксайском районе Ростовской области в 2019–2021 гг. При выполнении работ придерживались методики государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур и рекомендуемой зональной агротехники. **Научная новизна.** Для условий Нижнего Дона выделены высокопродуктивные коллекционные генотипы нута с различными значениями основных элементов структуры урожая. Изучена сила корреляционных связей между ними в условиях разных лет. **Результаты.** Наибольшее количество бобов наблюдалось у сортов Вектор, Волгоградский 10, Краснокутский 28 и Заволжский (28,0–29,2 шт.). Наибольшая масса 1000 зерен установлена у образцов а3 (502,6 г) и а1 (465,7 г), высокий уровень признака отмечен у генотипов а8, Зоовит, а5, а7, Галилео, Бонус, Триумф, Сфера и Волжанин 50 (306,3–380,4 г). Количество зерен на одном растении достигало наибольших значений у сортов Аватар, Заволжский, Волгоградский 10, Вектор и Краснокутский 36 (33,0–35,9 шт.). Наибольшая масса зерна с одного растения отмечена у генотипов а8, Заволжский, Галилео, Аватар, Краснокутский 123, Сфера, Розанна, а5, Бонус, а3, Триумф и а7 (8,4–10,6 г). Корреляционные связи между продуктивностью растения и элементами структуры урожая сильно колеблются в зависимости от условий года, поэтому наиболее оправданной для выделения лучших генотипов представляется оценка массы зерна с растения.

Ключевые слова: нут, *Cicer arietinum*, коллекция, генотип, элементы структуры урожая, продуктивность, корреляция

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическим планам по проектам № FNFZ-2024-0001 «Оценить перспективы использования коллекционного материала зерновых и зернобобовых культур для селекции в условиях Нижнего Дона» (ФГБНУ ФРАНЦ) и № FGEM-2022-0002 «Выявление возможностей генофонда бобовых культур для оптимизации их селекции и диверсификации использования в различных отраслях народного хозяйства» (ФИЦ ВИР).

Для цитирования: Гуленок Р. А., Козлов А. А., Сеферова И. В. Элементы структуры урожая коллекционного материала нута на Нижнем Дону // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1873–1884. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1873-1884.

Дата поступления статьи: 18.12.2024, ***дата рецензирования:*** 13.03.2026, ***дата принятия:*** 29.05.2026.

© Gulenok R. A., Kozlov A. A., Seferova I. V., 2026

Yield structure elements of the chickpea germplasm on the Lower Don

R. A. Gulenok[1]✉, **A. A. Kozlov**[1], **I. V. Seferova**[2]
[1] Federal Rostov Agrarian Research Center, Rassvet settlement, Rostov region, Russia
[2] Federal Research Center "N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)", Saint Petersburg, Russia
✉*E-mail: rozaliya.gulenok@mail.ru*

Abstract. **The purpose** of this study is to screening the collection material of chickpeas by the basic yield structure elements in the conditions of the Rostov region, to identify genotypes that are perspective for use as parental components for hybridization. **Material and methods.** The object of the research was the collection genotypes of chickpea, including 20 varieties from the collection of the VIR and 8 samples was selected by individual selection. Field experiments were carried out in the Aksay district of the Rostov region in 2019–2021. **Scientific novelty.** Highly productive chickpea genotypes with different values of the main yield structure elements have been identified in the conditions of the Lower Don. The strength of the correlation links between them has been researched. **Results.** The highest amount pods per plant was observed in the varieties Vektor, Volgogradskiy 10, Krasnokutskiy 28 and Zavolzhskiy (28.0–29.2 pcs.). The highest 1000 seed weight was found in samples a3 (502.6 g) and a1 (465.7 g). The amount seed per plant was reached the highest values in the varieties Avatar, Zavolzhskiy, Volgogradskiy 10, Vektor and Krasnokutskiy 36 (33.0–35.9 pcs.). The highest seed weight per plant was observed in genotypes a8, Zavolzhskiy, Galileo, Avatar, Krasnokutskiy 123, Sfera, Rozanna, a5, Bonus, a3, Triumf and a7 (8.4–10.6 g). Correlation links between plant productivity and elements of the yield structure vary greatly depending on the conditions of the year. Therefore, the most justified method for identifying the best genotypes is to estimate the grain weight per plant.

Keywords: chickpea, *Cicer arietinum*, collection, germplasm, genotype, yield structure elements, productivity, correlation

Acknowledgments. This study was carried out within the framework of the state assignment in accordance with the thematic plans for projects No. FNFZ-2024-0001 "Assessing the prospects of using collection material of cereal and grain legume crops for breeding under Lower Don conditions" (FGBNU FRARTS) and No. FGEM-2022-0002 "Identifying the potential of the legume gene pool to optimize breeding and diversify utilization across various sectors of the national economy" (FRC VIR).

For citation: Gulenok R. A., Kozlov A. A., Seferova I. V. Yield structure elements of the chickpea germplasm on the Lower Don. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1873–1884. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1873-1884. (In Russ.)

Date of paper submission: 18.12.2024, ***date of review:*** 13.03.2026, ***date of acceptance:*** 29.05.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Нут – древнейшая культура, которая играет существенную роль в обеспечении продовольствием отдельных регионов, велико его значение в обеспечении благосостояния в обществах, сохранивших традиционный уклад жизни [1]. Помимо привычного использования зерна нута в кулинарии, имеется огромный потенциал для его переработки методами промышленной биотехнологии для выделения концентратов и изолятов нутового белка, модификации белков нута, использования побочных продуктов его переработки [2]. Зерно нута – источник ценных биологически активных веществ и незаменимых жирных кислот [3]. Все это наряду с высокими агрономическими качествами нута служит предпосылками для увеличения роста посевных площадей этой культуры, роста валовых сборов зерна нута для удовлетворения собственных потребностей России в растительном белке и наращивания экспорта зерна нута. Для оптимизации производства нута необходима постоянная селекционная работа, позволяющая создавать все более продуктивные сорта, адаптированные к конкретным условиям выращивания.

Нут возделывается преимущественно в засушливых условиях, зачастую характеризующихся не только недостаточным количеством осадков, но и непостоянством их выпадения. Это обстоятельство существенно ограничивает прогнозирование урожайности зерна нута и составление математических

© Гуленок Р. А., Козлов А. А., Сеферова И. В., 2026

моделей. На первые позиции выходит адаптация как новая цель в селекции нута [4]. Важнейшим механизмом адаптации растений к действию условий окружающей среды и агрономических факторов является модификационная изменчивость элементов структуры урожая. Примерами могут служить увеличение количества бобов и продуктивности растения при уменьшении густоты стеблестоя нута [5], увеличение крупности зерна нута при ранних сроках сева [6; 7], острая реакция элементов структуры урожая нута на условия межвидовой конкуренции [8]. Неотъемлемой частью селекционной работы является анализ элементов структуры урожая и других показателей у такого материала, как сорта, ландрасы и селекционные линии, с последующим выделением источников целевых признаков [9].

Среди элементов структуры урожая нута первостепенное значение имеет количество завязавшихся на растении бобов. Нут во время цветения довольно уязвим для неблагоприятных метеорологических условий. При выпадении большого количества осадков, прохладной, влажной и пасмурной погоде происходят опадение цветков, аборт бобов и, как следствие, снижение урожая зерна [10; 11]. Высокие температуры также приводят к аборту бобов и потере урожая [12]. Количество бобов на растении в ряду других элементов структуры урожая отличается высокой наследуемостью [13], наиболее тесно связано с массой зерна с растения [14; 15] и урожайностью [16]. Поэтому количество бобов на растении используется как критерий отбора высокоурожайных генотипов, устойчивых к различным стрессорам [17].

Очень важным элементом структуры урожая является крупность зерна, влияние которой на урожайность слабее, чем количества бобов [18], однако она во многом определяет стоимость нута, так как для товарных партий желательной является масса 1000 зерен не менее 350 г [19].

Масса 1000 зерен нута – полигенно наследуемый признак [20], характеризующийся высокой наследуемостью [21] и в большей степени зависящий от генотипа, чем другие признаки [22; 23]. Но нужно принимать во внимание, что крупнозерные сорта зачастую низкорослые и имеют раскидистую форму куста [24], что может затруднять их механизированную уборку.

Влияние окружающей среды на величины элементов структуры урожая в большинстве случаев превалирует над наследственными факторами [25]. Разнообразие и непостоянство действия факторов внешней среды побуждают вести изучение селекционного материала в местных агроклиматических условиях, оценивать характер связей между хозяйственно-биологическими признаками и свойствами, вести поиск генотипов, эффективно сочетающих комплекс позитивных качеств. Цель настоящего исследования – изучить коллекционный материал нута по основным элементам структуры урожая в условиях Ростовской области, выделить генотипы, перспективные для использования в качестве родительских компонентов для гибридизации.

Методология и методы исследования (Methods)

Коллекционный питомник высевался в 2019–2021 годах на поле ФГБНУ ФРАНЦ в п. Рассвет Аксайского района Ростовской области. Материал исследований включал 28 генотипов нута. Из них 20 сортов были получены из коллекции ВИР: Приво 1, Волгоградский 10, Волжанин 50 (Волгоградская область), Вектор, Заволжский, Золотой юбилей, Краснокутский 123, Краснокутский 28, Краснокутский 36, Юбилейный, Бонус, Галилео, Сокол, Сфера, Шарик, Зоовит (Саратовская область), Донплаза (Ростовская область), Аватар (Орловская область), Розанна (Одесская область, Украина) и Триумф (совместной селекции учреждений Одесской области и Ставропольского края). Также коллекция включала образцы а1–а8, полученные в ФГБНУ ФРАНЦ индивидуальным отбором из товарных партий зерна.

Учеты, оценки и наблюдения выполняли согласно методике ГСИ[1], [2], элементы агротехники приближены к рекомендуемым зональным[3]. Посев проводился ручной сеялкой «Клен-1» рядового порционного высева. В первый год исследований ввиду ограниченности количества семян опыт закладывался на однорядковых делянках метровой длины семенами, полученными из ВИР. Во второй и третий год делянки были пятирядковые, посев выполнялся семенами собственной репродукции. Ширина междурядья – 30 см, межделяночное расстояние – 60 см. Норма высева – 20 зерен на рядок. Во все годы опыт закладывался в двукратной повторности. Уборка выполнялась снопами, структурный анализ осуществлялся после досушивания снопов с последующим обмолотом на молотилке МТПУ-500. Для взвешивания использовали электронные весы OHAUS SJX1502. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена по общепринятым методикам с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel[4], [5].

[1] Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / М. А. Федин [и др.]. Вып. 1. Общая часть. М., 1985. 270 с.

[2] Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / М. А. Федин [и др.]. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 270 с.

[3] Зональные системы земледелия Ростовской области 2022–2026 гг. / Подгот. А. И. Клименко [и др.]. Ростов н/Д.: Кн. изд-во, 2022. 734 с.

[4] Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск: Выщ. шк., 1973. 320 с.

[5] Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., доп. и перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.

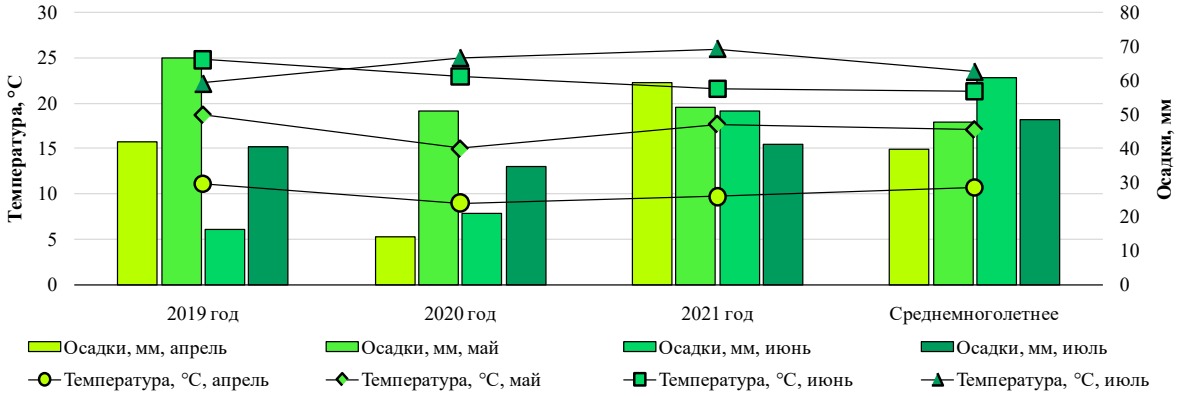


Рис. 1. Метеорологические условия вегетационного периода нута, п. Рассвет Ростовской области, 2019–2021 гг.

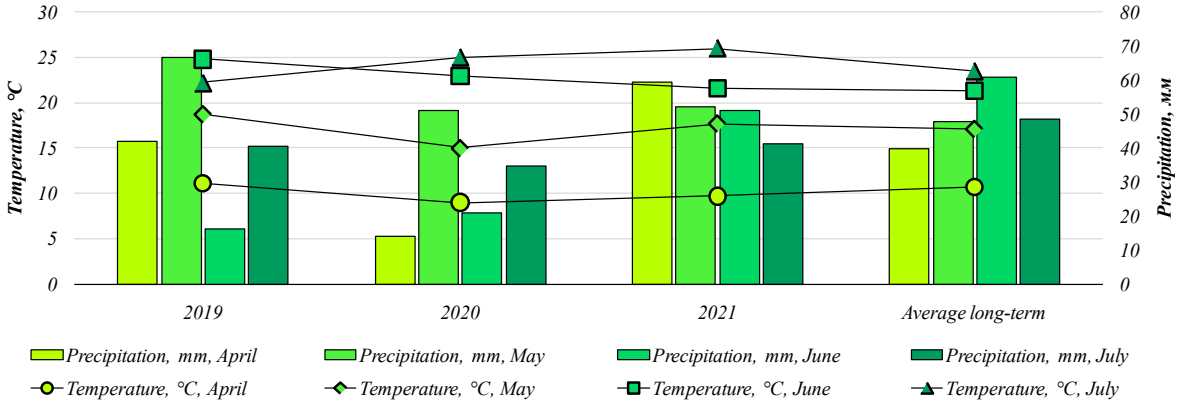


Fig. 1. Meteorological conditions the vegetation period of the chickpeas, Rassvet settlement, Rostov region, 2019–2021

Метеорологические условия сезонов исследований разнились (рис. 1). В 2019 году температуры апреля – июня превышали среднемноголетние значения. Температурный режим 2020 и 2021 годов ближе к среднемноголетним нормам, отличаясь чуть более прохладной весной и жарким летом.

Наиболее благоприятные по влагообеспеченности условия сложились в 2021 году: сумма осадков апреля – июля составила 203,8 мм против 197,1 мм среднемноголетних при довольно равномерном их распределении по месяцам; наименее благоприятные – в 2020 году: сумма осадков апреля – июля составила 120,8 мм. Параметры увлажнения 2019 года были удовлетворительны, обильные весенние осадки способствовали получению дружных всходов и начальному росту растений.

Результаты (Results)

Количество бобов на одном растении находится в зависимости как от наследственных качеств сорта, так и от условий внешней среды за период вегетации нута. В среднем за три года в наборе изученных сортов оно составляло 23,8 шт. (таблица 1) и, сильно завися от влагообеспеченности, варьировало от 12,8 шт. в 2020 году до 33,2 в 2021 году. Изученный коллекционный материал оказался довольно разнообразен по обсуждаемому показателю, размах варьирования которого в среднем за три года составил 16,2–29,2 шт. Распределение генотипов характеризуется левосторонней асимметрией, большинство образцов коллекции сосредоточено в классовых интервалах 20,6–27,0 шт. (рис. 2). Высокая завязываемость бобов отмечена у сортов Вектор (29,2 шт.), Волгоградский 10 (28,9 шт.), Краснокутский 28 (28,5 шт.) и Заволжский (28,0 шт.). Самые низкие значения – у крупносемянных образцов а3 (16,2 шт.) и а1 (16,7 шт.).

Количество зерен в бобе мало различалось в условиях разных лет. Наибольшая разница между средними по набору сортов значениями составила 0,11 зерна в бобе. Изученная коллекция обладает наименьшим разнообразием именно по количеству зерен в бобе (рис. 2): средний за три года коэффициент вариации составил 8,4 %. В условиях недостаточного увлажнения материал нута оказался лучше дифференцирован (11,2 %) по обсуждаемому признаку, чем в благоприятный по влагообеспеченности год (7,5 %). Безусловным лидером по озерненности боба является сорт орловской селекции Аватар (1,42 зерна в бобе). Высокие значения показателя отмечены у сортов Заволжский (1,26 шт.), Шарик (1,26 шт.) и Золотой юбилей (1,23 шт.). Наименьшее количество зерен в бобе наблюдалось у образцов а1 (0,97 шт.), Триумф (0,98 шт.), Волжанин 50 (1,02 шт.) и Краснокутский 28 (1,04 шт.). Значения ниже единицы объясняются тем, что во время снопового анализа с целью лучшего понима-

ния процесса формирования урожая учитывались как бобы полностью без семян, так и бобы с абортивными семенами. Наибольшее количество таких бобов наблюдалось у крупносемянного образца а1 в 2020 году при 0,83 зерен в бобе.

Масса 1000 зерен по изученному набору сортов составила 288,6 г, достигая 311,4 г в условиях хорошей влагообеспеченности (таблица 2). Распределение генотипов коллекции асимметрично, основное количество генотипов преимущественно принадлежит классовым интервалам 204,3–254,0 и 303,8–353,5 г (рис. 2). Наиболее крупное зерно формировали образцы а3 (502,6 г) и а1 (465,7 г) (рис. 3). Масса 1000 зерен свыше 300 г в среднем за три года отмечена у сортов и образцов коллекции а8 (380,4 г), Зоовит (346,5 г), а5 (338,5 г), а7 (337,0 г), Галилео (334,5 г), Бонус (331,4 г), Триумф (328,9 г), Сфера (310,3 г) и Волжанин 50 (306,3 г). Самое мелкое зерно у генотипов Краснокутский 28 (204,3 г), а4 (215,3 г) и Приво 1 (219,2 г).

Таблица 1

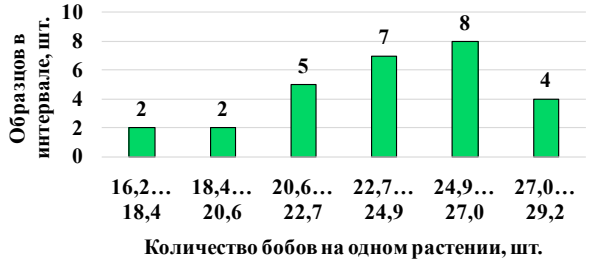
Характеристика коллекционного материала нута по зерновой продуктивности бобов, 2019–2021 гг.

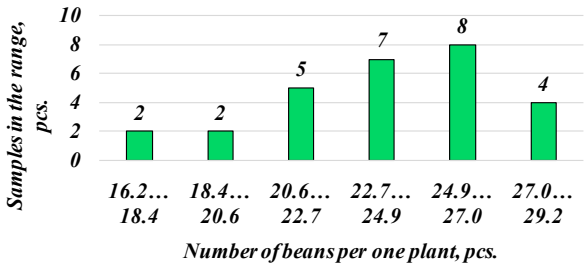
Год	Величина	Количество бобов на одном растении, шт.	Количество зерен в бобе, шт.	Масса зерен в бобе, г
2019	**Среднее**	**25,5**	**1,12**	**0,30**
	Минимум	14,0	0,92	0,17
	Максимум	34,8	1,45	0,52
	Коэффициент вариации, %	20,3	9,5	26,1
2020	**Среднее**	**12,8**	**1,10**	**0,30**
	Минимум	8,4	0,83	0,20
	Максимум	25,0	1,36	0,49
	Коэффициент вариации, %	29,7	11,2	23,2
2021	**Среднее**	**33,2**	**1,21**	**0,37**
	Минимум	22,8	1,08	0,27
	Максимум	45,1	1,45	0,55
	Коэффициент вариации, %	18,3	7,5	18,7
Среднее за три года	**Среднее**	**23,8**	**1,14**	**0,33**
	Минимум	16,2	0,97	0,21
	Максимум	29,2	1,42	0,52
	Коэффициент вариации, %	14,4	8,4	21,4

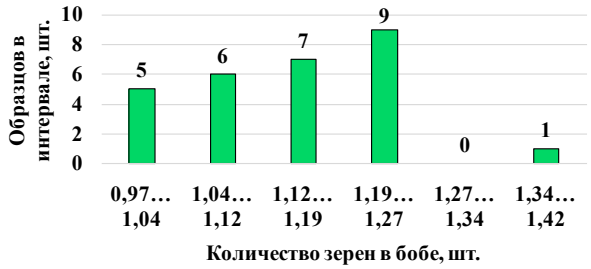
Table 1

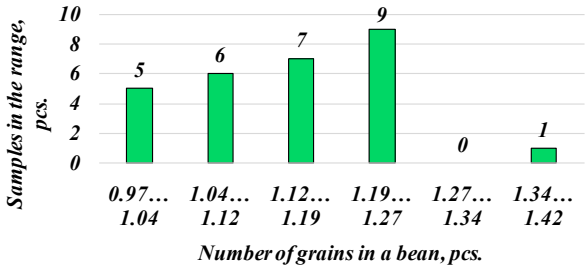
Characteristics genotypes of chickpea germplasm by grain yield of beans, 2019-2021

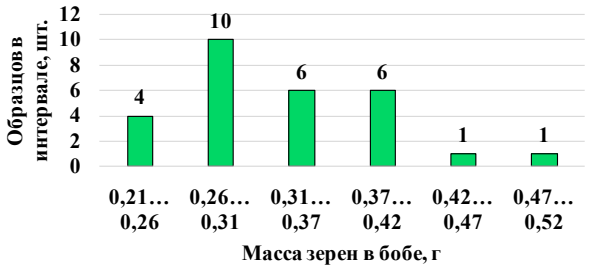
Year	*Value*	*Number of beans per one plant, pcs.*	*Number of grains in a bean, pcs.*	*Weight of grains in a bean, g*
2019	***Average***	***25.5***	***1.12***	***0.30***
	Minimum	*14.0*	*0.92*	*0.17*
	Maximum	*34.8*	*1.45*	*0.52*
	Coefficient of variation, %	*20.3*	*9.5*	*26.1*
2020	***Average***	***12.8***	***1.10***	***0.30***
	Minimum	*8.4*	*0.83*	*0.20*
	Maximum	*25.0*	*1.36*	*0.49*
	Coefficient of variation, %	*29.7*	*11.2*	*23.2*
2021	***Average***	***33.2***	***1.21***	***0.37***
	Minimum	*22.8*	*1.08*	*0.27*
	Maximum	*45.1*	*1.45*	*0.55*
	Coefficient of variation, %	*18.3*	*7.5*	*18.7*
Three-year average	***Average***	***23.8***	***1.14***	***0.33***
	Minimum	*16.2*	*0.97*	*0.21*
	Maximum	*29.2*	*1.42*	*0.52*
	Coefficient of variation, %	*14.4*	*8.4*	*21.4*

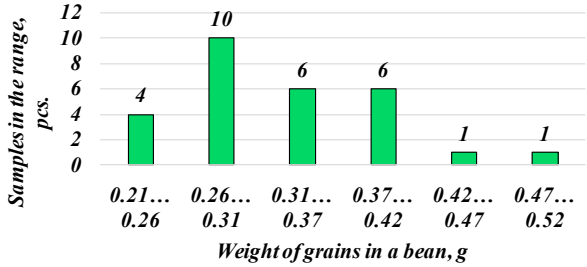


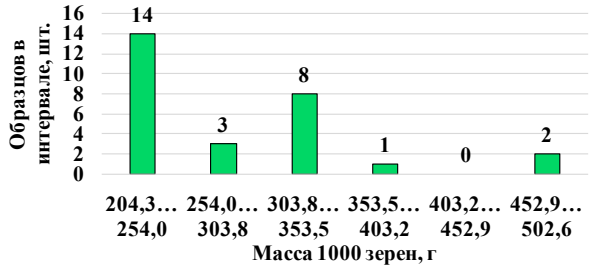


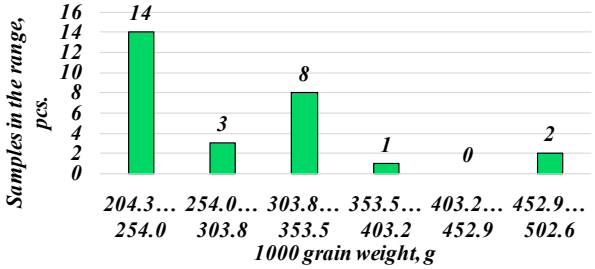


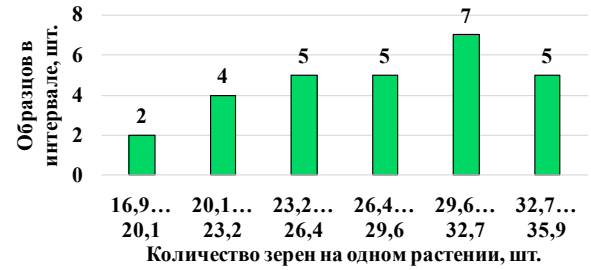


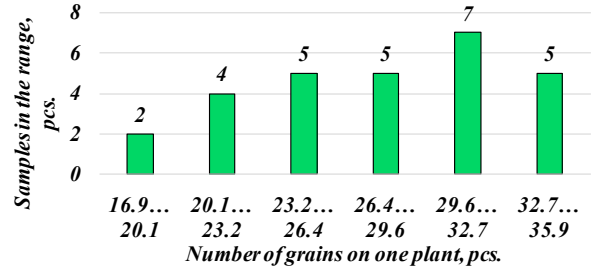


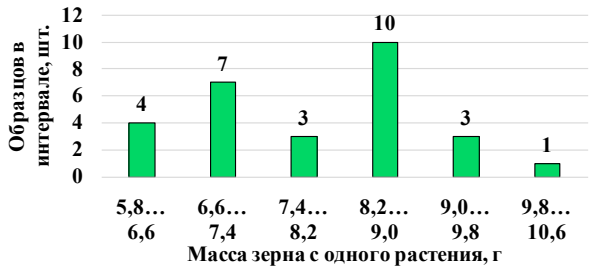












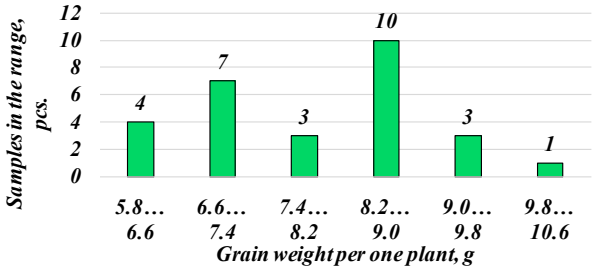


Рис. 2. Характер распределения генотипов нута по средним за три года значениям продукционных признаков, 2019–2021 гг.

Fig. 2. Character the distribution of chickpea genotypes by the three-years average values of yield traits, 2019–2021

Таблица 2

Характеристика коллекционного материала нута по зерновой продуктивности растений, 2019–2021 гг.

Год	Величина	Масса 1000 зерен, г	Количество зерен на одном растении, шт.	Масса зерна с одного растения, г
2019	**Среднее**	**275,8**	**28,5**	**7,5**
	Минимум	171,9	14,4	5,0
	Максимум	508,1	41,0	9,9
	Коэффициент вариации, %	30,0	21,9	18,4
2020	**Среднее**	**278,7**	**14,2**	**3,8**
	Минимум	199,4	7,1	2,2
	Максимум	505,6	34,0	8,1
	Коэффициент вариации, %	29,4	38,5	34,5
2021	**Среднее**	**311,4**	**40,3**	**12,2**
	Минимум	236,6	28,2	8,7
	Максимум	494,2	57,7	18,9
	Коэффициент вариации, %	20,6	20,5	17,8
Среднее за три года	**Среднее**	**288,6**	**27,7**	**7,8**
	Минимум	204,3	16,9	5,8
	Максимум	502,6	35,9	10,6
	Коэффициент вариации, %	25,7	18,5	14,8

Table 2

Characteristics genotypes of chickpea germplasm by grain yield of plants, 2019–2021

Year	*Value*	*1000 grain weight, g*	*Number of grains on one plant, pcs.*	*Grain weight per one plant, g*
2019	***Average***	***275.8***	***28.5***	***7.5***
	Minimum	*171.9*	*14.4*	*5.0*
	Maximum	*508.1*	*41.0*	*9.9*
	Coefficient of variation, %	*30.0*	*21.9*	*18.4*
2020	***Average***	***278.7***	***14.2***	***3.8***
	Minimum	*199.4*	*7.1*	*2.2*
	Maximum	*505.6*	*34.0*	*8.1*
	Coefficient of variation, %	*29.4*	*38.5*	*34.5*
2021	***Average***	***311.4***	***40.3***	***12.2***
	Minimum	*236.6*	*28.2*	*8.7*
	Maximum	*494.2*	*57.7*	*18.9*
	Coefficient of variation, %	*20.6*	*20.5*	*17.8*
Three-year average	***Average***	***288.6***	***27.7***	***7.8***
	Minimum	*204.3*	*16.9*	*5.8*
	Maximum	*502.6*	*35.9*	*10.6*
	Coefficient of variation, %	*25.7*	*18.5*	*14.8*

Масса зерен в бобе в среднем за три года исследований составила 0,33 г, достигая 0,37 г в благоприятный год. Распределение генотипов коллекции правостороннее, основное их количество сосредоточено в интервале значений 0,21–0,42 г (рис. 2). По этому признаку лидируют крупносеменные образцы а3 (0,52 г) и а1 (0,45 г), а также а8 (0,41 г) и а5 (0,40 г). Среди районированных сортов наиболее высокими значениями обладают Зоовит (0,41 г), Бонус (0,39 г), Галилео (0,38 г), Аватар (0,36 г) и Сфера (0,35 г). Наиболее низкая зерновая продуктивность боба у образцов коллекции Краснокутский 28 (0,21 г), а4 (0,23 г), Юбилейный (0,26 г), Приво 1 (0,26 г) и а6 (0,26 г).

Количество зерен на одном растении резко колебалось в условиях разных лет: от 14,2 шт. в засушливых условиях до 40,3 шт. в благоприятных. Распределение генотипов коллекции левостороннее и довольно равномерное (рис. 2). Наибольшее количество зерен формируют сорта Аватар (35,9 шт.), Заволжский (35,6 шт.), Волгоградский 10 (35,2 шт.), Вектор (33,4 шт.) и Краснокутский 36 (33,0 шт.). Аутсайдерами, завязавшими наименьшее количество зерен, оказались крупносемянные образцы а1 (16,9 шт.) и а3 (17,3 шт.).

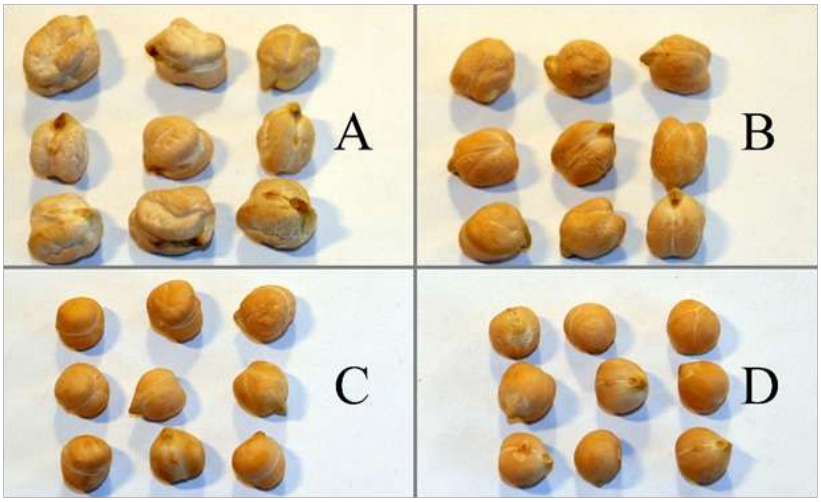


Рис. 3. Зерно нута с различной массой 1000 зерен:
A – а3 (494,2 г), B – Триумф (408,0 г), C – Шарик (257,1 г), D – Приво 1 (250,2 г), 2021 г.
Fig. 3. Chickpea grains with a different weight of 1000 grain:
A – a3 (494.2 g), B – Triumf (408.0 g), C – Sharik (257.1 g), D – Privo 1 (250.2 g), 2021

Таблица 3

Коэффициенты корреляции элементов структуры урожая с массой зерна с одного растения у нута, 2019–2021 гг.

Коррелирующий признак	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Трехлетнее
Количество бобов на одном растении, шт.	0,35 0,39*	0,80* 0,53*	0,56* 0,42*	0,18 0,18
Количество зерен в бобе, шт.	–0,01 0,11	0,32 0,08	0,15 0,16	0,23 0,24
Масса зерен в бобе, г	0,44* 0,55*	0,44* 0,66*	0,37 0,41*	0,57* 0,65*
Масса 1000 зерен, г	0,40* 0,57*	0,22 0,57*	0,30 0,32	0,41* 0,54*
Количество зерен на одном растении, шт.	0,30 0,31	0,80* 0,40*	0,55* 0,46*	0,25 0,24

*Примечание. * Корреляция значима при p < 0,05. В числителе показан коэффициент линейной корреляции Пирсона (r), в знаменателе – коэффициент ранговой корреляции Спирмена (R).*

Table 3

Correlation coefficients of yield structure elements with grain weight per one plant in the chickpeas, 2019–2021

Correlating trait	*2019*	*2020*	*2021*	*Three-year*
Number of beans per one plant, pcs.	*0.35* *0.39**	*0.80** *0.53**	*0.56** *0.42**	*0.18* *0.18*
Number of grains in a bean, pcs.	*–0.01* *0.11*	*0.32* *0.08*	*0.15* *0.16*	*0.23* *0.24*
Weight of grains in a bean, g	*0.44** *0.55**	*0.44** *0.66**	*0.37* *0.41**	*0.57** *0.65**
1000 grain weight, g	*0.40** *0.57**	*0.22* *0.57**	*0.30* *0.32*	*0.41** *0.54**
Number of grains on one plant, pcs.	*0.30* *0.31*	*0.80** *0.40**	*0.55** *0.46**	*0.25* *0.24*

*Note. 1. * Correlations are significant at p < 0.05. Pearson linear correlation coefficient (r) shown at the top, and at the bottom – Spearman rank correlation coefficient (R).*

Масса зерна с одного растения сильно подвержена действию условий внешней среды, о чем свидетельствует практически трехкратное различие показателя в засушливых и благоприятных условиях. Характер распределения генотипов коллекции бимодальный, с наибольшим количеством образцов в диапазонах значений 6,6–7,4 г и 8,2–9,0 г (рис. 2). Наибольшая зерновая продуктивность растений отмечена у генотипов а8 (10,6 г), Заволжский (9,4 г), Галилео (9,1 г), Аватар (9,0 г), Краснокутский 123 (9,0 г), Сфера (8,7 г), Розанна (8,7 г), а5 (8,6 г), Бонус (8,5 г), а3 (8,4 г), Триумф (8,4 г) и а7 (8,4 г). Об-

ращает на себя внимание разный вклад, вносимый элементами структуры урожая в формирование результирующего признака. К примеру, у образца а3 решающую роль играет высокая масса 1000 зерен (502,6 г), в свою очередь, определяющая высокую продуктивность боба (0,52 г), и даже при небольшом количестве бобов (16,2 шт.) продуктивность растения находится на довольно высоком уровне (8,4 г). В противоположность ему можно привести сорт Аватар со сравнительно невысокой массой 1000 зерен (251,9 г) при сравнительно большом количестве (25,3 шт.) хорошо озерненных бобов (1,42 шт.), демонстрирующий сопоставимый уровень продуктивности растения (9,0 г). У образца а8, лидирующего по массе зерна с растения (10,6 г), соотношение элементов структуры урожая достаточно гармонично, за исключением довольно малого количества зерен в бобе (1,08 шт.), что вполне компенсируется их крупностью (380,4 г).

Кроме оценки элементов структуры урожайности, были изучены и другие признаки, варьирующие в следующих пределах (по средним за три года значениям): высота растений – от 38,9 до 54,2 см, высота прикрепления нижнего боба – от 22,0 до 34,7 см, масса соломы с одного растения – от 5,7 до 10,9 г, уборочный индекс – от 38,2 до 55,6 %.

По средним за три года исследований показателям количество бобов на одном растении довольно тесно коррелирует с высотой растения (r = 0,52) и массой соломы с растения (r = 0,60). Влияние количества бобов на растении на его зерновую продуктивность непостоянно по годам, связь наиболее сильна в условиях недостаточного увлажнения 2020 года (таблица 3).

Количество зерен в бобе находится в положительной связи с высотой растения (r = 0,47) и количеством бобов на растении (r = 0,43). Влияние озерненности боба на зерновую продуктивность растений слабое (r = 0,23), что может указывать не на малозначимость этого признака в формировании урожая, а на ограниченное по нему разнообразие изученного материала, не позволяющее оценить его влияние.

Согласно трехлетним данным, масса 1000 зерен нута отрицательно коррелирует с высотой растений (r = –0,67), высотой прикрепления нижнего боба (r = –0,62) и положительно – с уборочным индексом (r = 0,52). Иными словами, в пределах изученной коллекции самые крупносемянные образцы нута – компактные, короткостебельные, со сравнительно низким прикреплением нижних бобов. Масса 1000 зерен отрицательно коррелирует с количеством бобов (r = –0,74) и зерен (r = –0,74) на растении и с количеством зерен в бобе (r = –0,49). Очень сильна роль признака в формировании массы зерна в бобе (r = 0,94).

Поскольку в аспекте экономической эффективности производства зерна нута, помимо урожайности генотипа, значительная роль принадлежит крупности зерна, особый интерес представляет характер связи этих признаков. Связь массы 1000 зерен и массы зерна с одного растения довольно слаба и непостоянна по годам (таблица 3). При этом выделились генотипы, эффективно сочетающие оба признака. Таковыми образцами, формирующими на растении не менее 8,4 г зерна с крупностью не ниже 328,9 г, являются а5, а7, Галилео, Бонус и Триумф. Особенно ценен в этом смысле образец а8 с зерновой продуктивностью растения 10,6 г и массой 1000 зерен 380,4 г.

Масса зерен в бобе отрицательно коррелирует с высотой растений (r = –0,58) и высотой прикрепления нижнего боба (r = –0,56), количеством бобов (r = –0,68) и зерен (r = –0,56) на растении. Положительная связь установлена с уборочным индексом (r = 0,62). Влияние признака на зерновую продуктивность растения (при рассмотрении по трехлетним данным) средней силы, но не столь выраженное в отдельные годы (таблица 3).

Количество зерен на одном растении находится в положительной зависимости от высоты растения (r = 0,58), высоты прикрепления нижнего боба (r = 0,39), количества бобов на растении (r = 0,91), массы соломы с растения (r = 0,53), количества зерен в бобе (r = 0,75). Довольно сильна отрицательная связь с массой 1000 зерен (r = –0,74). Связь с зерновой продуктивностью крайне непостоянна в условиях разных лет: колеблется от слабой в 2019 году до сильной линейной зависимости в 2020 году.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Изучение коллекции нута в 2019–2021 годах позволило выявить образцы, ценные по фенотипическому уровню элементов структуры урожая. Хорошей завязываемостью бобов (выше 28,0 шт.) отличаются сорта Вектор, Волгоградский 10, Краснокутский 28 и Заволжский. Высокая озерненность боба (свыше 1,23 шт.) отмечена у сортов Аватар, Заволжский, Шарик и Золотой юбилей. Масса 1000 зерен, не только являющаяся элементом структуры урожая, но и влияющая на закупочные цены зерна нута, наиболее высока у образцов а3 и а1 (превышает 465 г). По продуктивности боба лидируют крупнозерные образцы а3 и а1, формирующие более 0,45 г зерна в бобе. Количество зерен на растении было наибольшим у сортов Аватар, Заволжский, Волгоградский 10, Вектор и Краснокутский 36, завязывающих не менее 33,0 зерен. Наиболее продуктивны образцы коллекции а8, Заволжский, Галилео, Аватар, Краснокутский 123, Сфера, Розанна, а5, Бонус, а3, Триумф и а7, формирующие более 8,4 г зерна с растения.

Отсутствие четких и постоянных в условиях разных лет корреляционных зависимостей зерновой продуктивности растения с элементами структуры урожая, ее составляющими, не позволяет установить конкретный маркер продуктивности генотипа. В этой ситуации в качестве такового при проведении отборов и браковок наиболее целесообразным представляется использование непосредственно массы зерна с растения.

Полученные в результате исследования знания представляют интерес при подборе родительских компонентов для гибридизации и создания нового селекционного материала нута. Перспективны как образцы, контрастно отличающиеся вкладом отдельных элементов структуры урожая и способные обеспечить широкий спектр формообразования в гибридных популяциях, так и образцы, выделившиеся высоким значением интегрального признака – массой зерна с растения. Обсуждаемые нюансы формирования растением урожая зерна, с одной стороны, подчеркивают разнообразие изученной коллекции, а с другой – указывают на необходимость вариативности подходов в конструировании модели сорта нута, адаптированного к почвенно-климатическим условиям Нижнего Дона.

Библиографический список

1. Asrat R. T., Girma M., Tafesse E., Whiting S. J., Henry C. J. Nutritional status of preschool children (aged 24 to 59 months) and chickpea production and consumption in Ethiopia // African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 2024. Vol. 24, No. 9. Pp. 24387–24408. DOI: 10.18697/ajfand.134.25045.

2. Yeasmen N., Orsat V. Industrial processing of chickpeas (*Cicer arietinum*) for protein production // Crop Science. 2024. Vol. 65, No. 1. DOI: 10.1002/csc2.21361.

3. Madurapperumage A., Tang L., Thavarajah P., et al. Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as a source of essential fatty acids – a biofortification approach // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. Article number 734980. DOI: 10.3389/fpls.2021.734980.

4. Duarte I. Chickpea breeding program and research in Portugal // Open Journal of Plant Science. 2022. Vol. 7, No. 2. Pp. 034–042. DOI: 10.17352/ojps.000049.

5. Abou Chehade L., Tavarini S., Bozzini M. F., Koskey G., Caturegli L., Antichi D., Angelini L. G. Agronomic and phytochemical characterization of chickpea local genetic resources for the agroecological transition and sustainable food systems // Agronomy. 2024. Vol. 14, No. 10. Article number 2229. DOI: 10.3390/agronomy14102229.

6. Васильченко С. А., Метлина Г. В. Влияние технологических приемов возделывания на урожайность нута в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3. С. 32–37.

7. Rasool I., Hussain K., Ameen M. A., et al. Evaluation of chickpea varieties for climate resilience and yield stability at different planting dates // Biological and Clinical Sciences Research Journal. 2024. Vol. 1. Article number 986. DOI: 10.54112/bcsrj.v2024i1.986.

8. Deepak T. N., Vasudevan S. N., Ramanji R. S., Tejaswini U. Evaluation of growth and seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) // Environment Conservation Journal. 2023. Vol. 24, No. 2. Pp. 27–31. DOI: 10.36953/ECJ.14302429.

9. Choi Y.-M., Yoon H., Shin M.-J., et al. Diversity of major yield traits and nutritional components among greenhouse grown chickpea (Cicer arietinum L.) breeding lines, landraces, and cultivars of different origins // Plants. 2024. Vol. 13. Article number 3078. DOI: 10.3390/plants13213078.

10. Duarte I., Imtiaz M., Pinheiro C., Simões N., Chaves M. Adaptation and Yield Stability for chickpea genotypes to the Mediterranean basin // International Journal of Plant Biology & Research. 2023. Vol. 11, Iss. 1. Article number 1134. DOI: 10.47739/2333-6668/1134.

11. Suman P., Lal G. M., Sree J. S. Genetic analysis for seed yield and its yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L) // International Journal of Plant & Soil Science. 2023. Vol. 35, Iss. 19. Pp. 1576–1587. DOI: 10.9734/ijpss/2023/v35i193703.

12. Duarte I. Estimate of chickpea production (*Cicer arietinum* L.) as a function of plant phenology // Brazilian Journal of Science. 2023. Vol. 2, No. 7. Pp. 30–39. DOI: 10.14295/bjs.v2i7.327.

13. Himanshu, Syed M., Singh M., et al. Estimation of genetic variability for yield and its component traits in chickpea (Cicer arietinum L.) // Archives of Current Research International. 2024. Vol. 24, Iss. 10. Pp. 191–195. DOI: 10.9734/acri/2024/v24i10921.

14. Apoorva K. S., Kolakar S. S., Jakkeral S. A., Nadukeri S., Usha T. N. Reckoning the interelationship among different yield contributing traits in chickpea (Cicer arietinum L.) genotypes // Journal of Advances in Biology & Biotechnology. 2024. Vol. 27, Iss. 11. Pp. 213–220. DOI: 10.9734/jabb/2024/v27i111606.

15. Lambe Y. M., Kute N. S., Totre A. S., et al. Genetic variability and path analysis for yield and yield contributing traits in chickpea (Cicer arietinum L.). // International Journal of Research in Agronomy. 2024. Vol. 7, Iss. 9S. Pp. 321–326. DOI: 10.33545/2618060X.2024.v7.i9Se.1497.

16. Güngör H. Optimizing chickpea yield: GGE biplot analysis of sowing seasons // International Journal of Agriculture and Natural Resources. 2024. Vol. 51, No. 2. Pp. 127–139. DOI: 10.7764/ijanr.v51i2.2596.

17. Eshetu Y. S., Woldemichael T. M., Gebreegziabher Z. F. Yield performance evaluation of kabuli and desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties under rainfed condition // Journal of Scientific Agriculture. 2024. Vol. 8. Pp. 38–43. DOI: 10.25081/jsa.2024.v8.8964.

18. Moulya G., Harish Babu B. N., Lakshmana D., Dhananjaya B. C., Raghavendra S. Studies on genetic variability and character association in chickpea germplasm for growth and yield attributes // Journal of Advances in Biology & Biotechnology. 2024. Vol. 27, Iss. 10. Pp. 1119–1125. DOI: 10.9734/jabb/2024/v27i101533.

19. Германцева Н. И. Результаты и перспективы селекции нута на Краснокутской станции // Аграрный вестник Юго-Востока. 2019. № 1. С. 9–14.

20. Kivrak K. G., Eker T., Sari H., et al. Integration of extra-large-seeded and double-podded traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.) // Agronomy. 2020. Vol. 10, No. 6. Article number 901. DOI: 10.3390/agronomy10060901.

21. Kumar A., Singh A., Arya M., Bhanu A. N., Kumar V., Chaturvedi S. K. Study of genetic variability and character association for yield and components traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm in Bundelkhand region // Journal of Experimental Agriculture International. 2024. Vol. 46, Iss. 8. Pp. 628–639. DOI: 10.9734/jeai/2024/v46i82745.

22. Sellami M. H., Lavini A., Pulvento C. Phenotypic and quality traits of chickpea genotypes under rainfed conditions in South Italy // Agronomy. 2021. Vol. 11, No. 5. Article number 962. DOI: 10.3390/agronomy11050962.

23. Балашов А. В., Набойченко К. В., Малахова А. А., Балашов В. А. Биостатистический анализ хозяйственных показателей сортов нута Волгоградской селекции // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2. С. 22–30.

24. Пташник О. П. Изучение сортов нута в условиях степного Крыма // Зерновое хозяйство России. 2016. № 2. С. 10–13.

25. Bharath K., Lavanya G. R. Selection strategy for yield improvement of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) // Archives of Current Research International. 2024. Vol. 24, Iss. 10. Pp. 196–204. DOI: 10.9734/acri/2024/v24i10922

Об авторах:

Розалия Александровна Гуленок, аспирант, научный сотрудник лаборатории селекции и генетики сельскохозяйственных культур, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0002-8275-6738, AuthorID 894191. *E-mail: rozaliya.gulenok@mail.ru*

Александр Александрович Козлов, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и генетики сельскохозяйственных культур, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0003-0290-0398, AuthorID 209466. *E-mail: kozlov86@bk.ru*

Ирина Владимировна Сеферова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела генетических ресурсов зернобобовых культур, Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0003-3308-9198. AuthorID 88897. *E-mail: i.seferova@vir.nw.ru*

References

1. Asrat R. T., Girma M., Tafesse E., Whiting S. J., Henry C. J. Nutritional status of preschool children (aged 24 to 59 months) and chickpea production and consumption in Ethiopia. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development.* 2024; 24 (9): 24387–24408. DOI: 10.18697/ajfand.134.25045.

2. Yeasmen N., Orsat V. Industrial processing of chickpeas (Cicer arietinum) for protein production. *Crop Science.* 2024; 65 (1). DOI: 10.1002/csc2.21361.

3. Madurapperumage A., Tang L., Thavarajah P., et al. Chickpea (Cicer arietinum L.) as a source of essential fatty acids – a biofortification approach. *Frontiers in Plant Science.* 2021; 12: 734980. DOI: 10.3389/fpls.2021.734980.

4. Duarte I. Chickpea breeding program and research in Portugal. *Open Journal of Plant Science.* 2022; 7 (2): 034–042. DOI: 10.17352/ojps.000049.

5. Abou Chehade L., Tavarini S., Bozzini M. F., et al. Agronomic and phytochemical characterization of chickpea local genetic resources for the agroecological transition and sustainable food systems. *Agronomy.* 2024; 14 (10): 2229. DOI: 10.3390/agronomy14102229.

6. Vasilchenko S. A., Metlina G. V. The effect of cultivation technologies on chickpea productivity in the southern part of the Rostov region. *Grain Economy of Russia.* 2020; 3 (69): 32–37. (In Russ.)

7. Rasool I., Hussain K., Ameen M. A., et al. Evaluation of chickpea varieties for climate resilience and yield stability at different planting dates. *Biological and Clinical Sciences Research Journal.* 2024; 1: 986. DOI: 10.54112/bcsrj.v2024i1.986.

8. Deepak T. N., Vasudevan S. N., Ramanji R. S., Tejaswini U. Evaluation of growth and seed yield of chickpea (Cicer arietinum L.). *Environment Conservation Journal.* 2023; 24 (2): 27–31. DOI: 10.36953/ECJ.14302429.

9. Choi Y.-M., Yoon H., Shin M.-J., et al. Diversity of major yield traits and nutritional components among greenhouse grown chickpea (Cicer arietinum L.) breeding lines, landraces, and cultivars of different origins. *Plants.* 2024; 13: 3078. DOI: 10.3390/plants13213078.

10. Duarte I., Imtiaz M., Pinheiro C., Simões N., Chaves M. Adaptation and yield stability for chickpea genotypes to the Mediterranean basin. *International Journal of Plant Biology & Research.* 2023; 11 (1): 1134. DOI: 10.47739/2333-6668/1134.

11. Suman P., Lal G. M., Sree J. S. Genetic analysis for seed yield and its yield components in chickpea (Cicer arietinum L). *International Journal of Plant & Soil Science.* 2023; 35 (19): 1576–1587. DOI: 10.9734/ijpss/2023/v35i193703.

12. Duarte I. Estimate of chickpea production (*Cicer arietinum* L.) as a function of plant phenology. *Brazilian Journal of Science.* 2023; 2 (7): 30–39. DOI: 10.14295/bjs.v2i7.327.

13. Himanshu, Syed M., Singh M., et al. Estimation of Genetic variability for yield and its component traits in chickpea (Cicer arietinum L.). *Archives of Current Research International.* 2024; 24 (10): 191–195. DOI: 10.9734/acri/2024/v24i10921.

14. Apoorva K. S., Kolakar S. S., Jakkeral S. A., Nadukeri S., Usha T. N. Reckoning the interelationship among different yield contributing traits in chickpea (Cicer arietinum L.) genotypes. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology.* 2024; 27 (11): 213–220. DOI: 10.9734/jabb/2024/v27i111606.

15. Lambe Y. M., Kute N. S., Totre A. S., et al. Genetic variability and path analysis for yield and yield contributing traits in chickpea (Cicer arietinum L.). *International Journal of Research in Agronomy.* 2024; 7 (9S): 321–326. DOI: 10.33545/2618060X.2024.v7.i9Se.1497.

16. Güngör H. Optimizing chickpea yield: GGE biplot analysis of sowing seasons. *International Journal of Agriculture and Natural Resources.* 2024; 51 (2): 127–139. DOI: 10.7764/ijanr.v51i2.2596.

17. Eshetu Y. S., Woldemichael T. M., Gebreegziabher Z. F. Yield performance evaluation of kabuli and desi chickpea (Cicer arietinum L.) varieties under rainfed condition. *Journal of Scientific Agriculture.* 2024; 8: 38–43. DOI: 10.25081/jsa.2024.v8.8964.

18. Moulya G., Harish Babu B. N., Lakshmana D., Dhananjaya B. C., Raghavendra S. Studies on genetic variability and character association in chickpea germplasm for growth and yield attributes. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology.* 2024; 27 (10): 1119–1125. DOI: 10.9734/jabb/2024/v27i101533.

19. Germantseva N. I. The results and perspectives of chickpea breeding at Krasnokutskaya station. *Agrarian Reporter of South-East.* 2019; 1: 9–14. (In Russ.)

20. Kivrak K. G., Eker T., Sari H., et al. Integration of extra-large-seeded and double-podded traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agronomy.* 2020; 10 (6): 901. DOI: 10.3390/agronomy10060901.

21. Kumar A., Singh A., Arya M., et al. Study of genetic variability and character association for yield and components traits in chickpea (Cicer arietinum L.) germplasm in Bundelkhand region. *Journal of Experimental Agriculture International.* 2024; 46 (8): 628–639. DOI: 10.9734/jeai/2024/v46i82745.

22. Sellami M. H., Lavini A., Pulvento C. Phenotypic and quality traits of chickpea genotypes under rainfed conditions in South Italy. *Agronomy.* 2021; 11 (5): 962. DOI: 10.3390/agronomy11050962

23. Balashov A. V., Naboychenko K. V., Malakhova A. A., Balashov V. A. Biostatistical analysis of economic indicators of chickpea varieties of Volgograd selection. *Proceedings of Nizhnevolzskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education.* 2023; 2 (70): 22–30. (In Russ.)

24. Ptashnik O. P. The study of chickpea varieties in the conditions of steppe Crimea. *Grain Economy of Russia.* 2016; 2: 10–13. (In Russ.)

25. Bharath K., Lavanya G. R. Selection strategy for yield improvement of chickpea genotypes (Cicer arietinum L.). *Archives of Current Research International.* 2024; 24 (10): 196–204. DOI: 10.9734/acri/2024/v24i10922.

Authors' information:

Rozaliya A. Gulenok, postgraduate, researcher of the laboratory breeding and genetics of agricultural crops, Federal Rostov Agrarian Research Center, Rassvet settlement, Rostov region, Russia;
ORCID 0000-0002-8275-6738, AuthorID 894191. *E-mail: rozaliya.gulenok@mail.ru*

Aleksandr A. Kozlov, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory breeding and genetics of agricultural crops, Federal Rostov Agrarian Research Center, Rassvet settlement, Rostov region, Russia;
ORCID 0000-0003-0290-0398, AuthorID 209466. *E-mail: kozlov86@bk.ru*

Irina V. Seferova, candidate of biological sciences, leading researcher of department of genetic resources of legumes, Federal Research Center "N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)", Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0003-3308-9198, AuthorID 88897. *E-mail: i.seferova@vir.nw.ru*

УДК 634.11:632.2:575.113 (470)
Код ВАК 4.1.1
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1885-1895

Выявление комплексных источников яблони с устойчивостью к парше и повышенным потенциалом лежкости плодов с помощью маркер-вспомогательной селекции (МВС)

М. А. Должикова✉, **А. В. Пикунова, Т. В. Янчук, В. Е. Колмыкова, А. А. Павленко**
Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур,
д. Жилина, Орловская область, Россия
✉*E-mail: dolzhikova.mari94@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты многолетнего изучения (2017–2025 гг.) гибридного фонда яблони ВНИИСПК по комплексу хозяйственно ценных признаков, а именно по устойчивости к парше и лежкости плодов. **Цель** – отбор комплексных источников гибридных форм яблони на основе изучения аллельного полиморфизма гена *Md-PG1* (лежкость плодов) и гена устойчивости к парше (*Vf*) как потенциально перспективных в дальнейшей селекции. **Методы.** Исследования проводились с применением ПЦР-анализа и разделения продуктов путем электрофореза. **Научная новизна.** Проведен многолетний анализ аллельного полиморфизма генов *Vf (Rvi6)* и *Md-PG1* у гибридных форм яблони. **Результаты.** За период 2019–2025 гг. был выявлен 101 комплексный гибрид от 20 форм скрещиваний. По гену *Rvi6* выявлено 1126 гибридов, по гену *Rvi2* – 44 гибрида, по гену *Rvi5* – 17 гибридов, маркеры гена *Rvi4* в анализируемой ДНК коллекции обнаружены не были. Расщепление по маркеру VFC варьируется от 36,7 % (в семье 6351) до 75,9 % (в семье 6388). Высокий процент расщепления (60–75% и выше) наблюдается в семьях 6354, 6388, 6389. Родители данных семей несут ген *Vf*. Для дальнейшей селекционной работы как кандидаты в сорта особого внимания заслуживают 6 отборных сеянцев яблони (носители гена *Vf):* 34-15-83 (Веньяминовское × 13-6-106); 34-15-111 (Веньяминовское × 25-37-45 (Орловская Гирлянда × Уэлси 4х)); 34-16-1 (Строевское × 25-37-45); 34-16-57 (Веньяминовское × Ветеран); 34-18-137 (Строевское × 29-40-99) и 34-21-20 (Антоновка обыкновенная × 30-47-88). По комплексу признаков (объединение в одном геноме *Md-PG1* и *Vf*) особое внимание для дальнейшей селекционной работы заслуживают 6 отборных сеянцев яблони: 35-10-107 (64-50 × Имрус); 35-11-171 (Имрус × 31-5-42); 35-11-191 (Имрус × 31-5-42); 35-16-251 и 35-16-257 (Северный Синап × Имрус); 35-16-284 (Северный Синап × Имрус).

Ключевые слова: генофонд, маркер-вспомогательная селекция, парша, гены устойчивости, *Md-PG1*, *Vf*, ДНК-маркеры

Благодарности. Работа выполнена по проекту «Разработка технологий ускоренной селекции плодовых культур» в рамках программы создания и развития селекционно-семеноводческого центра при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение номер 075-15-2025-241.

Для цитирования: Должикова М. А., Пикунова А. В., Янчук Т. В., Колмыкова В. Е., Павленко А. А. Выявление комплексных источников яблони с устойчивостью к парше и повышенным потенциалом лежкости плодов с помощью маркер-вспомогательной селекции (МВС) // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1885–1895. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1885-1895.

Дата поступления статьи: 03.03.2026, ***дата рецензирования:*** 10.06.2026, ***дата принятия:*** 02.09.2026.

© Dolzhikova M. A., Pikunova A. V., Yanchuk T. V., Kolmykova V. E., Pavlenko A. A., 2026

Identification of complex apple sources with scab resistance and increased fruit keeping capacity using marker-assisted selection (MAS)

M. A. Dolzhikova✉, **A. V. Pikunova, T. V. Yanchuk, V. E. Kolmykova, A. A. Pavlenko**
Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia
✉*E-mail: dolzhikova.mari94@mail.ru*

Abstract. The article presents the results of a scab resistance and postharvest storability long-term study (2017–2025) of the apple populations of Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK). **The purpose** of the study was to select apple seedlings with a complex of traits by allelic polymorphism of *Md-PG1* (postharvest storability) and *Vf* (scab resistance) for further breeding programs. **Methods.** The studies were conducted using PCR analysis and gel electrophoresis. **Scientific novelty**. A long-term analysis of allelic polymorphism in *Vf* and *Md-PG1* genes of apple populations has been conducted. **Results.** During 2019–2025, we identified 101 apple seedlings with a set of traits. In our study we identified 1126 seedlings with *Rvi6* gene, 44 with *Rvi2*, and 17 with *Rvi5*. Samples with Rvi4 gene markers were not detected. Segregation by the VFC marker varies from 36.7 % (population 6351) to 75.9 % (population 6388). A high percentage of segregation (60–75 % and higher) was observed in populations No. 6354, 6388, and 6389. The parents of these populations have *Vf* gene. The following 6 selected apple seedlings (with *Vf* gene) are recommended for further breeding work: 34-15-83 (Ven'yaminovskoe × 13-6-106); 34-15-111 (Ven'yaminovskoe × 25-37-45 (Orlovskaya Girlyanda × Uelsi 4x)); 34-16-1 (Stroevskoe × 25-37-45); 34-16-57 (Venyaminovskoe × Veteran); 34-18-137 (Stroevskoe × 29-40-99) and 34-21-20 (Antonovka obyknovennaya × 30-47-88). According to the complex of traits (combination of *Md-PG1* and *Vf* in one genome), 6 selected apple seedlings deserve special attention for further breeding work: 35-10-107 (64-50 × Imrus); 35-11-171 (Imrus × 31-5-42); 35-11-191 (Imrus × 31-5-42); 35-16-251 and 35-16-257 (Severnyy Sinap × Imrus); 35-16-284 (Severnyy Sinap × Imrus).

***Keywords*:** gene pool, marker-assisted selection, scab, resistance genes, *Md-PG1*, *Vf*, DNA markers

Acknowledgments. This study was carried out under the project "Development of technologies for the accelerated breeding of fruit crops" as part of the program for the establishment and development of a breeding and seed production center, with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Agreement No. 075-15-2025-241).

For citation: Dolzhikova M. A., Pikunova A. V., Yanchuk T. V., Kolmykova V. E., Pavlenko A. A. Identification of complex apple sources with scab resistance and increased fruit keeping capacity using marker-assisted selection (MAS). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1885–1895. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1885-1895. (In Russ.)

Дата поступления статьи: 03.03.2026, ***дата рецензирования:*** 10.06.2026, ***дата принятия:*** 02.09.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Биоресурсная коллекция яблони Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур (ВНИИСПК) включает 731 сорт, 287 отборных форм, 104 элитные формы и гибридный фонд, который составляет 11 093 гибридных сеянцев (https://vniispk.ru/pages/unu). История селекционной программы яблони в институте началась еще в 1976 году. Одной из основных целей селекции было и остается создание сортов, обладающих устойчивостью к парше. Значительным достижением стал сорт Имрус (Иммунный русский), который первым из отечественных сортов получил официальное признание и был районирован в 1996 году. На сегодняшний день во ВНИИСПК созданы и успешно прошли государственную регистрацию 23 сорта яблони, обладающие иммунитетом к парше [1–3]. В целях ускорения традиционного селекционного процесса остается актуальным применение методов маркер-вспомогательной селекции (МВС). Наша исследовательская группа на протяжение длительного времени ведет направление по апробации и внедрению методик МВС для плодовых и ягодных культур [4–6], в том числе для яблони по устойчивости к парше и выявлению сортов и гибридов с повышенным потенциалом лежкости плодов.

Парша (*Venturia inaequalis* (Cke.) Wint) – одно из самых вредоносных заболеваний яблони как в России, так и во всем мире [7–10]. В настоящее время известен целый ряд генов устойчивости [11], которые были перенесены в геном культурных сортов яблони (*Malus domestica*) от их диких сородичей (*M.* × *floribunda*, *M.* × *baccata*, *M. prunifolia*, *M. atrosanguinea* и др.). Ген *Vf* (*Rvi6* в новой клас-

© Должикова М. А., Пикунова А. В., Янчук Т. В., Колмыкова В. Е., Павленко А. А., 2026

сификации [12]) был привлечен в селекцию путем скрещивания *M. floribunda 821* с сортом Rome Beauty. Однако преодоление гена уже наблюдается в некоторых странах, в том числе Беларуси, Польше, России [13]. Первые сообщения о поражении появились в Европе в конце XX века, сравнительно недавно обнаружили поражение на *M. floribunda 821* в Америке [14]. В исследованиях нашей научной группы в условиях Орловской области в селекционных садах ФГБНУ ВНИИСПК в период 2022–2023 годов проводилась оценка 16 сортов яблони, известных как иммунные к парше (с геном *Vf*) [15]. Было обнаружено поражение на 9 из 16 сортов. При этом в условиях Орловской области поражение паршой на дереве вида *M. floribunda* не обнаружено. По результатам 10-летнего мониторинга рас парши в 14 странах (преимущественно европейских) сделаны выводы о перспективности использования для пирамидирования таких генов как *Rvi2*, *Rvi4*, *Rvi5*, *Rvi9*, *Rvi12* и *Rvi14*, для которых вирулентные расы обнаружены, но встречаются редко [11].

Не менее важным направлением в маркер-вспомогательной селекции яблони является селекция на длительную сохранность плодов. В настоящее время известен целый ряд генов, влияющих на данный признак посредством детерминирования различных физиологических процессов. В процессе хранения плодов яблони под воздействием этилена на активность ферментных систем происходит ферментативное разрушение клеточных стенок и ламеллярного слоя в плодах. Один из данных ферментов – полигалактуроназа – вовлечен в процесс деградации пектина, который приводит к размягчению богатых пектином слоев ткани плодов [16]. Главный локус количественного признака *Md-PG1*, расположенный на 10 ГС (группе сцепления), детерминирует активность этиленозависимой эндополигалактуроназы и влияет на процесс размягчения мякоти плодов при хранении [17]. Для гена *Md-PG1* в настоящее время идентифицированы ДНК-маркеры. Присутствие комбинаций аллелей с разной длиной SSR повтора локуса Md-pg10kd влияет на показатели плотности мякоти плода при хранении: нежелательная (худшие показатели плотности мякоти) – аллель 319 п. н. в гомозиготе; наилучшие показатели по плотности мякоти обуславливает сочетание аллелей, при котором аллель 319 п. н. отсутствует: 310, 313, 310:313 п. н.; средние показатели качества мякоти обуславливают сочетания с нежелательной аллелью 319 п. н. в гетерозиготе: 310:319 и 313:319 п.н. Цель данных исследований – маркерный отбор комплексных источников гибридных форм яблони на основе изучения аллельного полиморфизма гена *Md-PG1* (лежкость плодов) и генов устойчивости к парше для повышения эффективности процесса селекции.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в лаборатории молекулярной генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики. ДНК отбирали в селекционных насаждениях ВНИИСПК (д. Жилина) в 2017–2025 годах. Выделение ДНК проводили из свежесобранных молодых листьев CTAB методом [18].

Для идентификации генов устойчивости к парше использованы SSR-маркеры и SCAR-маркеры: *Rvi6* (*Vf*) – маркеры VFC, CH-Vf1; *Rvi2* (*Vh2*) – маркеры OPL19, CH02b10; *Rvi4 (Vh4*, *Vx*, *Vr1*) – маркеры CH02c02a и S22-SCAR, и *Rvi5* (*Vm*) – маркер Hi07h02 и маркер гена *Md-PG1* – Md-pg1_10kd (таблица 1).

В качестве объектов исследований выступали 48 гибридных семей, тетраплоидные, элитные и отборные сеянцы от различных вариаций скрещиваний. Всего проанализировано 2079 гибридных образцов, а также их родительские формы.

Результаты (Results)

В настоящее время идентифицированный состав ДНК коллекции яблони ВНИИСПК по гену *Rvi6 (Vf)* насчитывает более 3000 образцов, включающих сорта отечественной селекции, отборные и элитные сеянцы и гибридные формы от различных вариаций скрещиваний. На основе использования метода ДНК-маркирования постоянно увеличивается идентифицированный гибридный фонд. Тестирование на наличие гена *Vf* по маркеру VFC проводили для каждой гибридной семьи яблони, участвующей в исследовании, так как данный ген определяет устойчивость к наибольшему количеству рас парши. В таблице 2 представлены гибридные семьи, включающие не менее 30 сеянцев.

Разброс изученных образцов по гибридным семьям весьма значительный – от 4 до 282 гибридов. Поэтому расщепление по маркеру гена *Vf* анализировалось в семьях с количеством гибридов более 30.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Расщепление по потомству варьируется от 36,7 % (в семье 6351) до 75,9 % (семья 6388). Высокий процент расщепления (60–75 % и выше) наблюдается в семьях 6354 (Приокское *Vf* × Свежесть *Vf*), 6388 (Гирлянда *Vf* × 30-47-88 *Vf* 4х), 6389 (Гирлянда *Vf* × 34-21-39) – 74,3 %. Всего за период исследований ген *Vf* был выявлен у 1081 гибридного сеянца, у 21 тетраплоидного сеянца, у 19 отборных сеянцев и у 5 элитных сеянцев.

С работой по выявлению гена устойчивости к парше на большинстве гибридных семей проводились исследования по выявлению присутствия комбинаций аллелей с разной длиной SSR повтора локуса Md-pg10kd, связанного с показателями плотности мякоти плода при хранении. На основании результатов выполненной работы были идентифицированы гибриды, несущие селекционно-ценные аллели гена *Md-PG1* (рис. 1).

Таблица 1

Гены и маркеры, используемые в работе

Ген	Маркер	5’-3’ последовательность	Ссылка на источник
Md-PG1	Md-pg1_10kd	F: AAAAGGTATGACCATGATTTCT TCCTTGGGTTTTTGG R: GTTTACTCGTGCGCCAGATAGC	[16]
Rvi6 (Vf)	VFC	F: GGT-TTC-CAA-AGT-CCA-ATT-CC R: CGTTAGCATTTTGAGTTGAC	[19]
	CH-Vf1	F: ATCACCACCAGCAGCAAAG R: CATACAAATCAAAGCACAACCC	[20]
Rvi2 (Vh2)	OPL19	F: ACCTGCACTACAATCTTCACTAATC R: GACTCGTTTCCACTGAGGATATTTG	[21]
	CH02b10	F: CAAGGAAATCATCAAAGATTCAAG R: CAAGTGGCTTCGGATAGTTG	[22]
Rvi4 (Vh4, Vx, Vr1)	CH02c02a	F: CTTCAAGTTCAGCATC AAGACAA R: TAGGGCACACTTGCTGGTC	[22]
	S22-SCAR	F: GTCGTGGAAGAGGACCGA R:GTCGTGGAAATCCTCGTGAG	[23]
Rvi5 (Vm)	Hi07h02	F: CAAATTGGCAACTGGGTCTG R: GTTTAGGTGGAGGTGAAGGGATG	[24]

Table 1

Genes and markers used in the study

Gene	*Marker*	*5’-3’ sequence*	*Literature*
Md-PG1	*Md-pg1_10kd*	*F: AAAAGGTATGACCATGATTTCT TCCTTGGGTTTTTGG R: GTTTACTCGTGCGCCAGATAGC*	*[16]*
Rvi6 (Vf)	*VFC*	*F: GGT-TTC-CAA-AGT-CCA-ATT-CC R: CGTTAGCATTTTGAGTTGAC*	*[19]*
	CH-Vf1	*F: ATCACCACCAGCAGCAAAG R: CATACAAATCAAAGCACAACCC*	*[20]*
Rvi2 (Vh2)	*OPL19*	*F: ACCTGCACTACAATCTTCACTAATC R: GACTCGTTTCCACTGAGGATATTTG*	*[21]*
	CH02b10	*F: CAAGGAAATCATCAAAGATTCAAG R: CAAGTGGCTTCGGATAGTTG*	*[22]*
Rvi4 (Vh4, Vx, Vr1)	*CH02c02a*	*F: CTTCAAGTTCAGCATC AAGACAA R: TAGGGCACACTTGCTGGTC*	*[22]*
	S22-SCAR	*F: GTCGTGGAAGAGGACCGA R: GTCGTGGAAATCCTCGTGAG*	*[23]*
Rvi5 (Vm)	*Hi07h02*	*F: CAAATTGGCAACTGGGTCTG R: GTTTAGGTGGAGGTGAAGGGATG*	*[24]*

Таблица 2

Результаты молекулярно-генетического анализа гибридов на наличие ДНК-маркера гена *Vf*

№	Гибридная популяция	Общее количество	Количество сеянцев с *Vf* (VFC), %	Количество сеянцев с *Md-PG1**, %
1	6349 (Приокское *Vf* × Краса Свердловска)	33	16 (48,5)	5 (15,2)
2	6338 (Свежесть *Vf* × Болотовское *Vf*)	35	24 (68,6)	–
3	6342 (Свежесть *Vf* × 31-5-15)	36	15 (41,7)	0
4	6356а (Созвездие *Vf* × Памяти Хитрово *Vf*)	36	18 (50)	9 (25)
5	6341 Свежесть *Vf* × 29-40-127 (Орлик × Reca)	38	17 (44,7)	1 (2,6)
6	6354 (Приокское *Vf* × Свежесть *Vf*)	40	30 (75)	10 (25)
7	6416 (Восторг *Vf* × Веньяминовское *Vf*)	43	26 (60,5)	5 (11,6)
8	6398 (Имрус *Vf* × Чистотел *Vm*)	46	31 (67,4)	16 (34,8)
9	6409 (Орлик × Веньяминовское *Vf*)	46	21 (45,7)	0
10	6356 (Восторг *Vf* × Болотовское *Vf*)	47	19 (40.4)	6 (12,8)
11	6351 (Созвездие *Vf* × 30-47-88 *Vf* 4х)	49	18 (36,7)	–

12	6398 (Имрус *Vf* × Чистотел *Vm*)	50	24 (48)	0
13	6303 (Северный синап × Приокское *Vf*)	54	23 (42,6)	8 (14,8)
14	Приокское × 30-47-88 *Vf*	55	23 (41,8)	10 (18,2)
15	6397 (Имрус *Vf* × 31-5-42 *Vr*)	56	33 (58,9)	14 (25)
16	6348 (Поэзия *Vf* × Краса Свердловска)	58	36 (62,1)	19 (32,8)
17	6389 (Гирлянда *Vf* × 34-21-39)	113	84 (74,3)	–
18	6403 (Северный Синап × Имрус *Vf*)	176	104 (59)	17 (9,7)
19	6387 (6450 × Имрус *Vf*)	201	140 (69,7)	4 (2)
20	6385 (Гирлянда *Vf* × Виньяминовское *Vf*)	202	111 (54,5)	5 (2,5)
21	6388 (Гирлянда *Vf* × 30-47-88 *Vf* 4x	282	214 (75,9)	–

*Примечание. * Наилучшее сочетание аллелей 310:313, 313:313.*

Table 2

Results of molecular genetic analysis of hybrids for the presence of the Vf gene DNA marker

No.	*Hybrid population*	*Quantity*	*Number of seedlings with Vf (VFC), %*	*Number of seedlings with Md-PG1*, %*
1	*6349 (Priokskoe Vf × Krasa Sverdlovska)*	*33*	*16 (48.5)*	*5 (15.2)*
2	*6338 (Svezhest' Vf × Bolotovskoe Vf)*	*35*	*24 (68.6)*	–
3	*6342 (Svezhest' Vf × 31-5-15)*	*36*	*15 (41.7)*	*0*
4	*6356a (Sozvezdie Vf × Pamyati Khitrovo Vf)*	*36*	*18 (50)*	*9 (25)*
5	*6341 (Svezhest' Vf × 29-40-127 (Orlik × Reca))*	*38*	*17 (44.7)*	*1 (2.6)*
6	*6354 (Priokskoe Vf × Svezhest' Vf)*	*40*	*30 (75)*	*10 (25)*
7	*6416 (Vostorg Vf × Ven'yaminovskoe Vf)*	*43*	*26 (60.5)*	*5 (11.6)*
8	*6398 (Imrus Vf × Chistotel Vm)*	*46*	*31 (67.4)*	*16 (34.8)*
9	*6409 (Orlik × Ven'yaminovskoe Vf)*	*46*	*21 (45.7)*	*0*
10	*6356 ((Vostorg Vf × Bolotovskoe Vf)*	*47*	*19 (40.4)*	*6 (12.8)*
11	*6351 (Sozvezdie Vf × 30-47-88 Vf 4x)*	*49*	*18 (36.7)*	–
12	*6398 (Imrus Vf × Chistotel Vm)*	*50*	*24 (48)*	*0*
13	*6303 (Severnyy Sinap × Priokskoe Vf)*	*54*	*23 (42.6)*	*8 (14.8)*
14	*Priokskoe × 30-47-88 Vf*	*55*	*23 (41.8)*	*10 (18.2)*
15	*6397 (Imrus Vf × 31-5-42 Vr)*	*56*	*33 (58.9)*	*14 (25)*
16	*6348 (Poeziya Vf × Krasa Sverdlovska)*	*58*	*36 (62.1)*	*19 (32.8)*
17	*6389 (Girlyanda Vf × 34-21-39)*	*113*	*84 (74.3)*	–
18	*6403 (Severnyy Sinap × Imrus Vf)*	*176*	*104 (59)*	*17 (9.7)*
19	*6387 (6450 × Imrus Vf)*	*201*	*140 (69.7)*	*4 (2)*
20	*6385 (Girlyanda Vf × Ven'yaminovskoe Vf)*	*202*	*111 (54.5)*	*5 (2.5)*
21	*6388 (Girlyanda Vf × 30-47-88 Vf 4x)*	*282*	*214 (75.9)*	–

*Note. * The best combination of alleles 310:313, 313:313.*

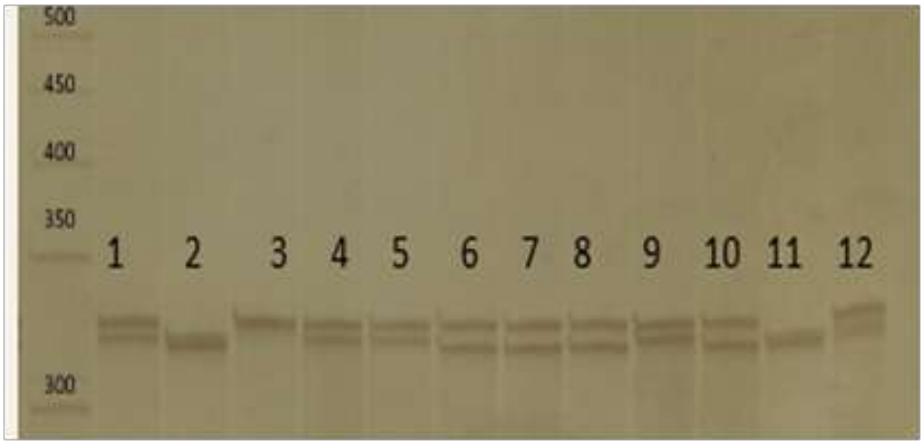
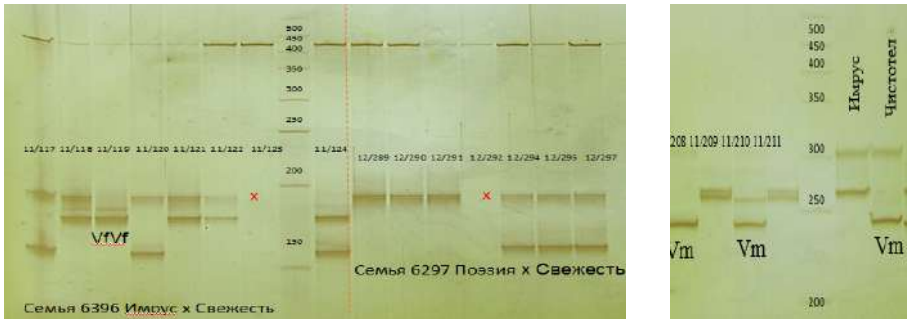


Рис. 1. Электрофореграмма ПЦР продуктов локуса Md-pg1_10 kd в 8 % ПААГ с окрашиванием нитратом серебра (размеры аллелей)

Fig. 1. Electrophoregram of PCR products of the Md-pg1_10 kd locus in 8 % PAGE, followed by silver nitrate staining



A *B*

Рис. 2. Детекция гена Vm и гомозиготной формы гена Vf: А. Амплификация в локусе Ch-Vf1. В. Детекция гена Vm (по локусу) Hi07h02 в семье 6398
Fig. 2. Detection of the Vm gene and the homozygous form of the Vf gene: A. Amplification at the Ch-Vf1 locus. B. Detection of the Vm gene (at the Hi07h02 locus) in family 6398



A *B*

Рис. 3. Локализация гена Rvi2(Vh2) и детекция: А. Положение гена Rvi2(Vh2) на хромосоме 2. В. Электрофореграмма маркера OPL19-SCAR на 1,7 % агарозном геле. Искомый фрагмент указан стрелкой
Fig. 3. Localization of the Rvi2(Vh2) gene and detection of the OPL19-SCAR marker: A. Position of the Rvi2(Vh2) gene on chromosome 2. B. Electrophoregram of the OPL19-SCAR marker on 1.7 % agarose gel. The desired fragment is indicated by the arrow

По маркеру *Md-PG1* с сочетанием аллелей 310:313, 313:313 наибольшее число гибридов выявлено в семье 6348 (Поэзия *Vf* × Краса Свердловска), наименьшее – в семье 6341 (Свежесть *Vf* × 29-40-127 (Орлик × Reca)). Во многих анализируемых семьях искомых сочетаний аллелей не обнаружено.

Для гена *Vf* также идентифицирован SSR-маркер CH-Vf1, локализованный на 1 ГС. Выявление гомозиготной формы гена *Vf* проводилось по анализу распределения аллелей от родителей потомству в микросателлитном локусе CH-Vf1 (рис. 2 А, В). Ген устойчивости яблони к парше *Rvi5* (*Vm*) расположен на 17 ГС и для него идентифицирован SSR ДНК-маркер Hi07h02 [24]. Данный ген привнесен селекционерами из форм яблони, принадлежащих к видам *M. atrosanguinea* 804 (гены *Vm* и *Vf*) и *M. micromalus* (ген *Vm*).

В семье 6396 (Имрус (*Vf*) × Свежесть (*Vf*)), обнаружено 3 гибрида с геном *Vf* в гомозиготной форме. В семье 6398 (Имрус (*Vf*) × Чистотел (*Vm*)) получены данные о полиморфизме локуса Hi07h02 сцепленного с геном *Vm*. Обнаружено 17 гибридов с геном *Vm* (рис. 2 В).

Ген *Vh4/Rvi4* имеет промежуточный уровень поражения патогеном в Орловской области. Данный уровень (средний балл – до 3) был зафиксирован для формы TSR33T239 (потомок формы Russian apple R12740-7A), для формы А 723-6 (имеет ген *Va/Rvi10*, обнаружен у потомков Антоновки обыкновенной), для формы J34 (F1 от сорта Dolgo, *Vdg/Rvi9*) [25].

Детекция гена *Rvi4* проводилась в трех семьях 6397 (Имрус *Vf* × 31-5-42 *Vr*), 6265 (Орлик × 31-5-42 *Vr* (Северный синап × Reca)), 6298 (Поэзия *Vf* × 31-5-42 *Vr*) по двум ДНК-маркерам. S22-SCAR не обнаружен ни у гибридов, ни у родителей семей. Амплификация наблюдалась только у положительного контроля – формы TSR33T239. В локусе CH02c02a искомая аллель также присутствовала лишь у положительного контроля. Маркер OPL19-SCAR изначально применяли для идентификации гена *Rvi2*. Впоследствии в непосредственной близости от него был обнаружен ген *Rvi8*. Установлено, что целевой продукт данного маркера – фрагмент ДНК длиной 433 п. н. амплифицируется как у носителей гена *Rvi2*, так и у носителей гена *Rvi8*, которые демонстрируют различную степень устойчивости при искусственном заражении отдельными расами парши [26; 27]. Ген *Rvi2(Vh2)* детектировали в трех семьях 6397 (Имрус *Vf* × 31-5-42 *Vr*), 6265 (Орлик × 31-5-42 *Vr*) (Северный синап × Reca)), 6298 (Поэзия *Vf* × 31-5-42 *Vr*) по двум фланкирующим ген ДНК-маркерам: CH02b10 и OPL19-SCAR. Согласно ис-

следованию [21] (рис. 3 А), ген находится между локусами CH02b10 и OPL19-SCAR. Наиболее близко на расстоянии 1 сМ (сантиморган) расположен OPL19-SCAR. CH02b10 локализован на расстоянии 8 сМ. В наших исследованиях OPL19-SCAR обнаружен у 44 генотипов (рис. 3 В).

В наших исследованиях оба фланкирующих маркера присутствуют у 14 генотипов, что говорит о наличии у них гена *Rvi2(Vh2)*. При анализе данных по наличию генов *Vf* и *Rvi2(Vh2)* выявлено 6 гибридов с двумя генами из семьи 6397. Сорт Поэзия отмечается наличием аллелей, сцепленных с генами устойчивости к парше, а именно *Vm* (Hi07h02), *Vf* (Vfa, CH-Vf1) [7]. Наибольший интерес для использования представляют сорта яблони, объединяющие полигенную и моногенную устойчивость к парше, к таким сортам относится сорт Имрус (Антоновка обыкновенная × OR18T13), который выступает как родительская форма во многих вариантах изучаемых скрещиваний. Сорт Имрус произошел от формы OR18T13 (потомок *M. Atrosanguinea* формы 804). В работах селекционеров Е. Н. Седова и В. В. Жданова [1] упоминается, что *M. Atrosanguinea* формы 804 имела два гена (*Vf* и *Vm*). Сорт Имрус известен своей устойчивостью к парше (абсолютная устойчивость к 1–5 расам), так же сорт выделяется как лежкий – съемная зрелость наступает в середине сентября.

За период исследований (2019–2025 годы) был выявлен 101 комплексный гибрид от 20 форм скрещиваний, несущих селекционно ценные аллели генов *Rvi6* и *Md-pg1* (таблица 3).

Данные образцы представляют особую ценность как исходный материал для дальнейшей работы по выведению новых сортов и как источник ценных селекционных аллелей. По комплексу признаков, в том числе объединение в одном геноме *Md-PG1* и *Vf*, особого внимания для дальнейшей селекционной работы заслуживают следующие отборные сеянцы (ОС) яблони:

35-10-107 (64-50 × Имрус) имеет плоды средней массы 110 г, средней одномерности. Оценка внешнего вида плодов – 4,3 балла. Плоды сохраняются до конца марта.

35-11-171 (Имрус × 31-5-42) имеет достаточно крупные плоды (150–170 г). Внешний вид плодов оценивается на 4,4 балла. В холодильнике плоды сохраняются до апреля. Оценка вкуса – 4,3. Отмечены единичные поражения плодов паршой на 1 балл.

35-11-191 (Имрус × 31-5-42) имеет среднюю массу плодов 110 г. Плоды сохраняются до конца февраля, вкус сладко-кислый, оценивается в 4,2 балла.

35-16-251 и 35-16-257 (Северный синап × Имрус). Плоды сохраняются до конца февраля.

35-16-284 (Северный синап × Имрус). Плоды сохраняются до конца февраля.

Для дальнейшей селекционной работы и как кандидаты в сорта особого внимания заслуживают отборные сеянцы яблони – носители гена *Vf*:

34-15-83 (Веньяминовское × 13-6-106). Триплоидный, с плодами позднезимнего срока созревания. Плоды сохраняются до первой декады апреля.

Таблица 3

Комплексные доноры

Гибридная семья	Количество комплексных источников (*Vf* + *Md-PG1*)	% от общего количества сеянцев в семье, шт.
6348 (Поэзия *Vf* × Краса Свердловска)	11	17,1 (64)
6349 (Приокское *Vf* × Краса Свердловска)	4	16 (25)
6354 (Приокское *Vf* × Свежесть *Vf*)	7	17,5 (40)
6356а (Созвездие *Vf* × Памяти Хитрово *Vf*)	5	19,2 (26)
6353 (Поэзия *Vf* × Афродита *Vf*)	2	11,8 (17)
6348 (Поэзия *Vf* × Краса Свердловска)	1	–
6349 (Приокское *Vf* × Краса Свердловска)	1	–
6388 (Гирлянда *Vf* × 30-47-88 *Vf*)	4	2,9 (137)
6413 (Поэзия *Vf* 30-47-88 *Vf*)	3	14,3 (21)
6414 (Приокское *Vf* × 30-47-88 *Vf*)	3	10,7 (28)
6415 (Поэзия *Vf* × Имрус *Vf*)	2	16, 6 (12)
6420 (Имрус *Vf* × 30-47-88 *Vf*)	3	12 (25)
6424 (Свежесть × Афродита)	6	26 (23)
6396 (Имрус × Свежесть)	8	6,7 (119)
6397 (Имрус × 31-5-42)	8	14,3 (56)
6398 (Имрус *Vf* × Чистотел *Vm*)	11	23,9 (46)
6303 (Северный синап × Приокское)	2	3,7 (54)
6403 (Северный синап × Имрус)	11	14,3 (77)
6299 (Созвездие × 31-5-42)	1	3,1 (32)
Приокское × 30-47-88	8	14,3 (56)

Table 3

Complex donor

Hybrid family	*Number of complex donors (Vf + Md-PG1)*	*% of the total number of seedlings in the family*
6348 (Poeziya Vf × Krasa Sverdlovska)	*11*	*17.1 (64)*
6349 (Priokskoe Vf × Krasa Sverdlovska)	*4*	*16 (25)*
6354 (Priokskoe Vf × Svezhest' Vf)	*7*	*17.5 (40)*
6356a ((Sozvezdie Vf × Pamyati Khitrovo Vf)	*5*	*19.2 (26)*
6353 (Poeziya Vf × Afrodita Vf)	*2*	*11.8 (17)*
6348 (Poeziya Vf × Krasa Sverdlovska)	*1*	–
6349 (Priokskoe Vf × Krasa Sverdlovska)	*1*	–
6388 (Girlyanda Vf × 30-47-88 Vf)	*4*	*2.9 (137)*
6413 (Poeziya Vf 30-47-88 Vf)	*3*	*14.3 (21)*
6414 (Priokskoe Vf × 30-47-88 Vf)	*3*	*10.7 (28)*
6415 (Poeziya Vf × Imrus Vf)	*2*	*16.6 (12)*
6420 (Imrus Vf × 30-47-88 Vf)	*3*	*12 (25)*
6424 (Svezhest' × Afrodita)	*6*	*26 (23)*
6396 (Imrus × Svezhest')	*8*	*6.7 (119)*
6397 (Imrus × 31-5-42)	*8*	*14.3 (56)*
6398 (Imrus Vf × Chistotel Vm)	*11*	*23.9 (46)*
6303 (Severnyy sinap × Priokskoe)	*2*	*3.7 (54)*
6403 (Severnyy sinap × Imrus)	*11*	*14.3 (77)*
6299 ((Sozvezdie × 31-5-42)	*1*	*3.1 (32)*
Priokskoe × 30-47-88	*8*	*14.3 (56)*

34-15-111 (Веньяминовское × 25-37-45 (Орловская гирлянда × Уэлси 4х)). Триплоидный, плоды в холодильнике сохраняются до конца марта.

34-16-1 (Строевское × 25-37-45 (Орловская гирлянда × Уэлси 4х)). Триплоидный, с плодами осеннего срока созревания. В холодильнике плоды могут сохраняться до ноября.

34-16-57 (Веньяминовское × Ветеран). Плоды в холодильнике сохраняются до середины февраля.

34-18-137 (Строевское × 29-40-99 (Орлик × Reca)). Внешний вид оценивается в 4,5 балла. Вкус кисло-сладкий, оценивается в 4,3 балла.

34-21-20 (Антоновка обыкновенная × 30-47-88 (Либерти × 13-6-106)). Триплоидный, с плодами позднезимнего срока созревания. В холодильнике плоды сохраняются до первой декады апреля.

Проведена масштабная работа по поиску и идентификации на гибридном фонде яблони ВНИИСПК как гибридов, несущих ген устойчивости к парше по различным типам ДНК-маркеров, так и комплексных гибридов с генами устойчивости к парше и с повышенным потенциалом лежкости плодов. Практическая значимость заключается в возможности ускорения селекционного процесса, а именно в создании новых сортов с комплексной устойчивостью к парше и повышенным потенциалом лежкости плодов.

Библиографический список

1. Жданов В. В., Седов Е. Н. Селекция яблони на устойчивость к парше. Тула: Приокское кн. изд-во, 1991. 208 с.

2. Седов Е. Н., Янчук Т. В., Корнеева С. А. Новые диплоидные, триплоидные, иммунные к парше и колонновидные сорта яблони в совершенствовании сортимента // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 1. С. 25–31. DOI: 10.30850/vrsn/2022/1/25-31.

3. Седов Е. Н., Янчук Т. В., Корнеева С. А. Результаты 70-летней работы по созданию новых сортов яблони и внедрению их в производство // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2025. № 5. С. 46–51. DOI: 10.7868/S3034519725050089.

4. Должикова М. А., Пикунова А. В., Седов Е. Н., Серова З. М. ДНК-генотипирование гибридного фонда яблони ВНИИСПК на присутствие гена *Vf* устойчивости к парше // Современное садоводство. 2018. № 3 (27). С. 27–32.

5. Пикунова А. В., Должикова М. А., Галашева А. М. [и др.]. Валидация ДНК маркеров гена *MdMYBI* окраски плода яблони (*Malus* Mill.) // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39, № 11. С. 55–60. DOI: 10.53859/02352451_2025_39_11_55.

6. Должикова М. А. Анализ гибридного фонда яблони (*Malus* Mill.) на наличие ДНК-маркера гена *Vf* устойчивости к парше (*Venturia inaequalis*) // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2022. Т. 9, № 1. С. 47–51. DOI: 10.24411/25000454_2022_0109.

7. Красова Н. Г., Пикунова А. В., Галашева А. М. Оценка исходного материала генофонда яблони по устойчивости к парше // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 6. С. 49–54. DOI: 10.30850/vrsn/2020/6/49-54.

8. Ульяновская Е. В., Чернуцкая Е. А., Балапанов И. М., Токмаков С. В. Оценка генетического разнообразия яблони по генам устойчивости к парше *Rvi2*, *Rvi3*, *Rvi5*, *Rvi15* // Садоводство и виноградарство. 2023. № 2. С. 21–27. DOI: 10.31676/0235-2591-2023-2-21-27.

9. López-Girona E., Kirk C., Deng C. H., et al. Fine-mapping, candidate gene identification, and marker development for the apple scab resistance gene *Rvi2* // Journal of Experimental Botany. 2026. Vol. 77, No. 6. Pp. 1647–1662. DOI 10.1093/jxb/eraf504.

10. Guzu G. M., Zagrai I., Hârţa M., et al. Genetic diversity of host-pathogen and breeding for resistance to *Venturia inaequalis* Cooke (Wint.): a review // Journal of Central European Agriculture. 2025. Vol. 26, No. 3. Pp. 694–709. DOI: 10.5513/JCEA01/26.3.4621.

11. Patocchi A., Wehrli A., Dubuis P. H., et al. Ten years of VINQUEST: First insight for breeding new apple cultivars with durable apple scab resistance // Plant Disease. 2020. No. 8. Pp. 2074–2081. DOI: 10.1094/PDIS-11-19-2473-SR.

12. Bus V. G., Rikkerink E. H., Caffier V., Durel C. E., Plummer K. M. Revision of the nomenclature of the differential host-pathogen interactions of *Venturia inaequalis* and *Malus* // Annual Review of Phytopathology. 2011. Vol. 49, No. 1. Pp. 391–413. DOI: 10.1146/annurev-phyto-072910-095339.

13. Masny S. Occurrence of *Venturia inaequalis* races in Poland able to overcome specific apple scab resistance genes // European Journal of Plant Pathology. 2017. Vol. 147, No. 2. Pp. 313–323. DOI: 10.1007/s10658-016-1003-x.

14. Papp D. Gangadharappa Harigondra S., Paredes C., et al. Strong genetic differentiation between generalist populations of *Venturia inaequalis* and populations from partially resistant apple cultivars carrying *Rvi3* or *Rvi5* // Diversity. 2022. Vol. 14, No. 12. DOI: 10.3390/d14121050.

15. Должикова М. А., Янчук Т. В., Галашева А. М, Корнеева С. А., Павленко А. А. Поражение паршой (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter) яблони (*Malus domestica* Borkh.) некоторых сортов с геном *Vf* (*Rvi6*) на территории Орловской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 11. С. 1396–1405. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-11-1396-1405.

16. Longhi S., Hamblin M. T., Trainotti L., et al. Candidate gene based approach validates *Md-PG1* as the main responsible for a QTL impacting fruit texture in apple (*Malus* × *domestica* Borkh) // BMC Plant Biology. 2013. Vol. 13, No. 1. DOI: 10.1186/1471-2229-13-37.

17. Moriya S., Kunihisa M., Okada K., et al. Identification of QTLs for flesh mealiness in apple (*Malus*× *domestica* Borkh.) // The Horticulture Journal. 2017. Vol. 86, No. 2. Pp. 159–170. DOI: 10.2503/hortj.MI-156.

18. Doyle J. J. Isolation of plant DNA from fresh tissue // Focus. 1990. Vol. 12. Pp. 13–15.

19. Afunian M. R., Goodwin P. H., Hunter D. M. Linkage of *Vfa4* in *Malus* × *domestica* and *Malus floribunda* with *Vf* resistance to the apple scab pathogen *Venturia inaequalis* // Plant Pathology. 2004. Vol. 53, No. 4. Pp. 461–467. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2004.01047.x.

20. Vinatzer B. A., Patocchi A., Tartarini S., et al. Isolation of two microsatellite markers from BAC clones of the *Vf* scab resistance region and molecular characterization of scab-resistant accessions in *Malus* germplasm // Plant Breeding. 2004. Vol. 123, No. 4. Pp. 321–326. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2004.00973.x.

21. Bus V. G. M., Laurens F. N. D., Van de Weg W. E., et al. The *Vh8* locus of a new gene-for-gene interaction between *Venturia inaequalis* and the wild apple *Malus sieversii* is closely linked to the *Vh2* locus in *Malus pumila* R12740-7A // New Phytologist. 2005. Vol. 166, No. 3. Pp. 1035–1049. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01395.x.

22. Patocchi A., Frei A., Frey J. E., Kellerhals M. Towards improvement of marker assisted selection of apple scab resistant cultivars: *Venturia inaequalis* virulence surveys and standardization of molecular marker alleles associated with resistance genes // Molecular Breeding. 2009. Vol. 24, No. 4. Pp. 337–347. DOI: 10.1007/s11032-009-9295-6.

23. Hemmat M., Brown S. K., Weeden N. F. Tagging and mapping scab resistance genes from R12740-7A apple // Journal of the American Society for Horticultural Science. 2002. Vol. 127, No. 3. Pp. 365–370.

24. Patocchi A., Walser M., Tartarini S., et al. Identification by genome scanning approach (GSA) of a microsatellite tightly associated with the apple scab resistance gene *Vm* // Genome. 2005. Vol. 48, No. 4. Pp. 630–636. DOI: 10.1139/g05-036.

25. Пикунова А. В., Седов Е. Н. Расовый состав *Venturia inaequalis* в условиях Орловской области // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53, № 5. С. 293–300. DOI: 10.1134/S0026364819050040.

26. Лыжин А. С., Савельева Н. Н. Маркер-опосредованный скрининг иммунных к парше (*Rvi6* + *Rvi4*) генотипов яблони // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 67. DOI: 10.30679/2219-5335-2021-1-67-1-9.

27. Савельева Н. Н., Юшков А. Н., Земисов А. С. [и др.]. Обеспечение стабильности устойчивости генотипов яблони к грибу *Venturia inaequalis* (Cooke) Wiht // Биосфера. 2022. Т. 14, № 4. С. 384–386.

Об авторах:

Мария Александровна Должикова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0002-2641-2172, AuthorID 971277. *E-mail: dolzhikova.mari94@mail.ru*

Анна Викторовна Пикунова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0003-4269-4250, AuthorID 750838. *E-mail: pikunova@orel.vniispk.ru*

Татьяна Владимировна Янчук, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции семечковых культур, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0003-4077-7095, AuthorID 607593. *E-mail: yanchuk@orel.vniispk.ru*

Виктория Евгеньевна Колмыкова, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0009-0003-9604-7080, AuthorID 1113302. *E-mail: kolmykova@orel.vniispk.ru*

Анна Андреевна Павленко, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0002-7664-8896, AuthorID 1035311 *E-mail: pavlenko@orel.vniispk.ru*

References

1. Zhdanov V. V., Sedov E. N. *Apple breeding for scab resistance.* Tula: Priokskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1991. 208 p. (In Russ.)

2. Sedov E. N., Yanchuk T. V., Korneeva S. A. New diploid, triploid, immunal to scab and column-like apple tree varieties in assortment improvement. *Vestnik of the Russian Agricultural Science.* 2022; 1: 25–31. DOI: 10.30850/vrsn/2022/1/25-31. (In Russ.)

3. Sedov E. N., Yanchuk T. V., Korneeva S. A. Results of 70 years work to bread new apple varieties and introduce them into production. *Vestnik of the Russian Agricultural Science.* 2025; 46–51. DOI: 10.7868/S3034519725050089. (In Russ.)

4. Dolzhikova M. A., Pikunova A. V., Sedov E. N., Serova Z. M. DNA genotyping of the hybrid fund of apple VNIISPK for the presence of VFC DNA marker for resistance to scab. *Contemporary Horticulture*. 2018; 3 (27): 27–32. (In Russ.)

5. Pikunova A. V., Dolzhikova M. A., Galasheva A. M., et al. Validation of DNA markers of the MdMYB1 gene of apple fruit colour (*Malus* Mill.). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2025; 39 (11): 55–60. DOI: 10.53859/02352451_2025_39_11_55. (In Russ.)

6. Dolzhikova M. A. Analysis of the apple tree (*Malus* Mill.) hybrid fund for the presence of the DNA marker of the *Vf* gene of resistance to scab (*Venturia inaequalis*). *Breeding and Variety Cultivation of Fruit and Berry Crops*. 2022; 9 (1): 47–51. DOI: 10.24411/25000454_2022_0109. (In Russ.)

7. Krasova N. G., Pikunova A. V., Galasheva A. M. Assessment of initial material of an apple tree gene pool to scab resistance. *Vestnik of the Russian Agricultural Science.* 2020; 6: 49–54. DOI: 10.30850/vrsn/2020/6/49-54 (In Russ.)

8. Ulyanovskaya E. V., Chernutskaya E. A., Balapanov I. M., Tokmakov S. V. Evaluation of apple genetic diversity by *RVI2, RVI3, RVI5, RVI15* scab resistance genes. *Horticulture and Viticulture*. 2023; 2: 21–27. DOI: 10.31676/0235-2591-2023-2-21-2. (In Russ.)

9. López-Girona E., Kirk C., Deng C. H., et al. Fine-mapping, candidate gene identification, and marker development for the apple scab resistance gene *Rvi2*. *Journal of Experimental Botany.* 2026; 77 (6): 1647–1662. DOI: 10.1093/jxb/eraf504.

10. Guzu G. M., Zagrai I., Hârţa M., et al. Genetic diversity of host-pathogen and breeding for resistance to *Venturia inaequalis* Cooke (Wint.): a review. *Journal of Central European Agriculture*. 2025; 26 (3): 694–709. DOI: 10.5513/JCEA01/26.3.4621.

11. Patocchi A., Wehrli A., Dubuis P. H., et al. Ten years of VINQUEST: first insight for breeding new apple cultivars with durable apple scab resistance. *Plant Disease*. 2020; 104 (8): 2074–2081. DOI: 10.1094/PDIS-11-19-2473-SR.

12. Bus V. G., Rikkerink E. H., Caffier V., Durel C. E., Plummer K. M. Revision of the nomenclature of the differential host-pathogen interactions of *Venturia inaequalis* and *Malus*. *Annual Review of Phytopathology*. 2011; 49 (1): 391–413. DOI: 10.1146/annurev-phyto-072910-095339.

13. Masny S. Occurrence of *Venturia inaequalis* races in Poland able to overcome specific apple scab resistance genes. *European Journal of Plant Pathology*. 2017; 147 (2): 313–323. DOI: 10.1007/s10658-016-1003-x.

14. Papp D. Gangadharappa Harigondra S., Paredes C., et al. Strong genetic differentiation between generalist populations of *Venturia inaequalis* and populations from partially resistant apple cultivars carrying *Rvi3* or *Rvi5*. *Diversity.* 2022; 14 (12): 1050. DOI: 10.3390/d14121050.

15. Dolzhikova M. A., Yanchuk T. V., Galasheva A. M., Korneeva S. A., Pavlenko A. A. Scab (*Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter) lesion on some apple (*Malus domestica* Borkh.) varieties with the *Vf* gene (*Rvi6*) in Oryol region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (11): 1396–1405. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-11-1396-1405. (In Russ.)

16. Longhi S., Hamblin M. T., Trainotti L., Peace C. P., Velasco R., Costa F. A candidate gene based approach validates *Md-PG1* as the main responsible for a QTL impacting fruit texture in apple (*Malus* × *domestica* Borkh). *BMC Plant Biology.* 2013; 13 (1): 37. DOI: 10.1186/1471-2229-13-37.

17. Moriya S., Kunihisa M., Okada K., et al. Identification of QTLs for flesh mealiness in apple (*Malus*× *domestica* Borkh.). *The Horticulture Journal*. 2017; 86 (2): 159–170. DOI: 10.2503/hortj.MI-156.

18. Doyle J. J. Isolation of plant DNA from fresh tissue. *Focus*. 1990; 12: 13–15.

19. Afunian M. R., Goodwin P. H., Hunter D. M. Linkage of *Vfa4* in *Malus* × *domestica* and *Malus floribunda* with *Vf* resistance to the apple scab pathogen *Venturia inaequalis*. *Plant Pathology*. 2004; 53 (4): 461–467. DOI: 10.1111/j.1365-3059.2004.01047.x.

20. Vinatzer B. A., Patocchi A., Tartarini S., et al. Isolation of two microsatellite markers from BAC clones of the *Vf* scab resistance region and molecular characterization of scab-resistant accessions in *Malus* germplasm. *Plant Breeding*. 2004; 123 (4): 321–326. DOI: 10.1111/j.1439-0523.2004.00973.x.

21. Bus V. G. M., Laurens F. N. D., Van de Weg W. E., Rusholme R. L., Rikkerink E. H. A., Gardiner S. E., Bassett H. C. M., Kodde L. P., Plummer K. M. The *Vh8* locus of a new gene-for-gene interaction between *Venturia inaequalis* and the wild apple *Malus sieversii* is closely linked to the *Vh2* locus in *Malus pumila* R12740-7A. *New Phytologist*. 2005; 166 (3): 1035–1049. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01395.x.

22. Patocchi A., Frei A., Frey J. E., Kellerhals. M. Towards improvement of marker assisted selection of apple scab resistant cultivars: *Venturia inaequalis* virulence surveys and standardization of molecular marker alleles associated with resistance genes. *Molecular Breeding*. 2009; 24 (4): 337–347.

23. Hemmat M., Brown S. K., Weeden N. F. Tagging and mapping scab resistance genes from R12740-7A apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 2002; 127 (3): 365–370.

24. Patocchi A., Walser M., Tartarini S., et al. Identification by genome scanning approach (GSA) of a microsatellite tightly associated with the apple scab resistance gene *Vm*. *Genome.* 2005; 48 (4): 630–636. DOI: 10.1139/g05-036.

25. Pikunova A. V., Sedov E. N. The racial composition of *Venturia inaequalis* in environments of the Oryol region. *Mycology and Phytopathology.* 2019; 53 (5): 293–300. DOI: 10.1134/S0026364819050040. (In Russ.)

26. Lyzhin A. S., Savelyeva N. N. Marker-mediated screening of apple genotypes immune to scab (*Rvi6* + *Rvi4*). *Fruit Growing and Viticulture of South Russia.* 2021; 67. DOI: 10.30679/2219-5335-2021-1-67-1-9. (In Russ.)

27. Savelyeva N. N., Yushkov A. N., Zemisov A. S., et al. Ensuring the stability of apple tree genotypes' resistance to the fungus *Venturia inaequalis* (Cooke) With. *Biosphere*. 2022; 14 (4): 384–386. (In Russ.)

Authors' information:

Mariya A. Dolzhikova, candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of molecular genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0002-2641-2172, AuthorID 971277.
E-mail: dolzhikova.mari94@mail.ru

Anna V. Pikunova, candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of molecular genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0003-4269-4250, AuthorID 750838.
E-mail: pikunova@orel.vniispk.ru

Tatyana V. Yanchuk, candidate of agricultural sciences, chief researcher at the laboratory of pome crop breeding, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia;
ORCID 0000-0003-4077-7095, AuthorID 607593. *E-mail: yanchuk@orel.vniispk.ru*

Viktoriya E. Kolmykova, junior researcher at the laboratory of molecular genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0009-0003-9604-7080, AuthorID 1113302. *E-mail: kolmykova@orel.vniispk.ru*

Anna A. Pavlenko, junior researcher at the laboratory of molecular genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0002-7664-8896, AuthorID 1035311. *E-mail: pavlenko@orel.vniispk.ru*

УДК 633.13:631 524.01 (571.12)
Код ВАК 4.1.2
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1896-1907

Сортовая реакция ячменя на хлоридное засоление: значение для селекции и производства

Д. И. Еремин✉, **В. В. Сахарова, А. В. Любимова**
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия
✉*E-mail: soil-tyumen@yandex.ru*

Аннотация. **Цель** работы – определение генотипов ярового ячменя, обладающих контрастной реакцией на хлоридно-натриевое засоление и перспективных для разработки биохимических маркеров, используемых на ранних этапах селекции. **Методы.** В коллекции современных сортов ячменя и перспективных селекционных линий были определены физиологические показатели на ранних этапах прорастания зерна (до 7 суток): энергия прорастания, лабораторная всхожесть, индекс скорости прорастания, воздушно-сухая биомасса проростков, индекс длины корней. Семена ячменя были собраны из высеянной коллекции в 2023 и 2024 гг. **Научная новизна.** Впервые была изучена реакция районированных в Тюменской области сортов и ценных селекционных линий ячменя на возрастающий уровень хлоридно-натриевого засоления и определены генотипы, обладающие контрастной реакцией на засоление. **Результаты.** Установлено, что концентрация хлорида натрия 5 г/л обеспечивает достоверное выявление устойчивых и восприимчивых генотипов овса на ранних этапах онтогенеза. Все изучаемые показатели, за исключением индекса прорастания, имеют сильную отрицательную корреляцию с количеством баллов солеустойчивости ($r > 0,7$), что дает возможность достоверной оценки генотипов по минимальному количеству признаков. При концентрации 5 г/л энергия прорастания и лабораторная всхожесть снижаются до 26–74 и 52–92 % соответственно, что обуславливает четкую дифференциацию коллекции ячменя по степени восприимчивости к NaCl. При данной концентрации сорта Кудесник и Абалак в максимальной степени угнетались: длина корней была на 44 и 46 % меньше контроля соответственно. У сортов Зенит и Дивный этот показатель был значительно меньше – 8 и 12 % соответственно. **Рекомендации.** Для биохимического маркирования солеустойчивости рекомендуется использовать в качестве устойчивых генотипов Ачу и ТМ16-6-18, а восприимчивых – ТМ16-25-10 и ТМ18-80-4. Современные сорта ячменя по степени солеустойчивости имеют следующий ряд: Абалак (чувствительный) – Кудесник – Дивный – Зенит – Ача (устойчивый). Селекционные линии ТМ17-1-12; ТМ10-30-4; ТМ16-25-20 и ТМ18-80-4 рекомендуются для создания солеустойчивых сортов ячменя.

Ключевые слова: абиотические факторы, солеустойчивость, ячмень, хлоридно-натриевое засоление, биохимические маркеры, селекция, прорастание зерна, индекс длины корней

Благодарности. Работа финансировалась за счет средств бюджета Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН» «Разработка ускоренной системы отбора устойчивых к абиотическим факторам ценных генотипов зернофуражных культур (ячмень, овес) методом биохимического маркирования» (FWRZ-2024-0008).

Для цитирования: Еремин Д. И., Сахарова В. В., Любимова А. В. Сортовая реакция ячменя на хлоридное засоление: значение для селекции и производства // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1896–1907. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1896-1907.

Дата поступления статьи: 22.07.2026, ***дата рецензирования:*** 08.08.2026, ***дата принятия:*** 20.08.2026.

© Еремин Д. И., Сахарова В. В., Любимова А. В., 2026

Varietal reaction of barley to chloride salinization: importance for breeding and production

D. I. Eremin✉, **V. V. Sakharova, A. V. Lyubimova**
Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center "Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia
✉*E-mail: soil-tyumen@yandex.ru*

Abstract. **The purpose** of the study is to determine the genotypes of spring barley that have a contrast reaction to sodium chloride salinity and are promising for the development of biochemical markers used in the early stages of breeding. **Methods**. In the collection of modern barley cultivars and promising breeding lines, physiological parameters were determined at the early stages of grain germination (up to 7 days): germination energy, laboratory germination, germination rate index, air-dry biomass of seedlings, root length index. Barley seeds were collected from the sown collection in 2023 and 2024. **Scientific novelty.** For the first time, the reaction of barley varieties and valuable breeding lines zoned in the Tyumen region to the increasing level of sodium chloride salinity was studied and genotypes with a contrasting response to salinity were identified. **Results.** It has been established that a sodium chloride concentration of 5 g/l provides reliable detection of stable and susceptible oat genotypes at the early stages of ontogenesis. All the studied indicators, with the exception of the germination index, have a strong negative correlation with the number of salt tolerance points ($r > 0.7$), which makes it possible to reliably assess genotypes based on the minimum number of signs. At a concentration of 5 g/l, germination energy and laboratory germination rate decrease to 26–74 and 52–92 %, respectively, which leads to a clear differentiation of the barley collection according to the degree of susceptibility to NaCl. At this concentration, the cultivars Kudesnik and Abalak were maximally suppressed – the root length was 44 and 46 % less than the control, respectively. For Zenit and Divnyy cultivars, this indicator was significantly lower – 8 and 12 %, respectively. **Recommendations**. For biochemical labeling of salt resistance, it is recommended to use: Acha and TM16-6-18 as resistant genotypes, and TM16-25-10 and TM18-80-4 as susceptible genotypes. Modern barley cultivars have the following range in terms of salt tolerance: Abalak (sensitive) – Kudesnik – Divnyy – Zenit – Acha (stable). The breeding lines TM17-1-12; TM10-30-4; TM16-25-20 and TM18-80-4 are recommended for the creation of salt-resistant barley cultivars.

Keywords: abiotic factors, salt tolerance, barley, sodium chloride salinity, biochemical markers, breeding, grain germination, root length index

Acknowledgements. The study was funded by the budget of the Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center "Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" "Development of an accelerated system for selecting valuable genotypes of grain crops (barley, oats) resistant to abiotic factors by biochemical labeling" (FWRZ-2024-0008).

For citation: Eremin D. I., Sakharova V. V., Lyubimova A. V. Varietal reaction of barley to chloride salinization: significance for breeding and production. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1896–1907. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1896-1907. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.07.2026, ***date of review:*** 08.08.2026, ***date of acceptance:*** 20.08.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Глобальные климатические изменения на планете прежде всего отражаются на условиях произрастания сельскохозяйственных культур. В зоне умеренно теплого и влажного климата все чаще проявляются контрастные погодные условия, обуславливающие чередование влажного и засушливого вегетационного периода. Это часто становится причиной нестабильного уровня грунтовых вод в регионах. Для Западной Сибири, которая по своему ландшафту отнесена к равнине с низменным рельефом, высота подъема грунтовых вод в совокупности с верховодкой крайне критична. В подтаежной зоне подъем грунтовых вод приводит к переувлажнению с последующим заболачиванием. Для лесостепной зоны близость грунтовых вод к поверхности почвы становится причиной современного засоления. Систематический мониторинг плодородия земель сельскохозяйственного назначения, проводимый Тюменским филиалов ФГБУ «РосАгрохимслужба», отмечает увеличение площади сельскохозяйственных угодий, подвергшихся

© Eremin D. I., Sakharova V. V., Lyubimova A. V., 2026

засолению [1]. В Тюменской области уже выделены административные районы, где эта проблема приобрела глобальный характер: Сладковский, Казанский, Армизонский и Бердюжский, которые располагаются в южной лесостепи. В Западной Сибири среди водорастворимых солей, представляющих угрозу землям сельскохозяйственного назначения, чаще всего встречаются хлориды и чуть реже сульфаты натрия. Содовое засоление имеет локальный характер и характерно для в зоне распространения солонцов и солонцовых почв [2].

В связи с этим возникла необходимость своевременного реагирования на проявление засоления в сельскохозяйственной зоне Западной Сибири. Мелиоративные приемы по рассолению почв очень дорогостоящие, и многие землепользователи не могут их проводить самостоятельно. Помимо этого, особенности рельефа и гидрографии отдельных муниципальных районов не дают возможности проводить мелиоративные мероприятия.

По этим причинам аграриям, на территории которых присутствуют почвы различной степени засоления, необходимо иметь солеустойчивые сорта сельскохозяйственных культур. Среди зерновых культур ячмень считается наиболее устойчивым к почвенному засолению [3].

Традиционно сложилось так, что селекция зернофуражных культур в Западной Сибири велась на повышение генетической устойчивости к кислым и низкоплодородным почвам [4]. В условиях глобального потепления возникла необходимость использования новых подходов к определению степени солеустойчивости на ранних этапах селекции. Также немаловажным аспектом является необходимость поиска генотипов с контрастной реакцией на засоление – от чувствительных до толерантных. Это дает возможность максимально быстрого выявления биохимических маркеров, позволяющих установить уровень стрессоустойчивости зерновых культур от различного уровня и химизма засоления.

Ячмень – культура, наиболее выносливая к почвенному засолению, поэтому для хозяйств, чьи почвы подверглись засолению, она будет оптимальной. Вместе с тем отмечено, что многие современные сорта ячменя в ходе селекционной работы утратили устойчивость к водорастворимым солям, встречающимся в почвах [5; 6]. Поэтому крайне важно определить наиболее солеустойчивые генотипы ячменя и использовать их в селекционных программах по созданию новых солеустойчивых сортов.

Цель работы – определение генотипов ярового ячменя, обладающих контрастной реакцией на хлоридно-натриевое засоление и перспективных для разработки биохимических маркеров, используемых на ранних этапах селекции.

Методология и методы исследования (Methods)

Солеустойчивость генотипов ячменя определяли с помощью модельного эксперимента, имитирующего различную степень хлоридно-натриевого засоления почвы. Опыт был поставлен в лаборатории геномных исследований в растениеводстве Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». В качестве объекта исследований были выбраны 5 отечественных сортов ячменя: Ача, Зенит, Абалак, Кудесник и Дивный. Также были взяты 15 ценных селекционных линий, созданных в НИИСХ Северного Зауралья: ТМ15-29-24, ТМ10-30-2, ТМ10-30-4, ТМ15-29-11, ТМ16-6-4, ТМ16-25-10, ТМ16-6-10, ТМ16-24-11, ТМ16-6-18, ТМ16-6-14, ТМ17-44-9, ТМ17-2-1, ТМ17-1-12, ТМ18-80-6, ТМ18-80-4. Семенной материал был предоставлен отделом селекции зернофуражных культур из урожая 2023 и 2024 годов, полученного на опытном поле НИИСХ Северного Зауралья.

Погодные условия вегетационного периода 2023 и 2024 годов в целом были благоприятны для формирования и налива зерна ячменя (таблица 1). Погода во время посевных работ (май) кардинально отличалась, о чем свидетельствует гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), равный 0,1 (очень сухо) и 1,6 (влажно). Несмотря на это, погодные условия в время прорастания ячменя и формирования урожая (кущение) были схожи и оптимальны. Температура воздуха в дневные часы в среднем составляла +20…+23 °С и понижением ночью до +12…+14 °С. В июне выпало 86 и 100 мм осадков соответственно с превышением нормы на 40–64 %. Обильные осадки июня обеспечили посевы ячменя до конца его вегетации, обеспечив благоприятный водный режим в июле. Выколашивание и налив зерна проходили в условиях повышенных температур и недобора атмосферных осадков: гидротермический коэффициент Селянинова составил 0,8–0,9 при норме 1,7. Созревание ячменя также проходило в контрастных условиях. В 2023 году ГТК был равен 0,4, что соответствовало очень сухой погоде, а в 2024 году он составил 2,0 (влажные условия). В этот период температура воздуха превышала среднемноголетнее значение на 19–31 %.

Таким образом, несмотря на наличие контрастных погодных условий, вегетационный период в годы получения семенного материала для модельного опыта был благоприятным, что положительно отразилось на посевных качествах зерна.

Оценку чувствительности к солевому засолению проводили на ранних этапах онтогенеза методом рулонной культуры [7; 8]. В рулон из фильтровальной бумаги (ширина 20 см) помещали по 50 одинаковых по размеру семян ячменя без видимых

повреждений. Для снижения вероятности развития плесневых грибов семена дезинфицировали, помещая их на 15 минут в раствор гипохлорита натрия с последующей промывкой в дистиллированной воде. Полученный рулон оборачивали пищевой пленкой, чтобы избежать испарения воды и повышения концентрации соли в зоне прорастания семян. Рулоны помещали в стеклянные сосуды, добавляя в них по 150 мл дистиллированной воды (контроль) или раствор хлорида натрия соответствующей концентрации.

В опыте использовали 3 уровня засоления: 1 г/л (17,1 ммоль/л), 3 г/л (51,3 ммоль/л), 5 г/л (85,6 ммоль/л), что соответствовало средней (0,10–0,30 % к массе почвы), сильной (0,31–0,60 %) и очень сильной (> 0,61 %) степени засоления. Осмотическое давление используемых в опыте концентраций хлористого натрия соответствовало следующим величинам: 0,8, 2,5 и 8,4 атм. Модельный опыт закладывали в четырехкратной повторности. Рулоны размещали вертикально в стеклянные стаканы, оборачивали пленкой и помещали в термостат на 7 суток. Температура в термостате поддерживалась на уровне +20…+22 °С. Освещение отсутствовало, влажность воздуха не регулировалась. Через 72 часа рулоны вынимали из термостата и проводили подсчет проросших семян ячменя, после чего бумажные полосы сворачивали в рулоны и помещали обратно в термостат. Через 7 суток вновь проводили осмотр, фиксируя количество проросших семян, длину первичных корешков, воздушно-сухую массу ростков и корешков.

В опыте определяли энергию прорастания, лабораторную всхожесть, индекс скорости прорастания (ИСП), биомассу проростков (воздушно-сухое состояние), индекс длины корней (ИДК) как отношение длины на вариантах к контролю. Все результаты представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения ($X_{ср.} \pm SD$). Ранжирование генотипов ячменя по степени восприимчивости к хлоридно-натриевому засолению проводили по всем изучаемым показателям с последующим суммированием баллов и группируя их согласно принципам квартильного анализа. Статистическая обработка велась с помощью компьютерной программы Microsoft Excel. Достоверность результатов определяли по критерию Фишера при $p < 0,05$ и наименьшей существенной разности ($НСР_{05}$).

Результаты (Results)

Энергия прорастания изучаемых генотипов ячменя при отсутствии засоления варьировала в очень широком диапазоне (таблица 2) – от 57 (ТМ18-80-4) до 81 % (Ача). Среднее значение по группе составило 62 % при стандартном отклонении 7,4 и коэффициенте варьирования (CV) 12 %. Столь широкий разброс показателя указывает на необходимость сравнения генотипов не по стандартному сорту, а по варианту, где отсутствует стресс-фактор. К аналогичному выводу ранее пришли А. С. Казакова и С. Ю. Майборода [9]. Через 7 суток количество проросших семян возросло до 65–93 % при CV, равном 10 %. Расчет индекса скорости прорастания (ИСП) показал, что из всей группы генотипов только ТМ15-29-24 характеризовался низкими посевными показателями, что обусловлено его генетическими особенностями.

Таблица 1

Погодные условия в годы получения семян ячменя для модельного опыта

Месяцы	Среднемесячная температура воздуха (день/ночь), °С			Количество осадков, мм			ГТК Селянинова		
	2023 г.	2024 г.	Среднемноголетнее	2023 г.	2024 г.	Среднемноголетнее	2023 г.	2024 г.	Среднемноголетнее
Май	22/9	23/3	12/8	2	40	44	0,1	1,6	1,6
Июнь	20/12	23/14	17/14	86	100	61	1,7	1,8	1,3
Июль	27/17	23/15	19/15	54	54	87	0,8	0,9	1,7
Август	21/12	19/12	16/14	20	95	61	0,4	2,0	1,2
Сентябрь	12/8	17/7	10/12	10	21	45	0,3	0,6	1,5

Table 1

Weather conditions during the years when barley seeds were obtained for the model experiment

Months	*Average monthly air temperature (day/night), °C*			*Precipitation, mm*			*HTC of Selyaninov*		
	2023	*2024*	*Average long-term*	*2023*	*2024*	*Average long-term*	*2023*	*2024*	*Average long-term*
May	*22/9*	*23/3*	*12/8*	*2*	*40*	*44*	*0.1*	*1.6*	*1.6*
June	*20/12*	*23/14*	*17/14*	*86*	*100*	*61*	*1.7*	*1.8*	*1.3*
July	*27/17*	*23/15*	*19/15*	*54*	*54*	*87*	*0.8*	*0.9*	*1.7*
August	*21/12*	*19/12*	*16/14*	*20*	*95*	*61*	*0.4*	*2.0*	*1.2*
September	*12/8*	*17/7*	*10/12*	*10*	*21*	*45*	*0.3*	*0.6*	*1.5*

Таблица 2

Влияние уровня хлоридно-натриевого засоления на прорастание генотипов ячменя

Генотип	Энергия прорастания, %					Лабораторная всхожесть, %				
	0 г/л	1 г/л	3 г/л	5 г/л	Среднее	0 г/л	1 г/л	3 г/л	5 г/л	Среднее
Ача	90	88	80	74	**81**	95	96	90	92	**93**
Зенит	88	86	70	58	**71**	93	95	90	80	**88**
Абалак	91	78	57	35	**57**	94	95	77	54	**75**
Кудесник	90	79	53	37	**56**	95	90	82	56	**76**
Дивный	89	70	58	54	**61**	94	90	87	70	**82**
ТМ15-29-24	77	75	61	62	**66**	97	95	90	83	**89**
ТМ10-30-2	88	75	60	42	**59**	95	90	82	75	**82**
ТМ10-30-4	86	79	55	34	**56**	91	90	68	60	**73**
ТМ15-29-11	84	76	53	37	**55**	92	90	84	72	**82**
ТМ16-6-4	90	82	60	62	**68**	95	95	90	82	**89**
ТМ16-25-10	85	78	65	28	**57**	93	90	86	64	**80**
ТМ16-6-10	87	81	60	54	**65**	95	93	90	81	**88**
ТМ16-24-11	90	79	65	26	**57**	95	82	76	63	**74**
ТМ16-6-18	87	80	67	64	**70**	97	95	90	78	**88**
ТМ16-6-14	86	70	55	33	**53**	93	76	72	53	**67**
ТМ17-44-9	90	89	67	50	**69**	96	93	90	78	**87**
ТМ17-2-1	87	79	59	51	**63**	95	95	79	73	**82**
ТМ17-1-12	83	70	64	33	**56**	92	72	70	52	**65**
ТМ18-80-6	85	84	72	58	**71**	94	90	87	70	**82**
ТМ18-80-4	88	82	57	31	**57**	95	84	75	57	**72**
Среднее	**87**	**79**	**62**	**46**		**94**	**90**	**83**	**70**	
$НСР_{05}$	Фактор А (генотип) – 5 Фактор В (уровень засоления) – 3 Взаимодействие АВ – 6					Фактор А (генотип) – 7 Фактор В (уровень засоления) – 5 Взаимодействие АВ – 8				

Table 2

Effect of the level of chloride-sodium salinity on the germination of barley genotypes

Genotype	*Germination energy, %*					*Laboratory germination, %*				
	0 g/l	*1 g/l*	*3 g/l*	*5 g/l*	*Average*	*0 g/l*	*1 g/l*	*3 g/l*	*5 g/l*	*Average*
Acha	*90*	*88*	*80*	*74*	***81***	*95*	*96*	*90*	*92*	***93***
Zenit	*88*	*86*	*70*	*58*	***71***	*93*	*95*	*90*	*80*	***88***
Abalak	*91*	*78*	*57*	*35*	***57***	*94*	*95*	*77*	*54*	***75***
Kudesnik	*90*	*79*	*53*	*37*	***56***	*95*	*90*	*82*	*56*	***76***
Divnyy	*89*	*70*	*58*	*54*	***61***	*94*	*90*	*87*	*70*	***82***
TM15-29-24	*77*	*75*	*61*	*62*	***66***	*97*	*95*	*90*	*83*	***89***
TM10-30-2	*88*	*75*	*60*	*42*	***59***	*95*	*90*	*82*	*75*	***82***
TM10-30-4	*86*	*79*	*55*	*34*	***56***	*91*	*90*	*68*	*60*	***73***
TM15-29-11	*84*	*76*	*53*	*37*	***55***	*92*	*90*	*84*	*72*	***82***
TM16-6-4	*90*	*82*	*60*	*62*	***68***	*95*	*95*	*90*	*82*	***89***
TM16-25-10	*85*	*78*	*65*	*28*	***57***	*93*	*90*	*86*	*64*	***80***
TM16-6-10	*87*	*81*	*60*	*54*	***65***	*95*	*93*	*90*	*81*	***88***
TM16-24-11	*90*	*79*	*65*	*26*	***57***	*95*	*82*	*76*	*63*	***74***
TM16-6-18	*87*	*80*	*67*	*64*	***70***	*97*	*95*	*90*	*78*	***88***
TM16-6-14	*86*	*70*	*55*	*33*	***53***	*93*	*76*	*72*	*53*	***67***
TM17-44-9	*90*	*89*	*67*	*50*	***69***	*96*	*93*	*90*	*78*	***87***
TM17-2-1	*87*	*79*	*59*	*51*	***63***	*95*	*95*	*79*	*73*	***82***
TM17-1-12	*83*	*70*	*64*	*33*	***56***	*92*	*72*	*70*	*52*	***65***
TM18-80-6	*85*	*84*	*72*	*58*	***71***	*94*	*90*	*87*	*70*	***82***
TM18-80-4	*88*	*82*	*57*	*31*	***57***	*95*	*84*	*75*	*57*	***72***
Average	***87***	***79***	***62***	***46***		***94***	***90***	***83***	***70***	
LSD_{05}	*Factor A (genotype) – 5* *Factor B (salinity level) – 3* *AB interaction – 6*					*Factor A (genotype) – 7* *Factor B (salinity level) – 5* *AB interaction – 8*				

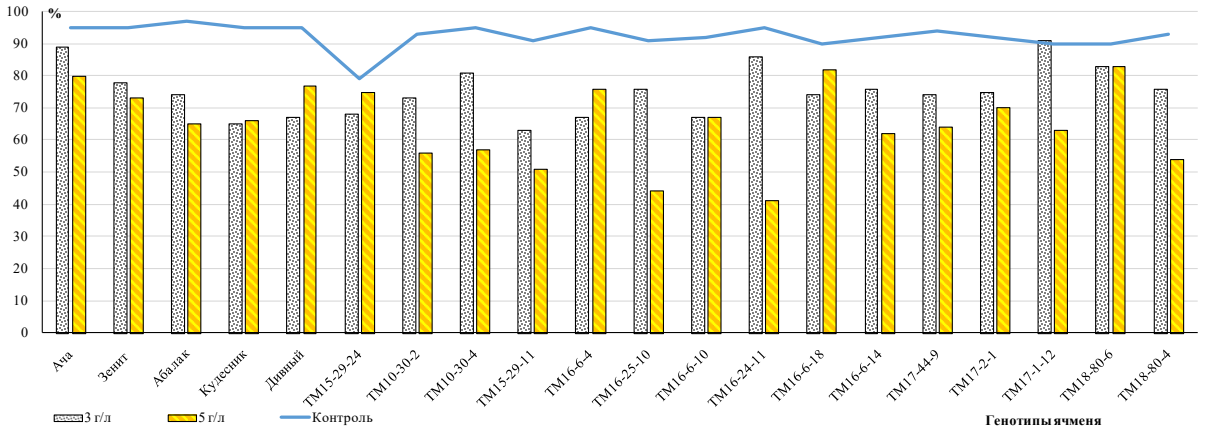


Рис. 1. Влияние уровня хлоридно-натриевого засоления на индекс скорости прорастания зерна ячменя, %. $НСР_{05}$ для фактора А (генотип) – 6 %, фактора В – 8 %, АВ – 10 %

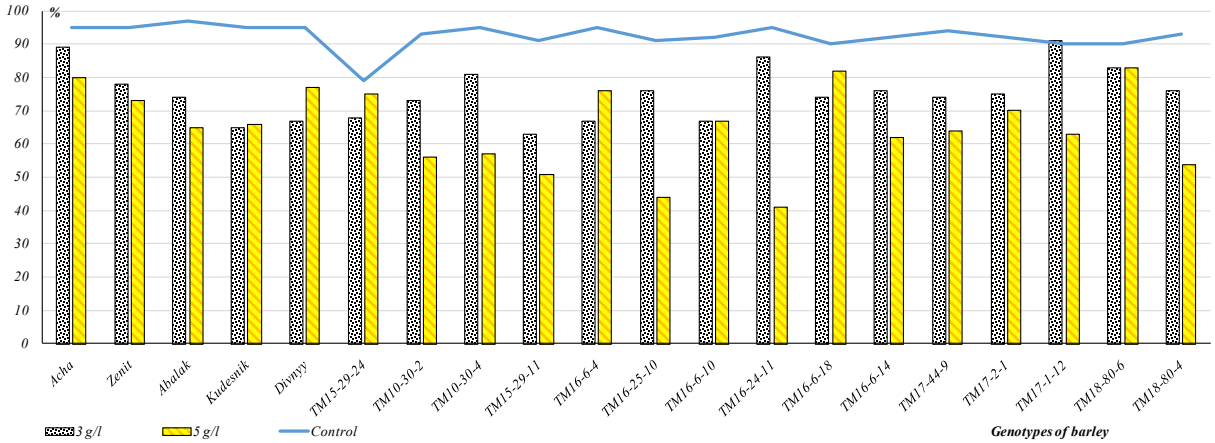


Fig. 1. Effect of the level of chloride-sodium salinity on the germination rate index of barley grain, %. LSD_{05} for factor A (genotype) – 6 %; factor B – 8 %; AB – 10 %

При минимальной концентрации хлорида натрия (1 г/л) энергия прорастания не изменилась только у Ачи, Зенита и следующих селекционных линий ТМ17-44-9, ТМ18-80-6, ТМ15-29-24. У остальных генотипов изменения относительно контроля были выше наименьшей существенной разности ($НСР_{05}$ = 5 %). Через 7 суток проращивания негативное воздействие NaCl (1 г/л) было зафиксировано только у селекционных линий ТМ17-1-12, ТМ16-6-14, ТМ16-24-11, ТМ18-80-4. Лабораторная всхожесть остальных генотипов не отличалась от контроля.

Повышение концентрации хлорида натрия до 3 г/л, соответствующее сильной степени засоления почв, негативно воздействовало на прорастание всех генотипов ячменя – энергия прорастания снизились до 53–80 %. В дальнейшем часть генотипов смогла преодолеть солевой стресс – лабораторная всхожесть приблизилась к значениям контроля (ТМ16-6-4, ТМ16-6-10, Ача, Зенит). Наиболее чувствительными оказались ТМ10-30-4, ТМ17-1-12, ТМ16-6-14, ТМ18-80-4, лабораторная всхожесть которых снизилась до 68–75 %.

Концентрация хлорида натрия 5 г/л соответствует солончаковому типу засоления и наиболее часто встречается во время посевных работ в засушливые годы. Именно в этот период фиксируется гибель прорастающих зерновых культур на почвах, имеющих признаки засоленности. На третий день проращивания минимальное снижение энергии прорастания было зафиксировано у Ачи и ТМ15-29-24. Несколько уступали им Зенит, ТМ16-6-4, ТМ18-80-6, ТМ16-6-10 и ТМ16-6-18. Выделенные генотипы характеризовались минимальным снижением и лабораторной всхожести, которая составила 70–92 %. Наиболее восприимчивыми к высокому уровню засоления оказались сорта Тюменской селекции Абалак и Кудесник: их лабораторная всхожесть составила 54 и 56 % соответственно. Среди селекционных линий восприимчивыми к хлоридно-натриевому засолению были ТМ16-6-14 и ТМ17-1-12.

Интенсивность угнетения прорастающих семян можно определить по индексу скорости прорастания (ИСП). В оптимальных условиях этот показатель для ячменя превышает 90 % [10]. В модельном опыте лишь ТМ15-29-24 характеризовался низким значением ИСП – 79 %, что обусловлено его генетическими особенностями. Остальные генотипы характеризовались очень высокой скоростью прорастания: в течение 3 суток проросло 90–97 % семян.

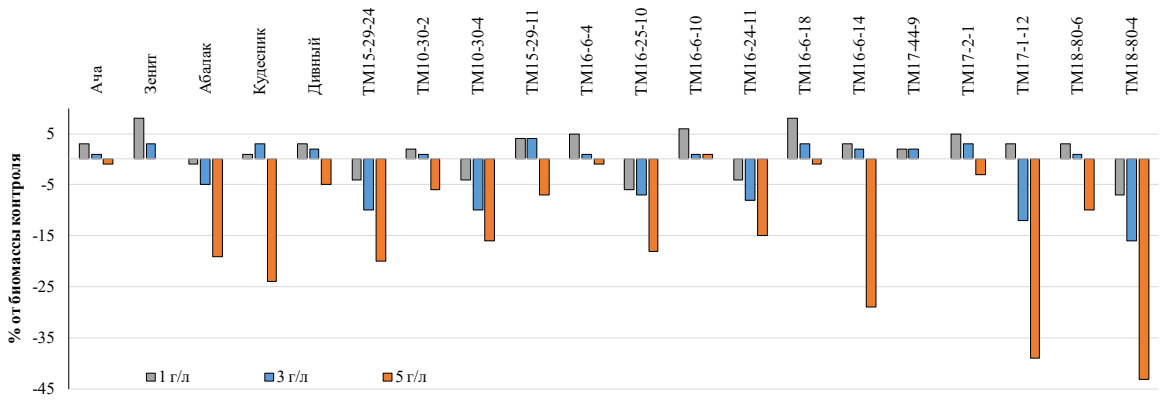


Рис. 2. Влияние уровня хлоридно-натриевого засоления на массу проростков ячменя, % от контроля

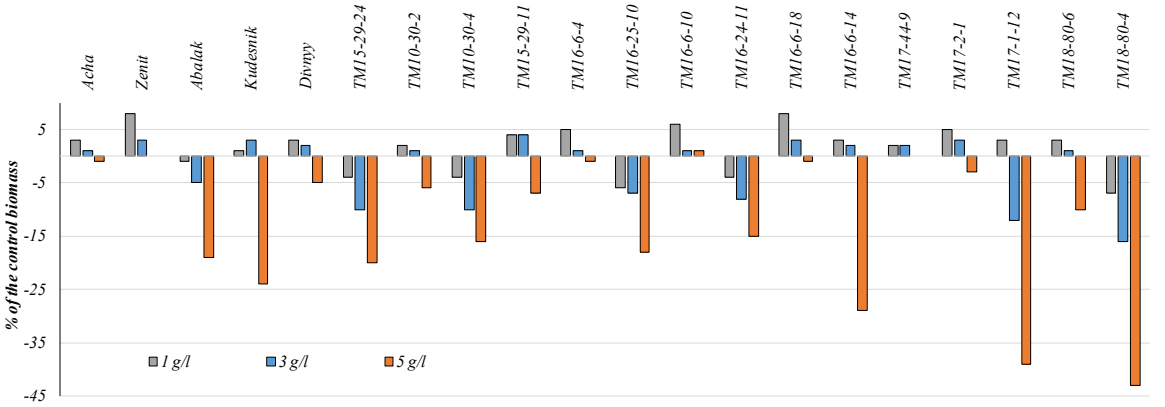


Fig. 2. Effect of the level of chloride-sodium salinity on the mass of barley sprouts, % of the control

Среди изучаемых генотипов ячменя 8 образцов достоверно реагировали на минимальную концентрацию хлорида натрия (1 г/л): индекс скорости прорастания снизился до 78–88 %. В эту группу вошли сорта Дивный, Абалак, Кудесник. На повышение концентрации соли до 3 г/л не отреагировали только Ача, ТМ18-80-6 и ТМ17-1-12. У остальных генотипов индекс скорости прорастания снизился до 63–81 %.

Приемлемый индекс скорости прорастания (> 70 %) при максимальном уровне засоленности (5 г/л) был зафиксирован только у трех сортов ячменя: Зенит, Дивный, Ача, а также у селекционных линий ТМ17-2-1, ТМ15-29-24, ТМ16-6-4, ТМ16-6-18 и ТМ18-80-6.

Процесс прорастания сопровождается активным накоплением вегетативной биомассы, которая складывается из первичных корешков и ростка. Биомасса является индивидуальной особенностью, которая прежде всего зависит от морфофизиологических особенностей генотипа [11]. В изучаемой группе воздушно-сухая масса проростков (корни + росток) варьировала от 0,896 до 2,00 г при среднем значении 1,31 г (рис. 2). На долю массы первичных корешков приходилось 37–50 % от биомассы.

Статистически значимое превышение средней по группе биомассы было зафиксировано у 4 генотипов: Ача, ТМ10-30-4; ТМ18-80-4 и Абалак ($F_{факт.} > F_{теор.}$ при p = 5 %). Биомасса этих генотипов при отсутствии засоления превышала 1,50 г. В противоположность им были выделены 6 генотипов (ТМ16-6-10; ТМ17-2-1; Зенит; ТМ16-6-18; ТМ18-80-6; ТМ16-25-10), чья биомасса достоверно была ниже средней величины по группе (1,31 г).

При минимальной концентрации хлорида натрия (1 г/л) основная часть изучаемой коллекции не реагировала и развивалась аналогично контролю. Вместе с тем селекционные линии ТМ18-80-4 и ТМ16-25-10 оказались максимально чувствительны к соли: снижение биомассы составило 6–7 % относительно контроля при наименьшей существенной разности, равной 4 %. Также был отмечен интересный факт стимулирования минимальной концентрации хлорида натрия на накопление массы проростков. Достоверное увеличение биомассы через 7 суток проращивания было зафиксировано у селекционных линий ячменя ТМ16-6-4, ТМ17-2-1, ТМ16-6-10, ТМ16-6-18 и сорта Зенит. Повышение концентрации хлорида натрия до 3 г/л привело к угнетению 7 генотипов ячменя на ранних этапах онтогенеза. Незначительное снижение биомассы проростков зафиксировали у сорта Абалак и селекционных линий ТМ16-24-11, ТМ16-25-10 ($F_{факт.} > F_{теор.}$ при p = 0,05). У ТМ18-80-4, ТМ17-1-12, ТМ15-29-24, ТМ10-30-4 недобор массы проростков составил 8–16 % относительно контроля.

Таблица 3

Длина первичных корней ячменя при различных концентрациях NaCl, мм

Генотипы	Уровень засоления, г/л				Изменение длины корней, % от контроля		
	0	1	3	5	1 г/л	3 г/л	5 г/л
Ача	103 ±1,9	123 ±1,5	126 ±1,0	126 ±1,7	19	22	22
Зенит	144 ±3,6	161 ±1,6	139 ±1,9	133 ±1,8	12	–3*	–8
Абалак	165 ±0,5	162 ±1,4	150 ±1,2	89 ±1,2	–2*	–9	–46
Кудесник	148 ±0,5	151 ±0,8	145 ±1,3	83 ±1,7	2*	–2*	–44
Дивный	134 ±2,1	143 ±0,9	121 ±1,2	118 ±1,7	7*	–10	–12
ТМ15-29-24	134 ±1,4	146 ±2,3	131 ±1,5	109 ±1,2	9	–2*	–19
ТМ10-30-2	140 ±2,2	162 ±1,2	143 ±1,7	135 ±1,2	16	2*	–4*
ТМ10-30-4	160 ±1,2	156 ±1,3	147 ±1,5	127 ±1,2	–3*	–8	–21
ТМ15-29-11	132 ±1,6	152 ±0,7	143 ±1,7	133 ±1,1	15	8	1*
ТМ16-6-4	141 ±1,2	161 ±1,4	149 ±1,5	140 ±1,6	14	6*	–1*
ТМ16-25-10	136 ±0,9	138 ±1,2	119 ±1,4	104 ±1,8	1*	–13	–24
ТМ16-6-10	151 ±0,8	145 ±1,6	140 ±1,1	137 ±1,6	–4*	–7*	–9
ТМ16-24-11	127 ±2,1	139 ±1,3	132 ±1,9	109 ±1,7	9	4*	–14
ТМ16-6-18	127 ±1,7	154 ±1,3	137 ±1,4	122 ±1,0	21	8	–4*
ТМ16-6-14	150 ±0,9	160 ±1,4	134 ±1,4	130 ±1,0	7*	–11	–13
ТМ17-44-9	159 ±0,8	169 ±1,4	144 ±1,2	146 ±1,1	6*	–9*	–8
ТМ17-2-1	165 ±2,2	172 ±1,0	162 ±1,4	152 ±1,7	4*	–2*	–8
ТМ17-1-12	170 ±0,4	181 ±2,0	140 ±1,4	134 ±1,1	6*	–18	–21
ТМ18-80-6	143 ±1,8	156 ±1,5	152 ±1,2	133 ±2,1	9	6*	–7*
ТМ18-80-4	151 ±0,9	147 ±1,2	108 ±1,3	85 ±1,0	–3*	–28	–44

*Примечание. * Изменение статистически незначимо ($F_{факт.} < F_{теор.}$ при $p = 0,05$).*

Table 3

Length of barley primary roots at different NaCl concentrations, mm

Genotypes	*Salinity level, g/l*				*Change in root length, % of control*		
	0	*1*	*3*	*5*	*1 g/l*	*3 g/l*	*5 g/l*
Acha	*103 ±1.9*	*123 ±1.5*	*126 ±1.0*	*126 ±1.7*	*19*	*22*	*22*
Zenit	*144 ±3.6*	*161 ±1.6*	*139 ±1.9*	*133 ±1.8*	*12*	*–3**	*–8*
Abalak	*165 ±0.5*	*162 ±1.4*	*150 ±1.2*	*89 ±1.2*	*–2**	*–9*	*–46*
Kudesnik	*148 ±0.5*	*151 ±0.8*	*145 ±1.3*	*83 ±1.7*	*2**	*–2**	*–44*
Divnyy	*134 ±2.1*	*143 ±0.9*	*121 ±1.2*	*118 ±1.7*	*7**	*–10*	*–12*
TM15-29-24	*134 ±1.4*	*146 ±2.3*	*131 ±1.5*	*109 ±1.2*	*9*	*–2**	*–19*
TM10-30-2	*140 ±2.2*	*162 ±1.2*	*143 ±1.7*	*135 ±1.2*	*16*	*2**	*–4**
TM10-30-4	*160 ±1.2*	*156 ±1.3*	*147 ±1.5*	*127 ±1.2*	*–3**	*–8*	*–21*
TM15-29-11	*132 ±1.6*	*152 ±0.7*	*143 ±1.7*	*133 ±1.1*	*15*	*8*	*1**
TM16-6-4	*141 ±1.2*	*161 ±1.4*	*149 ±1.5*	*140 ±1.6*	*14*	*6**	*–1**
TM16-25-10	*136 ±0.9*	*138 ±1.2*	*119 ±1.4*	*104 ±1.8*	*1**	*–13*	*–24*
TM16-6-10	*151 ±0.8*	*145 ±1.6*	*140 ±1.1*	*137 ±1.6*	*–4**	*–7**	*–9*
TM16-24-11	*127 ±2.1*	*139 ±1.3*	*132 ±1.9*	*109 ±1.7*	*9*	*4**	*–14*
TM16-6-18	*127 ±1.7*	*154 ±1.3*	*137 ±1.4*	*122 ±1.0*	*21*	*8*	*–4**
TM16-6-14	*150 ±0.9*	*160 ±1.4*	*134 ±1.4*	*130 ±1.0*	*7**	*–11*	*–13*
TM17-44-9	*159 ±0.8*	*169 ±1.4*	*144 ±1.2*	*146 ±1.1*	*6**	*–9**	*–8*
TM17-2-1	*165 ±2.2*	*172 ±1.0*	*162 ±1.4*	*152 ±1.7*	*4**	*–2**	*–8*
TM17-1-12	*170 ±0.4*	*181 ±2.0*	*140 ±1.4*	*134 ±1.1*	*6**	*–18*	*–21*
TM18-80-6	*143 ±1.8*	*156 ±1.5*	*152 ±1.2*	*133 ±2.1*	*9*	*6**	*–7**
TM18-80-4	*151 ±0.9*	*147 ±1.2*	*108 ±1.3*	*85 ±1.0*	*–3**	*–28*	*–44*

*Note. * The change is statistically insignificant ($F_{fact.} < F_{theor.}$ at $p = 0.05$).*

Повышение концентрации хлорида натрия до 5 г/л в почве – явление достаточно частое. Обычно это происходит в засушливый период, который приходится на посевные работы в мае и середину вегетации ячменя (июль) [12]. Поэтому для селекции солеустойчивых сортов ячменя крайне важно понимание степени реакции на высокий уровень засоления в момент прорастания.

В изучаемой коллекции 8 генотипов обладали высокой устойчивостью – отклонения по биомассе были статистически незначимы. В этой группе оказались сорта Дивный, Ача, Зенит, селекционные линии ТМ17-2-1, ТМ16-6-4, ТМ16-6-18, ТМ17-44-9 и ТМ16-6-10.

Зерновые культуры имеют мочковатую корневую систему, которую можно разделить как на первичную, появляющуюся во время прорастания зерна, так и вторичную – образующуюся во время кущения. Путем многочисленных экспериментов было доказано, что первичные корни не отмирают после кущения, а остаются жизнеспособными на протяжении всей вегетации растений [13]. Установлена прямая корреляция между длиной корней, сформировавшихся на начальных этапах онтогенеза и зерновой продуктивностью. Поэтому селекционеры часто определяют ценность линий по этому показателю. Длина первичных корней существенно зависит не только от генотипа, но и внешних факторов и прежде всего от содержания солей или тяжелых металлов [14; 15].

Средняя длина первичных корней в изучаемой группе ячменя при отсутствии засоления составила 144 мм с варьированием в пределах от 103 (Ача) до 170 мм (ТМ17-1-12). Концентрация хлорида натрия 1 г/л положительно отразилась на длине корней ячменя. В среднем по группе она составила 154 мм, что на 7 % превысило контроль (таблица 3).

Установлено, что у девяти генотипов ячменя длина первичных корней не отличалась от контроля: изменения были статистически незначимыми ($F_{факт.} < F_{теор.}$ при $p = 0{,}05$). У семи генотипов (Зенит, ТМ16-6-4, ТМ15-29-11, ТМ10-30-2, Ача, ТМ16-6-18) превышение длины первичных корней было более 10 % относительно контроля.

Повышение концентрации хлорида натрия до 3 г/л обеспечило дифференциацию изучаемой коллекции ячменя по длине первичных корней. В группу с достоверным снижением вошли 9 генотипов, в том числе сорта Дивный и Абалак. Наиболее чувствительными к хлоридно-натриевому засолению оказались селекционные линии ТМ18-80-4, ТМ17-1-12, ТМ16-25-10, ТМ16-6-14, у которых снижение длины корней относительно контроля было более 10 %. Положительная реакция была зафиксирована лишь у 3 генотипов (ТМ15-29-11, ТМ16-6-18, Ача). Длина корней через 7 суток проращивания была на 8–22 % больше значений контроля.

На варианте с максимальной изучаемой концентрацией NaCl (5 г/л) кардинальных изменений не произошло: количество генотипов с достоверным снижением длины первичных корней возросло до 15, среди которых Абалак и Кудесник характеризовались максимальным угнетением ростовых процессов: длина корней была на 46 и 44 % меньше контроля. У сортов Зенит и Дивный этот показатель был значительно меньше – 8 и 12 % соответственно.

Были выделены генотипы ячменя, у которых первичная корневая система не реагировала на возрастающую концентрацию хлорида натрия. В эту группу вошли селекционные линии ТМ10-30-2, ТМ16-6-18, ТМ16-6-4 и ТМ15-29-11. Сорт Ача обладал интересной особенностью: его первичная корневая система положительно реагировала на три концентрации хлорида натрия – ее длина на 19–22 % превышала значения контроля.

В ходе оценки солеустойчивости по комплексу изучаемых показателей было проведено ранжирование генотипов ячменя. В группу устойчивых генотипов вошли сорта Ача и Зенит, которые можно рекомендовать для выращивания на засоленных почвах и использовать в селекционных программах по созданию солеустойчивых сортов ячменя. Селекционная линия ТМ16-6-18 также набрала минимальное количество баллов и соответствовала сорту Ача по устойчивости к хлоридно-натриевому засолению.

В группу с промежуточной восприимчивостью (среднеустойчивые, восприимчивые) вошли 2 сорта (Дивный и Кудесник), а также 8 селекционных линий ячменя. К чувствительным генотипам (193–230 баллов) отнесены 6 образцов, среди которых был сорт Абалак Тюменской селекции. Наиболее восприимчивой к хлоридно-натриевому засолению оказалась селекционная линия ТМ18-80-4, которая набрала 230 баллов, что почти в 5 раз больше, чем у сорта Ача. Аналогичная восприимчивость была у ТМ16-25-10, которая оценивалась в 216 баллов.

В ходе статистического анализа установлено, что концентрация хлорида натрия 5 г/л наиболее информативно показывает степень солеустойчивости ячменя. При данной концентрации степень сопряженности по Пирсону между ранговым количеством баллов солеустойчивости генотипа и группы изучаемых признаков существенно выше (0,8), чем при других концентрациях (0,5–0,6). Также было установлено, что все выбранные для изучения солеустойчивости ячменя показатели, за исключением индекса прорастания, имеют сильную отрицательную корреляционную связь ($r > 0{,}7$) с суммарным количеством баллов солеустойчивости, что дает возможность достоверной оценки генотипов по минимальному количеству признаков. К аналогичному выводу пришли и другие ученые, занимающиеся проблемой солеустойчивости сельскохозяйственных культур [16; 17].

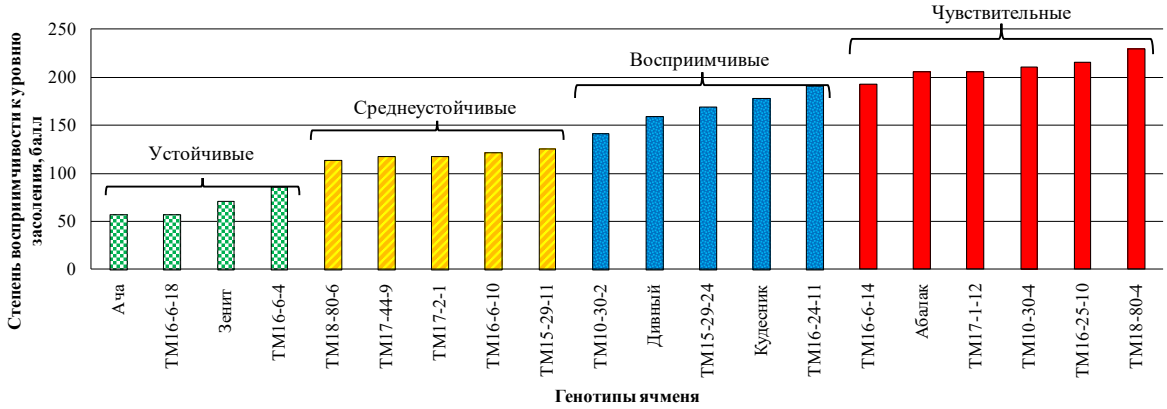


Рис. 3. Ранжирование генотипов ячменя по степени восприимчивости к хлоридно-натриевому засолению, балл

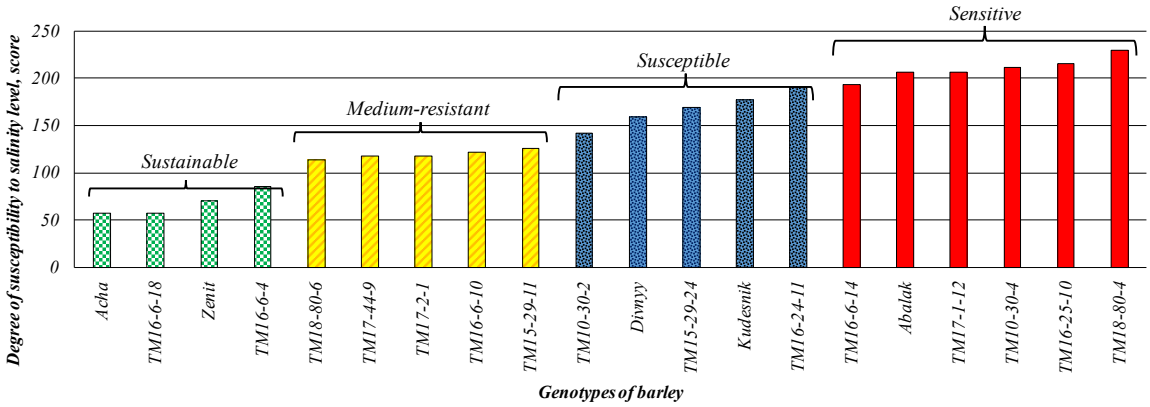


Fig. 3. Ranking of barley genotypes according to the degree of susceptibility to sodium chloride salinity, point

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе проведения модельных исследований, комплексной оценки и ранжирования изучаемой группы ячменя были установлены контрастные по устойчивости к хлоридно-натриевому засолению генотипы, которые можно рекомендовать для поиска биохимических маркеров солеустойчивости ячменя. В качестве устойчивых генотипов рекомендуется использовать Ачу и ТМ16-6-18, а восприимчивых – ТМ16-25-10 и ТМ18-80-4. Сорта ячменя по степени солеустойчивости составили следующий ряд: Абалак – Кудесник – Дивный – Зенит – Ача. Его можно использовать в качестве обоснованного выбора сорта для полей с разным уровнем засоления. Селекционные линии ТМ17-1-12, ТМ10-30-4, ТМ16-25-20 и ТМ18-80-4 рекомендуются для включения в селекционную программу по созданию солеустойчивых сортов ячменя.

Библиографический список

1. Веселова М. Н., Юрлова А. А. Анализ состояния и использования сельскохозяйственных угодий Юга Тюменской области // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7, № 9. DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_9_508.

2. Скипин Л. Н., Гаевая Е. В., Захарова Е. В. [и др.]. Реакция клубеньковых бактерий на условия засоления питательной среды // Агрохимический вестник. 2025. № 5. С. 59–63. DOI: 10.24412/1029-2551-2025-5-010.

3. Tao R., Ding J., Li C., et al. Evaluating and screening of agro-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat at the seedling stage // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. Article number 646175. DOI: 10.3389/fpls.2021.646175.

4. Akhtyamova A., Eremin D. Comparative assessment of the genotypes of oats of domestic and foreign breeding to the toxic effect of aluminum ions // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 139. Article number 05007. DOI: 10.1051/bioconf/202413905007.

5. Таскина К. Б., Казнина Н. М., Титов А. Ф. Влияние умеренного и сильного натрий-хлоридного засоления на рост и фотосинтетический аппарат растений ячменя и пшеницы // Агрохимия. 2024. № 11. С. 47–55. DOI: 10.31857/S0002188124110073.

6. Gharaghanipor N., Arzani A., Rahimmalek M., Ravash R. Physiological and transcriptome indicators of salt tolerance in wild and cultivated barley // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Article number 819282. DOI: 10.3389/fpls.2022.819282.

7. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. Москва: Наука, 1968. 226 с.

8. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство) / Под ред. Г. В. Удовенко. Ленинград: ВИР, 1988. 227 с.

9. Казакова А. С., Майборода С. Ю. Микрофенологические фазы прорастания семян ячменя: монография. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2018. 183 с.

10. Хоконова М. Б., Карашаева А. С., Завалин А. А. Качество пивоваренного солода в зависимости от условий хранения ячменя // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 5. С. 71–73.

11. Юсова О. А., Николаев П. Н., Шулико Н. Н. [и др.]. Развитие растений зернофуражных культур в фазе кущения как один из факторов формирования урожайности и качества зерна // Агрофизика. 2025. № 4. С. 21–28. DOI: 10.25695/AGRPH.2025.04.04.

12. Симонова Ю. В., Русаков А. В., Рюмин А. Г. Засоленные почвы Ростовской низины (Ярославская область): морфология, генезис и динамика засоления в годовом гидрологическом цикле // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2018. № 93. С. 40–74. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-93-40-74.

13. Sharma A., Saini P., Saini P., et al. Root system architecture in cereals: exploring different perspectives of the hidden half // Brazilian Journal of Botany. 2024. DOI: 10.1007/s40415-024-00991-3.

14. Marik D., Sadhukhan A. Unearthing the hidden organ: vital role of the root in drought tolerance of plants // Plant Molecular Biology. 2025. Vol. 115, No. 6. Article number 119. DOI: 10.1007/s11103-025-01646-x.

15. Ахтямова А. А., Савельева Ю. В. Микроморфологические изменения первичных корешков овса под действием ионов алюминия // Приоритетные направления повышения эффективности, конкурентоспособности и устойчивости аграрной отрасли: материалы международной научной конференции, посвященной 105-летию ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН. Казань, 2025. С. 6–9. DOI: 10.32415/scientia_978-5-907902-43-5(6-9).

16. Кононенко Н. В., Диловарова Т. А., Канавский Р. В. [и др.]. Оценка морфологических и биохимических параметров устойчивости различных генотипов пшеницы к хлоридному засолению // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14, № 1. С. 18–39. DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39.

17. Косых Л. А., Никонорова Ю. Ю. Оценка сортов ярового ячменя на устойчивость к солевому стрессу // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 11. С. 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_11_31.

Об авторах:

Дмитрий Иванович Еремин, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия;
ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870. *E-mail: soil-tyumen@yandex.ru*

Виктория Викторовна Сахарова, заведующая лабораторией аналитических исследований и технологической оценки качества зерна, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия;
ORCID 0009-0006-4996-5542, AuthorID 1143913. *E-mail: saharova.vv@edu.gausz.ru*

Анна Валерьевна Любимова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия;
ORCID 0000-0002-1570-9595, AuthorID 819322. *E-mail: ostapenkoav88@yandex.ru*

References

1. Veselova M. N., Yurlova A. A. Analysis of the condition and use of agricultural land of the south of the Tyumen region. *Moscow Economic Journal*. 2022; 7 (9). DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_9_508. (In Russ.)

2. Skipin L. N., Gaevaya E. V., Zakharova E. V., et al. Response of nodule bacteria to salinity conditions in the nutrient medium. *Agrochemical Herald.* 2025; 5: 59–63. DOI: 10.24412/1029-2551-2025-5-010. (In Russ.)

3. Tao R., Ding J., Li C., et al. Evaluating and screening of agro-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat at the seedling stage. *Frontiers in Plant Science*. 2021; 12: 646175. DOI: 10.3389/fpls.2021.646175.

4. Akhtyamova A., Eremin D. Comparative assessment of the genotypes of oats of domestic and foreign breeding to the toxic effect of aluminum ions. *BIO Web of Conferences*. 2024; 139: 05007. DOI: 10.1051/bioconf/202413905007. (In Russ.)

5. Taskina K. B., Kaznina N. M., Titov A. F. Comparative study of the effect of moderate and strong sodium chloride salinization on growth and photosynthetic apparatus of cultivated cereals. *Agrochemistry.* 2024; 11: 47–55. DOI: 10.31857/S0002188124110073. (In Russ.)

6. Gharaghanipor N., Arzani A., Rahimmalek M., Ravash R. Physiological and transcriptome indicators of salt tolerance in wild and cultivated barley. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 819282. DOI: 10.3389/fpls.2022.819282.

7. Zhurbitskiy Z. I. *Theory and practice of the vegetative method.* Moscow: Nauka, 1968. 226 p. (In Russ.)

8. Udovenko G. V. (ed.) *Diagnostics of plant resistance to stress (methodological guide).* Leningrad: VIR, 1988. 227 p. (In Russ.)

9. Kazakova A. S., Mayboroda S. Y. *Microphenological phases of germination of barley seeds: monograph*. Zernograd: Azov-Black Sea Engineering Institute of the Donskoy State Agrarian University, 2018. 183 p. (In Russ.)

10. Khokonova M. B., Karashaeva A. S., Zavalin A. A. Quality brewing malt depending on the storage conditions of barley. *Russian Agricultural Sciences*. 2015: 71–73. (In Russ.)

11. Yusova O. A., Nikolaev P. N., Shuliko N. N. Development of grain forage crops in the tillering phase as one of the factors of grain yield formation and its quality. *Agrophysics.* 2025; 4: 21–28. DOI: 10.25695/AGRPH.2025.04.04. (In Russ.)

12. Simonova Yu. V., Rusakov A. V., Ryumin A. G. Salt-affected soils of the Rostov lowland (Yaroslavl region): morphology, genesis and dynamics of salinization in the annual hydrological cycle. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018; 93: 40–74. DOI: 10.19047/0136-1694-2018-93-40-74. (In Russ.)

13. Sharma A., Saini P., Saini P., et al. Root system architecture in cereals: exploring different perspectives of the hidden half. *Brazilian Journal of Botany*. 2024. DOI: 10.1007/s40415-024-00991-3.

14. Marik D., Sadhukhan A. Unearthing the hidden organ: vital role of the root in drought tolerance of plants. *Plant Molecular Biology*. 2025; 115 (6): 119. DOI: 10.1007/s11103-025-01646-x.

15. Akhtyamova A. A., Savelyeva Yu. V. Micromorphological changes in primary oat roots under the influence of aluminum ions. *Priority areas for improving the efficiency, competitiveness and sustainability of the agricultural sector: materials of the international scientific conference dedicated to the 105th anniversary of the Tatar Research Institute of Agriculture – a separate structural subdivision of the Federal Research Center "Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences"*. Kazan, 2025. Pp. 6–9. DOI: 10.32415/scientia_978-5-907902-43-5(6-9). (In Russ.)

16. Kononenko N. V., Dilovarova T. A., Kanavsky R. V. Evaluation of morphological and biochemical resistance parameters to chloride salination in different wheat genotypes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14 (1): 18–39. DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39. (In Russ.)

17. Kosykh L. A., Nikonorova Yu. Yu. Evaluation of spring barley varieties for resistance to salinity stress. *Achievements of Science and Technology in Agribusiness*. 2022; 36 (11): 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_11_31. (In Russ.)

Authors' information

Dmitriy I. Eremin, doctor of biological sciences, chief researcher at the laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center "Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870.
E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Viktoriya V. Sakharova, head of the laboratory of analytical research and technological assessment of grain quality, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0009-0006-4996-5542, AuthorID 1143913. *E-mail: saharova.vv@edu.gausz.ru*

Anna V. Lyubimova, candidate of biological sciences, leading researcher, head of the laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center "Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences", Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0000-0002-1570-9595, AuthorID 819322.
E-mail: ostapenkoav88@yandex.ru

УДК 633.2.033.2.502.75
Код ВАК 4.1.1
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1908-1917

Вопросы оптимизации пастбищного животноводства и сохранения степной растительности Восточного Предкавказья

Н. Г. Лапенко✉, **Л. Р. Оганян**, **М. А. Старостина**
Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия
E-mail: sniish_stepi@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы сохранения растительности степных экосистем, используемых в качестве пастбищных угодий. Объекты исследования – степные сообщества Восточного Предкавказья. **Цель** работы – провести анализ поголовья крупного и мелкого рогатого скота, определить нагрузку на пастбищные угодья для оптимизации пастбищного хозяйства и сохранения степных экосистем Восточного Предкавказья. **Методы.** При выполнении работы сделан аналитический обзор на основе методик и приемов – экономико-статистических, абстрактно-логических, расчетно-конструктивных. В работе использованы данные государственных статистических органов Российской Федерации. Анализ проведен за период 1991–2024 гг. **Результаты.** Установлены следующие основные закономерности и тенденции: 1) в Восточном Предкавказье произошла глубокая трансформация структуры животноводства: доля сельскохозяйственных организаций в поголовье крупного рогатого скота (КРС) сократилась с 53,2 до 12,4 %, в поголовье мелкого рогатого скота (МРС) – с 60,5 до 24,4 %. Основные держатели скота – хозяйства населения (71,3 % КРС) и крестьянско-фермерские хозяйства (46,5 % МРС); 2) посевные площади кормовых культур сократились в 2,8 раза, при этом площади природных пастбищ остались практически неизменными; 3) вследствие опережающего сокращения сеяных кормовых трав нагрузка на пастбища увеличилась в 5 раз; 4) сложившаяся ситуация характеризуется пространственной неравномерностью: вблизи населенных пунктов формируются очаги перегрузки, провоцирующие пастбищную дигрессию. Для оптимизации пастбищного хозяйства и сохранения степных экосистем Восточного Предкавказья предложен комплексный подход, включающий сохранение и восстановление растительности пастбищных угодий и другие природоохранные мероприятия. **Научная новизна.** Впервые проведен статистический анализ современных тенденций в животноводстве и кормопроизводстве Восточного Предкавказья, позволяющих выявить нагрузку на степную растительность для оптимизации пастбищного животноводства и сохранения степных экосистем.

Ключевые слова: пастбищное животноводство, степные экосистемы, Восточное Предкавказье, кормоемкость, структура поголовья, кормовые культуры, деградация земель, оптимизация природопользования

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00407, https://rscf.ru/project/25-26-00407/

Для цитирования: Лапенко Н. Г., Оганян Л. Р., Старостина М. А. Вопросы оптимизации пастбищного животноводства и сохранения степной растительности и Восточного Предкавказья // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1908–1917. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1908-1917.

Дата поступления статьи: 23.03.2026, ***дата рецензирования:*** 08.07.2026, ***дата принятия:*** 20.07.2026.

© Лапенко Н. Г., Оганян Л. Р., Старостина М. А., 2026

Issues of optimization of pasture animal husbandry and conservation of steppe vegetation of the Eastern Ciscaucasia

N. G. Lapenko✉, **L. R. Oganyan, M. A. Starostina**
North Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Mikhaylovsk, Stavropol Krai, Russia
✉*E-mail: sniish_stepi@mail.ru*

Abstract. The article discusses the issues of vegetation conservation of steppe ecosystems used as pasture lands. The objects of research are the steppe communities of the Eastern Ciscaucasia. **The purpose** of the study is to analyze the number of large and small cattle, to determine the load on pasture lands in order to optimize pasture management and preserve the steppe ecosystems of the Eastern Ciscaucasia. **Methods.** When performing the work, an analytical review was made based on methods and techniques – economic-statistical, abstract-logical, computational-constructive. The study uses data from the state statistical agencies of the Russian Federation. The analysis was carried out for the period 1991–2024. **The results** of the study. The following basic patterns and trends have been established: 1) in the Eastern Ciscaucasia, there was a profound transformation in the structure of animal husbandry: the share of agricultural organizations in the number of cattle decreased from 53.2 to 12.4 %, in the number of small cattle – from 60.5 to 24.4 %. The main livestock holders are households of the population (66.1 % of cattle) and peasant farms (46.5 % of cattle); 2) the acreage of forage crops decreased by 2.8 times, while the area of natural pastures remained almost unchanged; 3) due to the rapid reduction of sown forage grasses, the load on pastures has increased 5-fold; 4) the current situation is characterized by spatial unevenness: foci of overload are forming near populated areas, provoking pasture digression. To optimize pasture management and preserve the steppe ecosystems of the Eastern Ciscaucasia, an integrated approach has been proposed, including the conservation and restoration of pasture vegetation and other environmental protection measures. **The scientific novelty** lies in the fact that for the first time a statistical analysis of current trends in animal husbandry and forage production in the Eastern Ciscaucasia has been carried out, which makes it possible to identify the burden on steppe vegetation in order to optimize pasture farming and preserve steppe ecosystems.

Keywords: pastoral animal husbandry, steppe ecosystems, Eastern Ciscaucasia, feed intensity, livestock structure, fodder crops, land degradation, environmental management optimization

Acknowledgements. This research was funded by Russian Science Foundation No. 25-26-00407, https://rscf.ru/project/25-26-00407/

For citation: Lapenko N. G., Oganyan L. R., Starostina M. A. Issues of optimization of pasture animal husbandry and conservation of steppe vegetation of the Eastern Ciscaucasia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1908–1917. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1908-1917. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.03.2026, ***date of review:*** 08.07.2026, ***date of acceptance:*** 20.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Степная территория юга России, находясь под постоянным воздействием экологических факторов (как природных, так и антропогенных), – одна из наиболее трансформированных природных территорий. Основные экологические проблемы связаны с аридизацией климата, перегрузкой пастбищ, нерациональным использованием степных травостоев, распашкой степных территорий и другими видами антропогенной деятельности [1–3].

Рассматриваемые вопросы наиболее актуальны в хозяйствах традиционного животноводства сухой субгумидной и субаридной территории Восточного Предкавказья, сконцентрированных на выращивании мелкого и крупного рогатого скота, используя степную растительность как источник дешевых природных кормов. Степные территории, находясь в статусе земель сельхозназначения и используемые в качестве пастбищных угодий в течение столетий, подвергались и по-прежнему подвергаются интенсивному сельскохозяйственному использованию [4–6].

Как известно из исторических очерков, антропогенная эволюция зональных степей Восточного Предкавказья прослеживается со времен появления первых скотоводческих племен. Изначально выпас животных приводил к деградации растительного покрова фрагментарно [3], поскольку потеря многокомпонентности степных фитоценозов (т. е. их биоразнообразия), наступает не сразу, а постепенно, путем перерождения зональной (на равнинах) и поясной (в горах) растительности во вторичные

© Lapenko N. G., Oganyan L. R., Starostina M. A., 2026

растительные модификации, а нередко и к полной потере растительного покрова, приводящего к опустыниванию территории, что мы и наблюдаем на юге России, в том числе на территории Восточного Предкавказья [2].

Наиболее глубокие изменения в состоянии биоразнообразия степной растительности произошли в 50–60-х годах прошлого века. В результате изменился ботанический состав степных фитоценозов: значимая их часть поросла сорными растениями (верблюжья колючка, гармала обыкновенная, дурнишники калифорнийский и колючий, лебеда татарская, паслен рогатый, рогоплодник песчаный и др.) [7]. Несоблюдение пастбищеоборота, распашка целин, бессистемное передвижение сельхозтехники по степным пространствам, особенно на присельских территориях, практически полное отсутствие фито- и лесомелиоративных работ на фоне аридизации климата привели к усилению деградации растительного покрова степей. Это обусловило в конечном счете эволюцию зональных типов степей во вторичные растительные модификации [3; 7].

Проблема сохранения природных пастбищных травостоев сухой субгумидной и субаридной территории Восточного Предкавказья очевидна и является одной из актуальных. Однако для выработки эффективных мер необходимо понимание современных количественных тенденций в животноводстве и кормопроизводстве, которые определяют реальную нагрузку на пастбища. До настоящего времени комплексный статистический анализ этих процессов за длительный период для данного региона не проводился, что определило цель настоящего исследования – провести статистический анализ динамики поголовья крупного и мелкого рогатого скота, определить нагрузку на пастбищные угодья для оптимизации пастбищного хозяйства и сохранения степных экосистем Восточного Предкавказья.

Методология и методы исследования (Methods)

В качестве объекта исследования выбраны степные экосистемы сухой субгумидной и субаридной территории Восточного Предкавказья. Под Восточным Предкавказьем мы понимаем пространство, ограниченное с севера Кумо-Манычской впадиной, с востока – Каспийским морем, а с запада – Сальско-Манычской грядой с возвышенностью Ергени. Его южная граница проходит по подножию Большого Кавказа. Это степные равнинные территории Ставрополья, Дагестана, Чечни, Кабардино-Балкарской Республики и Республики Северная Осетия – Алания [8; 9].

По агроэкологическим и почвенным условиям территория Восточного Предкавказья относится к зоне полупустыни с очень жарким летом и малым количеством осадков (200–250 мм). Среднемесячная температура воздуха в летний период составляет +25 °С. Ветровая активность – 10–15 м/с [10]. Здесь господствуют светло-каштановые, нередко солонцеватые почвы. Для них характерны низкое содержание гумуса, слабая мощность почвенного профиля, солонцеватость, тяжелый гранулометрический состав [11].

Растительный покров сухой субгумидной и субаридной территории Восточного Предкавказья представлен преимущественно полынно-злаковыми сухими степями на западе и полупустынями в центре и на востоке. Выделяется растительность Терско-Кумского песчаного массива. В песках встречаются псаммофиты, много кустарников. Полыни и солянки занимают большие пространства в дельте Терека и Сулака [12; 13].

В работе проведен комплексный аналитический обзор с применением экономико-статистических, абстрактно-логических и расчетно-конструктивных методов. В основе работы использовались официальные данные государственных статистических органов Российской Федерации и субъектов Северо-Кавказского федерального округа. Анализ охватывает период с 1991 по 2024 год, разделенный на семь пятилетних интервалов: 1991–1995, 1996–2000, 2001–2005, 2006–2010, 2011–2015, 2016–2020 и 2021–2024 гг. Для оценки реальной нагрузки на пастбища применялся показатель условного поголовья (коэффициенты пересчета: КРС = 1,0; овцы/козы = 0,1) [14].

Результаты (Results)

Животноводческая отрасль отражает традиционный жизненный уклад коренных народов Восточного Предкавказья и наличие больших площадей естественных сенокосов и пастбищ и является ключевой отраслью сельского хозяйства. Она обеспечивает более 30 % общероссийского производства животноводческой продукции. Вместе с тем постперестроечные реформы оказали существенное влияние на развитие этой отрасли. В значительной степени это связано с комплексом негативных факторов: экономических (низкая или отрицательная рентабельность, дефицит материально-технических ресурсов и др.), социально-демографических (урбанизация, старение сельского населения, отток квалифицированных кадров) и др. Как следствие, затраты на производство животноводческой продукции резко возросли, что привело к убыточности отрасли и переориентации сельхозпроизводителей на растениеводство.

Стремление освободиться от убыточного животноводства сопровождалось резким спадом поголовья за анализируемый период. Так, в Восточном Предкавказье отмечено сокращение численности поголовья крупного рогатого скота (КРС) с 2271,5 (1991–1995 гг.) до 1830,0 (2021–2024 гг.) тыс. голов, или почти на 20 %. Поголовье мелкого рогатого скота (МРС) уменьшилось с 8717,1 до 6784,4 тыс. голов, или на 22,3 %, в то время как в целом по стране наблюдается более резкое сокращение численности поголовья: КРС – на 64,2 %, МРС – на 52,3 % (таблица 1).

Таблица 1

Динамика поголовья в хозяйствах всех категорий, тыс. голов

Наименование региона	Вид скота	1991–1995	2001–2005	2011–2015	2021–2024	2021–2024 к 1991–1995, %
Российская Федерация	КРС	47 761,84	24 821,24	19 278,80	17 111,96	35,8
	МРС	42 580,52	17 172,72	23 981,82	20 299,69	47,7
Северо-Кавказский федеральный округ	КРС	2 397,62	1 946,64	2 210,72	2 063,15	86,0
	МРС	9 129,58	6 152,70	9 115,81	8 274,35	90,6
Восточное Предкавказье	КРС	2 271,50	1 750,40	1 950,90	1 830,00	80,6
	МРС	8 717,10	5 705,70	7 820,40	6 784,40	77,8
Республика Дагестан	КРС	709,04	788,84	966,23	932,17	131,5
	МРС	3 120,98	3 744,14	5 025,33	4 784,64	153,3
Кабардино-Балкарская Республика	КРС	277,14	229,28	274,98	275,47	99,4
	МРС	383,24	310,22	390,93	441,01	115,1
Республика Северная Осетия – Алания	КРС	158,04	114,70	115,13	97,20	61,5
	МРС	117,20	59,84	80,98	106,77	91,1
Чеченская Республика	КРС	265,23	205,28	233,04	261,66	98,7
	МРС	599,93	165,22	221,64	301,49	50,3
Ставропольский край	КРС	862,16	412,32	361,58	263,38	30,5
	МРС	4 495,88	1 426,42	2 101,56	1 150,46	25,6

Table 1

Dynamics of livestock in farms of all categories, thousand heads

Name of the region	*Type of livestock*	*1991–1995*	*2001–2005*	*2011–2015*	*2021–2024*	*2021–2024 to 1991–1995, %*
Russian Federation	*Cattle*	*47 761.84*	*24 821.24*	*19 278.80*	*17 111.96*	*35.8*
	Small cattle	*42 580.52*	*17 172.72*	*23 981.82*	*20 299.69*	*47.7*
North Caucasus Federal District	*Cattle*	*2 397.62*	*1 946.64*	*2 210.72*	*2 063.15*	*86.0*
	Small cattle	*9 129.58*	*6 152.70*	*9 115.81*	*8 274.35*	*90.6*
Eastern Ciscaucasia	*Cattle*	*2 271.50*	*1 750.40*	*1 950.90*	*1 830.00*	*80.6*
	Small cattle	*8 717.10*	*5 705.70*	*7 820.40*	*6 784.40*	*77.8*
Republic of Dagestan	*Cattle*	*709.04*	*788.84*	*966.23*	*932.17*	*131.5*
	Small cattle	*3 120.98*	*3 744.14*	*5 025.33*	*4 784.64*	*153.3*
Kabardino-Balkarian Republic	*Cattle*	*277.14*	*229.28*	*274.98*	*275.47*	*99.4*
	Small cattle	*383.24*	*310.22*	*390.93*	*441.01*	*115.1*
Republic of North Ossetia – Alania	*Cattle*	*158.04*	*114.70*	*115.13*	*97.20*	*61.5*
	Small cattle	*117.20*	*59.84*	*80.98*	*106.77*	*91.1*
Chechen Republic	*Cattle*	*265.23*	*205.28*	*233.04*	*261.66*	*98.7*
	Small cattle	*599.93*	*165.22*	*221.64*	*301.49*	*50.3*
Stavropol Krai	*Cattle*	*862.16*	*412.32*	*361.58*	*263.38*	*30.5*
	Small cattle	*4 495.88*	*1 426.42*	*2 101.56*	*1 150.46*	*25.6*

На фоне общероссийского спада за исследуемый период в регионах Восточного Предкавказья наблюдаются диаметрально противоположные тенденции. Так, если в Республике Дагестан отмечается устойчивый рост поголовья (КРС – 31,5 %, МРС – 53,3 %), то в Ставропольском края – спад поголовья (КРС – 69,5 %, МРС – 74,4 %). В то же время в Чеченской Республике поголовье КРС практически вернулось к уровню 1991–1995 годов (снижение – 1,3 %), а численность овец и коз сократилась почти вдвое – на 49,7 %. Кабардино-Балкарская Республика в последние годы демонстрирует стабильные показатели, а в Республике Северная Осетия – Алания наблюдаются сокращение крупного рогатого скота на 38,5 % и рост мелкого рогатого скота на 15,1 %.

Для понимания динамики происходящих процессов необходимо проанализировать не только численность поголовья скота, но и изменения в его структуре по категориям хозяйств (таблица 2). Выявлено, что в республиках Восточного Предкавказья (Дагестан, Кабардино-Балкария, Северная Осетия – Алания, Чечня) и Ставропольском крае удельный вес сельскохозяйственных организаций в структуре поголовья крупного рогатого скота сократился с 53,2 % (1991–1995 годы) до 12,4 % (2021–2024 годы), а мелкого рогатого скота – на 36,1 % (с 60,5 до 24,4 % соответственно). При этом

доля малых форм хозяйствования (крестьянских (фермерских) хозяйств (КФХ) и хозяйств населения (ХН)) в структуре КРС возросла с 46,8 до 87,7 % (ХН – с 44,6 до 71,3 %, КФХ и ИП – с 2,2 до 16,4 %), а в структуре МРС – с 39,5 до 75,6 % (ХН – с 36,7 до 29,1 %, КФХ и ИП – с 2,8 до 46,5 %). Доминирующим сектором стали личные подсобные хозяйства, которые быстрее адаптировались к новым рыночным условиям. В них на сегодняшний день сосредоточено более 70 % КРС и около 30 % МРС от общего поголовья. Причиной снижения удельного веса общественного сектора в структуре поголовья послужили реорганизация колхозов и совхозов в период перехода к рыночной экономике, выделение крестьянских (фермерских) хозяйств, а также перераспределение поголовья в пользу личных подсобных хозяйств как наиболее адаптивной формы в условиях экономической нестабильности.

Изменения в динамике и структуре поголовья в субъектах Восточного Предкавказья повлекли за собой изменения и в кормовой базе. Данные таблицы 3 показывают, что в целом по стране сокращение посевов кормовых культур на пашне за исследуемый период составило 67,8 %, в СКФО – 84,1 %, а в Восточном Предкавказье – 64 %: от 14,2 % в Республике Дагестан до 93,8 % в Ставропольском крае. Статистические данные последних лет свидетельствуют о том, что доля кормовых культур в общей структуре посевных площадей в Восточном Предкавказье не превышает 7 %, а в Ставропольском крае – 4 %, в то время как в доперестроечный период их удельный вес составлял около 30 %.

При столь масштабном сокращении посевных кормовых культур на пашне обеспечение животных кормами полностью ложится на пастбищные угодья.

Таблица 2

Структура КРС и МРС в Восточном Предкавказье по категориям хозяйств, %

Категория хозяйств	1991–1995	2001–2005	2011–2015	2021–2024
Крупный рогатый скот				
Сельхозорганизации	53,2	18,8	16,0	12,4
Хозяйства населения	44,6	75,4	71,4	71,3
КФХ и ИП	2,2	5,8	12,6	16,4
Мелкий рогатый скот				
Сельхозорганизации	60,5	28,6	26,5	24,4
Хозяйства населения	36,7	46,5	30,6	29,1
КФХ и ИП	2,8	24,9	42,9	46,5

Table 2

The structure of cattle and small cattle in the Eastern Ciscaucasia by farm category, %

Category of farms	*1991–1995*	*2001–2005*	*2011–2015*	*2021–2024*
Cattle				
Agricultural organizations	*53.2*	*18.8*	*16.0*	*12.4*
Households of the population	*44.6*	*75.4*	*71.4*	*71.3*
Farms and sole proprietors	*2.2*	*5.8*	*12.6*	*16.4*
Small cattle				
Agricultural organizations	*60.5*	*28.6*	*26.5*	*24.4*
Households of the population	*36.7*	*46.5*	*30.6*	*29.1*
Farms and sole proprietors	*2.8*	*24.9*	*42.9*	*46.5*

Таблица 3

Динамика посевных площадей кормовых культур (тыс. га)

Наименование региона	1991–1995	2001–2005	2011–2015	2021–2024	2021-2024 к 1991-1995, %
Российская Федерация	41 452,03	25 012,02	17 403,17	13 344,08	32,2
Северо-Кавказский федеральный округ	1 815,01	750,10	408,92	289,31	15,9
Восточное Предкавказье	444,82	238,80	178,29	160,30	36,0
Республика Дагестан	148,18	88,59	118,27	127,10	85,8
Кабардино-Балкарская Республика	30,17	8,27	5,97	11,57	38,3
Республика Северная Осетия – Алания	119,96	62,96	24,57	10,46	8,7
Чеченская Республика	74,57	28,97	14,11	6,70	9,0
Ставропольский край	71,95	50,00	15,38	4,47	6,2

Table 3

Dynamics of acreage of forage crops (thousand hectares)

Name of the region	*1991–1995*	*2001–2005*	*2011–2015*	*2021–2024*	*2021–2024 to 1991–1995, %*
Russian Federation	*41 452.03*	*25 012.02*	*17 403.17*	*13 344.08*	*32.2*
North Caucasus Federal District	*1 815.01*	*750.10*	*408.92*	*289.31*	*15.9*
Eastern Ciscaucasia	*444.82*	*238.80*	*178.29*	*160.30*	*36.0*
Republic of Dagestan	*148.18*	*88.59*	*118.27*	*127.10*	*85.8*
Kabardino-Balkarian Republic	*30.17*	*8.27*	*5.97*	*11.57*	*38.3*
Republic of North Ossetia – Alania	*119.96*	*62.96*	*24.57*	*10.46*	*8.7*
Chechen Republic	*74.57*	*28.97*	*14.11*	*6.70*	*9.0*
Stavropol Krai	*71.95*	*50.00*	*15.38*	*4.47*	*6.2*

Таблица 4

Динамика изменения площади природных кормовых угодий в регионах Восточного Предкавказья, тыс. га

Наименование региона	**2006–2010**	**2011–2015**	**2016–2020**	**2021–2024**	**2021–2024 к 2006–2010, %**
Россия	92 075,20	92 091,80	92 447,20	92 744,90	100,7
Северо-Кавказский федеральный округ	6 284,60	6 281,00	6 274,00	6 224,60	99,0
Восточное Предкавказье	5 682,20	5 680,40	5 672,20	5 646,40	99,4
Республика Дагестан	2 751,80	2 751,00	2 750,90	2 750,30	99,9
Кабардино-Балкарская Республика	371,20	372,90	366,20	365,20	98,4
Республика Северная Осетия – Алания	192,40	192,90	192,90	186,00	96,7
Чеченская Республика	633,00	632,40	631,60	614,90	97,1
Ставропольский край	1 733,80	1 731,20	1 730,60	1 730,00	99,8

Table 4

Dynamics of changes in the area of natural forage lands in the regions of the Eastern Ciscaucasia, thousand hectares

Name of the region	*2006–2010*	*2011–2015*	*2016–2020*	*2021–2024*	*2021–2024 to 2006–2010, %*
Russia	*92 075.20*	*92 091.80*	*92 447.20*	*92 744.90*	*100.7*
North Caucasus Federal District	*6 284.60*	*6 281.00*	*6 274.00*	*6 224.60*	*99.0*
Republic of Dagestan	*5 682.20*	*5 680.40*	*5 672.20*	*5 646.40*	*99.4*
Eastern Ciscaucasia	*2 751.80*	*2 751.00*	*2 750.90*	*2 750.30*	*99.9*
Kabardino-Balkarian Republic	*371.20*	*372.90*	*366.20*	*365.20*	*98.4*
Republic of North Ossetia – Alania	*192.40*	*192.90*	*192.90*	*186.00*	*96.7*
Chechen Republic	*633.00*	*632.40*	*631.60*	*614.90*	*97.1*
Stavropol Krai	*1 733.80*	*1 731.20*	*1 730.60*	*1 730.00*	*99.8*

В то же время анализ динамики площади природных кормовых угодий в Восточном Предкавказье за период 2006–2024 годов показывает, что, в отличие от существенного сокращения посевных площадей кормовых культур в большинстве субъектов (на 80–90 %), площади естественных пастбищ остались практически на прежнем уровне. Так, общая площадь природных кормовых угодий в субъектах региона (Дагестан, Кабардино-Балкария, Северная Осетия – Алания, Чечня, Ставрополье) сократилась лишь на 0,5–3,3 % за почти два десятилетия, что может быть обусловлено сохранением традиционных систем отгонного животноводства (таблица 4). Набольшее сокращение площади пастбищных угодий (на 2,9–3,3 %) отмечено в республиках Чечня и Северная Осетия – Алания, что, вероятно, связано с вовлечением части пастбищных земель в иные виды использования (застройку, рекреацию, залежи). В Ставропольском крае и Республике Дагестан площади остаются практически неизменными (снижение на 0,2–0,05 %). Необходимо отметить, что при одновременном росте поголовья скота (особенно овец в КФХ и хозяйствах населения Дагестана и Чечни (таблица 2)) и резком сокращении сеяных кормовых культур (таблица 3) нагрузка на естественные пастбища возрастает многократно и приводит к их пастбищной перегрузке, деградации растительного покрова и усилению эрозионных процессов в степных ландшафтах Восточного Предкавказья.

Таблица 5

Кормоемкость в хозяйствах всех категорий Восточного Предкавказья (на площадь посевных кормовых культур), усл. гол/га

Период	Условное поголовье, тыс. усл. гол.	Площадь, тыс. га		Кормоемкость, усл. гол/га	
		Природных угодий	Посевных кормовых культур	Природных угодий	Кормовых культур на пашне
1991–1995	3143,3	–	1710,2	–	1,84
1996–2000	2035,5	–	1032,9	–	1,97
2001–2005	2321,0	–	712,8	–	3,26
2006–2010	2551,1	5682,2	470,6	0,45	5,42
2011–2015	2733,0	5680,4	388,9	0,48	7,03
2016–2020	2611,7	5672,2	326,0	0,46	8,01
2021–2024	2508,3	5646,4	271,1	0,44	9,25

Table 5

Feed intensity in farms of all categories of the Eastern Ciscaucasia (per area of forage crops), arbitrary heads/ha

Period	*Conditional livestock, thousand arbitrary heads*	*Area, thousand hectares*		*Feed intensity, arbitrary head/ha*	
		Natural lands	*Sown fodder crops*	*Natural lands*	*Fodder crops on arable land*
1991–1995	*3143.3*	–	*1710.2*	–	*1.84*
1996–2000	*2035.5*	–	*1032.9*	–	*1.97*
2001–2005	*2321.0*	–	*712.8*	–	*3.26*
2006–2010	*2551.1*	*5682.2*	*470.6*	*0.45*	*5.42*
2011–2015	*2733.0*	*5680.4*	*388.9*	*0.48*	*7.03*
2016–2020	*2611.7*	*5672.2*	*326.0*	*0.46*	*8.01*
2021–2024	*2508.3*	*5646.4*	*271.1*	*0.44*	*9.25*

Полученные данные указывают на необходимость оценки современного состояния растительного покрова пастбищных угодий путем их инвентаризации и расчета реальной кормоемкости с учетом фактического поголовья.

Анализ кормоемкости в хозяйствах всех категорий Восточного Предкавказья выявляет принципиально различные значения для посевных и естественных кормовых угодий. На фоне относительно стабильной площади естественных пастбищ и колебаний условного поголовья в пределах 2,0–3,1 млн голов за исследуемый период нагрузка на природные угодья сохраняется на уровне 0,44–0,48 усл. гол/га, что не отражает реальной ситуации из-за крайне неравномерного территориального перераспределения выпасаемого поголовья: так, вблизи населенных пунктов и водопоев фактическая нагрузка может превышать среднюю в десятки раз, провоцируя локальные очаги пастбищной дигрессии (таблица 5).

Проведенный анализ выявил следующую закономерность: при имеющихся площадях естественных пастбищ Восточного Предкавказья реальная нагрузка на них существенно возросла вследствие значительной утраты посевных площадей кормовых культур [15; 16]. Этот процесс усугубляется неравномерностью выпаса скота: основная масса сельскохозяйственных животных концентрируется вокруг населенных пунктов (КФХ и хозяйства населения) и водных источников, что приводит к формированию зон устойчивой перегрузки даже при формально низкой средней кормоемкости региона.

Полученные данные подчеркивают необходимость не только восстановления площадей кормовых культур на пашне для снижения нагрузки на естественные пастбища, но и регулирования выпаса животных в системе пастбищеоборота, обеспечивающего равномерное распределение поголовья и нагрузку на пастбищные угодья степных территорий. То есть необходима оптимизация пастбищного хозяйства, ориентированная на мелкотоварный сектор с учетом предельно допустимой пастбищной нагрузки [17; 18].

Для оптимизации пастбищного животноводства с целью сохранения природной растительности степных экосистем Восточного Предкавказья необходим комплексный подход, включающий:

– проведение инвентаризации и геоботанического обследования пастбищных травостоев с целью расчета реальной емкости угодий, выявления стадий дигрессии и масштабов деградации степной растительности;

– применение фитомелиоративных методов и технологий (включая метод агростепей) для восстановления растительности низкопродуктивных деградированных пастбищных угодий [17];

– восстановление части посевных площадей многолетних трав (особенно в Ставропольском крае, Кабардино-Балкарии и Северной Осетии) для снижения пресса на естественные пастбища и др.

Таким образом, решение научной проблемы сохранения и восстановления растительности природных экосистем сухой субгумидной и субаридной территории Восточного Предкавказья является важной задачей для предотвращения усиливающихся процессов деградации степных травостоев, а также для обеспечения кормовой значимости пастбищ для животноводства. Комплексное применение предложенных мер может обеспечить сохранение степной растительности как важного компонента биосферы и основы для устойчивого развития сельского хозяйства Восточного Предкавказья.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенное исследование позволило установить следующие основные закономерности и тенденции:

1. В субъектах Восточного Предкавказья за период 1991–2024 годов произошли существенные изменения в структуре животноводства: доля сельскохозяйственных организаций в поголовье КРС сократилась с 53,2 до 12,4 %, в поголовье МРС – с 60,5 до 24,4 %. Большая численность поголовья крупного рогатого скота сосредоточена в хозяйствах населения (71,3 %), а мелкого рогатого – в крестьянских (фермерских) хозяйствах (46,5 %).

2. Посевные площади кормовых культур сократились в 2,8 раза (с 444,8 до 160,3 тыс. га), при этом площадь природных пастбищ оставалась практически неизменной (сокращение на 0,6 %). Наибольшее снижение площадей (более 90 %) отмечено в Ставропольском крае, республиках Кабардино-Балкария и Северная Осетия – Алания.

3. Вследствие опережающего сокращения посевных кормовых площадей кормоемкость на них возросла в 5 раз (с 1,84 до 9,25 усл. гол/га), что свидетельствует об утрате роли полевого кормопроизводства и распределении всей нагрузки на естественные пастбища.

4. При нагрузке на природные пастбища (0,44 усл. гол/га в 2021–2024 годах) реальная ситуация характеризуется крайней пространственной неравномерностью: вблизи населенных пунктов и водопоев формируются очаги перегрузки, провоцирующие пастбищную дигрессию и деградацию степной растительности.

5. Республика Дагестан выделяется как единственный субъект с устойчивым ростом поголовья (КРС +31,5 %, МРС +53,3 %) и наименьшим сокращением посевов кормовых культур (−14,2 %), что связано с сохранением традиционного отгонного животноводства. Ставропольский край, напротив, демонстрирует максимальный спад поголовья и кормовой базы на пашне, что делает его пастбищные угодья наиболее уязвимыми.

Для оптимизации пастбищного хозяйства и сохранения степных экосистем Восточного Предкавказья необходим комплексный подход, включающий:

1) инвентаризацию и геоботаническое обследование пастбищных угодий для оценки их реальной емкости и степени деградации;

2) восстановление растительности деградированных пастбищ с помощью фитомелиоративных методов и технологий;

3) увеличение посевов многолетних трав в субъектах Восточного Предкавказья для снижения нагрузки на природные пастбища и др.

Таким образом, вопросы сохранения степной растительности, используемой под выпас животных, требуют комплексного подхода, в котором должны участвовать как государственные органы, так и сельхозпроизводители, научные центры, природоохранные организации и другие заинтересованные стороны. Это обусловлено тем, что степные экосистемы являются уязвимым природным биомом, подверженным антропогенному и климатогенному воздействию, а их сохранение требует баланса между экологическими, экономическими и социальными интересами.

Библиографический список

1. Петрова М. В. Степи и их значение (глобальное и региональное) // Вопросы степеведения. 2021. № 1. С. 48–56. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-1-48-56.

2. Лапенко Н. Г., Хонина О. В., Старостина М. А. Обзор вопросов сохранения степных экосистем // Аграрная наука. 2024. Т. 389, № 12. С. 117–124. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-389-12-117-124.

3. Головлев Н. М., Головлева А. А. Антропогенная эволюция степей Притерского песчаного массива (Восточное Предкавказье) [Электронный ресурс]. URL: https://orensteppe.org/content/antropogennaya-evolyuciya-stepey-priterskogo-peschanogo-massiva-vostochnoe-predkavkaze (дата обращения: 18.03.2026).

4. Лапенко Н. Г., Хонина О. В., Костицын Р. Д. Влияние деструктивных факторов на растительность степных экосистем // Аграрный вестник Урала. 2023. № 08. С. 68–77. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-68-77.

5. Суров А. И., Лапенко Н. Г., Хонина О. В., Оганян Л. Р., Старостина М. А. Степные экосистемы юга России как фактор эффективного развития животноводства // Юг России: экология, развитие. 2024. Т. 19, № 1. С. 95–104. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-10.

6. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием Ставропольского края: монография / Под ред. К. Н. Кулика. Волгоград – Ставрополь: ФНЦ агроэкологии РАН, 2024. 164 с.

7. Чибилев А. А., Мелешкин Д. С., Григоревский Д. В. Современное состояние земель и сельскохозяйственных угодий регионов степного пояса России // Вопросы степеведения. 2021. № 2. С. 72–81. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-2-83-92.

8. Маслов Е. П. В степях и предгорьях Кавказа [Электронный ресурс]. URL: https://bigenc.ru/c/predkavkaz-e-ab07fe (дата обращения: 19.03.2026).

9. Ставропольский край. Географическое положение [Электронный ресурс]. URL: https://stavddt.ru/docs2021/Географ.%20положение%20СК.pdf?ysclid=musr92xnb564525221 (дата обращения: 19.03.2026).

10. Рыбашлыкова Л. П., Сивцева С. Н., Маховикова Т. Ф. Состояние и динамика продуктивности лесопастбищных угодий на песках Восточного Предкавказья // Известия НВ АУК. 2019. № 2. С. 161–168. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-19.

11. Система земледелия нового поколения Ставропольского края: монография / В. В. Кулинцев [и др.]. Ставрополь: АГРУС, 2013. 520 с.

12. Бабаева М. А., Осипова С. В. Особенности пастбищных кормовых растений Терско-Кумской низменности при антропогенном прессинге // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 52–56. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/52-56.

13. Chebotar V. K., Chizhevskaya E. P., Baganova M. E., et al. Endophytes from halotolerant plants aimed to overcome salinity and draught // Plants. 2022. Vol. 11, No. 21. Article number 2992. DOI: 10.3390/plants11212992.

14. Коэффициенты перевода физического поголовья животных и птицы в условные (расчетные) головы [Электронный ресурс]. URL: https://mshp.gov.by/special/ru/commercial-ru/view/koeffitsienty-perevoda-fizicheskogo-pogolovjja-zhivotnyx-i-ptitsy-v-uslovnye-raschetnye-golovy-8728 (дата обращения: 18.03.2026).

15. Лапенко Н. Г., Оганян Л. Р. Присельские пастбища – важная кормовая база для животных индивидуального сектора // Аграрный вестник Урала. 2019. № 11. С. 9–17. DOI: 32417/article_5dcd86 1e318036.10746233.

16. Лапенко Н. Г., Хонина О. В., Оганян Л. Р. Оптимизация пастбищной нагрузки на степные экосистемы аридной территории Ставропольского края // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 09. С. 1128–1137. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-09-1128-1137.

17. Усовершенствованные системы лугопастбищного кормопроизводства на юге России: монография / В. Г. Гребенников, В. В. Кулинцев, И. А. Шипилов [и др.]. Ставрополь: Ставрополь-Сервис-Школа, 2021. 315 с.

18. Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями / А. И. Беляев, К. Н. Кулик, А. С. Манаенков [и др.]. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. 68 с.

Об авторах:

Нина Григорьевна Лапенко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории лугопастбищного кормопроизводства, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия; ORCID 0000-0003-3856-690X, AuthorID 91042.
E-mail: sniish_stepi@mail.ru

Лусине Робертовна Оганян, руководитель информационно-аналитического центра, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия;
ORCID 0000-0002-0019-8956, AuthorID 744093. *E-mail: oganyan@inbox.ru*

Мария Александровна Старостина, научный сотрудник испытательной лаборатории шерсти, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия;
ORCID 0000-0003-0086-4258, AuthorID 684495. *E-mail: lapenko62@yandex.ru*

References

1. Petrova M. V. The role of steppes (global and regional scale). *Problems of Steppe Science.* 2021; 1: 48–56. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-1-48-56. (In Russ.)

2. Lapenko N. G., Khonina O. V., Starostina M. A. Overview of issues of conservation of steppe ecosystems. *Agrarian Science.* 2024; 389 (12): 117–124. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-389-12-117-124. (In Russ.)

3. Golovlev N. M., Golovleva A. A. Anthropogenic evolution of the steppes of the Priterskiy sand massif (Eastern Ciscaucasia) [Internet]. 2026 [cited 2026 Mar 18]. Available from: https://orensteppe.org/content/antropogennaya-evolyuciya-stepey-priterskogo-peschanogo-massiva-vostochnoe-predkavkaze. (In Russ.)

4. Lapenko N. G., Khonina O. V., Kostitsyn R. D. The influence of destructive factors on the vegetation of steppe ecosystems. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 08: 68–77. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-68-77. (In Russ.)

5. Surov A. I., Lapenko N. G., Khonina O. V., Oganyan L. R., Starostina M. A. Steppe ecosystems of the arid zone of southern Russia as a factor in the effective development of livestock farming. *South of Russia: Ecology, Development*. 2024; 19 (1): 95–104. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-1-10. (In Russ.)

6. Kulik K. N. (ed.) *The national action program to combat desertification of the Stavropol Krai: a monograph.* Volgograd – Stavropol: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2024. 164. (In Russ.)

7. Chibilev A. A., Meleshkin D. S., Grigorevskiy D. V. Modern structure and spatial distribution of agricultural lands in the regions of the Russia's steppe belt. *Problems of Steppe Science*. 2021; 2: 72–81. DOI: 10.24412/2712-8628-2021-2-83-92. (In Russ.)

8. Maslov E. P. *In the steppes and foothills of the Caucasus* [Internet]. 2026 [cited 2026 Mar 19]. Available from: https://bigenc.ru/c/predkavkaz-e-ab07fe. (In Russ.)

9. *Stavropol Krai. Geographical location* [Internet]. 2026 [cited 2026 Mar 19]. Available from: https://stavddt.ru/docs2021/Географ.%20положение%20СК.pdf?ysclid=musr92xnb564525221. (In Russ.)

10. Rybashlykova L. P., Sivtseva S. N., Makhovikova T. F. Condition and dynamics of productivity of forest-pasting eye on sands of Eastern Ciscaucasia. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2019; 2: 161–168. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-02-19. (In Russ.)

11. Kulintsev V. V., et al. *The farming system of the new generation of the Stavropol Krai: a monograph*. Stavropol: AGRUS, 2013. 520. (In Russ.)

12. Babaeva M. A., Osipova S. V. Features of fodder pasture plants in Tersco-Kumscaya lowland under anthropogenic pressure. *Vestnik of the Russian Agricultural Science.* 2021; 1: 52–56. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/52-56. (In Russ.)

13. Chebotar V. K., Chizhevskaya E. P., Baganova M. E., et al. Endophytes from halotolerant plants aimed to overcome salinity and draught. *Plants.* 2022; 11 (21): 2992. DOI: 10.3390/plants11212992.

14. *Coefficients for converting the physical number of animals and poultry into conventional (calculated) heads* [Internet]. 2026 [cited 2026 Mar 19]. Available from: https://mshp.gov.by/special/ru/commercial-ru/view/koeffitsienty-perevoda-fizicheskogo-pogolovjja-zhivotnyx-i-ptitsy-v-uslovnye-raschetnye-golovy-8728/. (In Russ.)

15. Lapenko N. G., Oganyan L. R. Rural pastures – the important food supply for animals of the individual sector. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 11: 9–17. DOI: 32417/article_5dcd861e318036.10746233. (In Russ.)

16. Lapenko N. G., Khonina O. V., Oganyan L. R. Optimization of the pasture load on the steppe ecosystems of the arid territory of the Stavropol Territory. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (09): 1128–1137. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-09-1128-1137. (In Russ.)

17. Grebennikov V. G., Kulintsev V. V., Shipilov I. A., et al. *Improved systems of grassland forage production in the south of Russia: a monograph*. Stavropol: Stavropol-Servis-Shkola, 2021. 315. (In Russ.)

18. Belyaev A. I., Kulik K. N., Manaenkov A. S., et al. *Methodological recommendations on phytomeliorative reconstruction of degraded and desolate pastures of the Russian Federation with innovative environmentally safe resource-saving technologies*. Volgograd: Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2021. 68 p. (In Russ.)

Authors' information:

Nina G. Lapenko, candidate of biological sciences, leading researcher at the laboratory of grassland feed production, North Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Mikhaylovsk, Stavropol Krai, Russia;
ORCID 0000-0003-3856-690X, AuthorID 91042. *E-mail: sniish_stepi@mail.ru*

Lusine R. Oganyan, head of the information and analytical center, North Caucasus Federal Scientific Agrarian Center, Mikhaylovsk, Stavropol Krai, Russia; ORCID 0000-0002-0019-8956, AuthorID 744093.
E-mail: oganyan@inbox.ru

Mariya A. Starostina, researcher at the wool testing laboratory, North Caucasus Federal Scientific Agricultural Center, Mikhaylovsk, Stavropol Krai, Russia; ORCID 0000-0003-0086-4258, AuthorID 684495.
E-mail: lapenko62@yandex.ru

УДК 631.454
Код ВАК 4.1.1
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1918-1927

Аспекты дифференцированного приема агротехники с геоинформационными технологиями и устойчивой урожайностью вико-пшеничной смеси на кормовое зерно в Среднем Предуралье

Т. В. Новикова✉, **Ю. Н. Зубарев, Н. А. Зеленков**
Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова
✉*E-mail: fufel1997@yandex.ru*

Аннотация. **Цель исследования** – определить эффективные параметры совместного выращивания вики посевной и яровой пшеницы в условиях Среднего Предуралья. **Актуальность** работы обусловлена необходимостью разработки научно обоснованных рекомендаций по нормам высева и оптимальным пропорциям компонентов в смешанных посевах, что позволит обеспечить стабильную урожайность при внедрении современных агротехнических решений. Эксперимент проводился в 2021–2023 гг. на базе Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства (филиал ПФИЦ УрО РАН) на участке с дерново-подзолистой почвой тяжелого суглинистого состава. **Методы.** В рамках исследования применялся комплексный подход с использованием трехфакторного эксперимента, в ходе которого оценивалось влияние различных параметров: дозировок удобрений, методов и норм внесения гербицидов, пропорций компонентов в посевной смеси, а также норм высева культур. Статистическая обработка полученных данных выполнялась согласно методикам Б. А. Доспехова, а оценка качества зерновых культур проводилась по общепринятым стандартам. **Результаты.** Определены оптимальные параметры возделывания: норма высева составила 1,1–2,7 млн семян на 1 га, оптимальное соотношение вики и пшеницы – 55 % к 45 %, прогнозируемая урожайность кормового зерна достигла 2–2,5 т/га, а ожидаемый урожай вики посевной – 0,9–1,3 т/га. Полученные результаты могут быть эффективно использованы в сельскохозяйственном производстве для повышения результативности смешанных посевов в условиях Среднего Предуралья. **Научная новизна.** Впервые для условий Среднего Предуралья определены оптимальные параметры совместного выращивания вики посевной и яровой пшеницы: в частности, установлены нормы высева (1,1–2,7 млн семян на 1 га) и соотношение компонентов в посевной смеси (55 % вики к 45 % пшеницы) на базе трехлетнего эксперимента и статистической обработки данных по методикам Б. А. Доспехова; при этом в регионе впервые адаптированы цифровые технологии (ГИС и ДЗЗ) для мониторинга чистых и смешанных посевов, а также успешно апробированы инновационные методы цифровой агротехники, что в совокупности формирует научно обоснованную базу для внедрения современных агротехнических решений и повышения стабильности урожайности в местных почвенно-климатических условиях.

Ключевые слова: дифференцированный прием, урожайность кормового зерна, вико-пшеничная смесь, удобрение, гербицид, инновационная агротехника, ГИС-технологии

Для цитирования: Новикова Т. В., Зубарев Ю. Н., Зеленков Н. А. Аспекты дифференцированного приема агротехники с геоинформационными технологиями и устойчивой урожайностью вико-пшеничной смеси на кормовое зерно в Среднем Предуралье // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1918–1927. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1918-1927.

Дата поступления статьи: 05.03.2026, ***дата рецензирования:*** 25.05.2026, ***дата принятия:*** 08.07.2026.

© Новикова Т. В., Зубарев Ю. Н., Зеленков Н. А., 2026

Some aspects of differentiated agricultural practices with geoinformation technologies and stable yield of vetch-wheat mixture for fodder grain in the Middle Urals

T. V. Novikova✉, **Yu. N. Zubarev, N. A. Zelenkov**
Perm Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia
✉*E-mail: fufel1997@yandex.ru*

Abstract. **The purpose** of the study is to determine effective parameters for the joint cultivation of common vetch and spring wheat under the conditions of the Middle Cis-Ural region. The relevance of the study is driven by the need to develop scientifically grounded recommendations on seeding rates and optimal component ratios in mixed crops, which will ensure stable yields when introducing modern agronomic solutions. The experiment was conducted in 2021–2023 at the Perm Research Institute of Agriculture (a branch of the Perm Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences) on a plot with soddy-podzolic soil of heavy loam composition. **Methods.** The study employed a comprehensive approach using a three-factor experiment to evaluate the influence of various parameters: fertilizer dosages, herbicide application methods and rates, component ratios in the seed mixture, and seeding rates of the crops. Statistical processing of the obtained data was performed according to the methods of B. A. Dospekhov, and the quality of grain crops was assessed according to generally accepted standards. **Results.** Optimal cultivation parameters were determined: the seeding rate was 1.1–2.7 million seeds per 1 ha, the optimal ratio of vetch to wheat was 55 % to 45 %, the projected forage grain yield reached 2–2.5 t/ha, and the expected yield of common vetch was 0.9–1.3 t/ha. The obtained results can be effectively used in agricultural production to improve the efficiency of mixed cropping under the conditions of the Middle Cis-Ural region. **Scientific novelty.** For the first time under the conditions of the Middle Urals, the optimal parameters for the joint cultivation of common vetch and spring wheat have been determined – in particular, seeding rates (1.1–2.7 million seeds per hectare) and the ratio of components in the seed mixture (55 % vetch to 45 % wheat) have been established based on a three-year experiment and statistical data processing using B. A. Dospekhov's methods. At the same time, digital technologies (GIS and remote sensing) have been adapted for monitoring pure and mixed crops in the region for the first time, and innovative digital agrotechnical methods have been successfully tested. Taken together, this forms a scientifically grounded basis for implementing modern agrotechnical solutions and improving yield stability under the local soil and climatic conditions.

Keywords: differentiated approach, fodder grain yield, vetch-wheat mixture, fertilizer, herbicide, innovative agrotechnics, GIS technologies

For citation: Novikova T. V., Zubarev Yu. N., Zelenkov N. A. Some aspects of differentiated agricultural practices with geoinformation technologies and stable yield of vetch-wheat mixture for fodder grain in the Middle Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2026; 26 (10): 1918–1927. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1918-1927. (In Russ.)

Date of paper submission: 05.03.2026, ***date of review:*** 25.05.2026, ***date of acceptance:*** 08.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Успешность культивирования зернофуражных культур во многом зависит от грамотного подбора и правильного соотношения компонентов в смешанном посеве. Особенно это касается комбинации бобовых и злаковых растений, где каждый компонент должен оптимально дополнять друг друга. Проведенные наблюдения за период с 2021 по 2023 год продемонстрировали устойчивые результаты урожайности. Так, средняя продуктивность вики посевной достигла 1,2 т/га, а яровая пшеница показала несколько более высокие результаты – 1,4 т/га. Эти данные свидетельствуют о перспективности совместного выращивания данных культур в рамках одной агротехнической системы [1]. Трансформация традиционного земледелия происходит за счет активного внедрения цифровых инноваций и технологий точного агроменеджмента [2]. Использование современных ГИС-систем и методов прецизионного внесения агрохимикатов существенно повышает качество управленческих решений в агросекторе, обеспечивая оптимальное расходование производственных ресурсов [3; 4]. Перспективным направлением развития сельского хозяйства явля-

© Novikova T. V., Zubarev Yu. N., Zelenkov N. A., 2026

ется создание смешанных посевов, включающих бобовые (вика) и злаковые (пшеница яровая) культуры, что позволяет усилить биологический потенциал агроценоза и улучшить качество получаемого кормового зерна [5; 6]. Комбинация передовых агротехнологий с геоинформационным обеспечением, реализующая дифференцированный подход к применению удобрений, гербицидов и определению оптимальных параметров посева бобово-злаковых композиций, становится эффективным механизмом роста экономической результативности сельскохозяйственного производства в Уральском регионе и Нечерноземной зоне России [7; 8].

Методология и методы исследования (Methods)

Полевые исследования проведены в 2021–2023 годах на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве агрополигона Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН. Объект исследований – вика посевная сорта Мега и яровая пшеница сорта Каменка.

Схема трехфакторного полевого опыта:

Фактор А – доза применения удобрений: A_1 – ($N_{15}P_{60}K_{60}$) – среднерекомендованная (средняя) доза для бобово-злаковых смесей в Среднем Предуралье; A_2 – (NPK) – расчетная доза с использованием дифференцированного внесения (таблица 1).

Фактор В – опрыскивание гербицидом: B_1 – без гербицида (контроль); B_2 – сплошное (Линтаплант (КС), норма применения препарата 0,8 л/га); B_3 – дифференцированное (с учетом ЭПВ) и цифровой коррекцией (Линтаплант (КС), норма применения препарата 0,8 л/га).

Фактор С – соотношение компонента в посеве и норма высева (вика + пшеница), % (млн шт/га): C_1 – 100 + 0 (2,0 + 0); C_2 – 0 + 100 (0 + 6,0); C_3 – 85 + 15 (1,7 + 0,9); C_4 –70 + 30 (1,4 + 1,8); C_5 – 55 + 45 (1,1 + 2,7); C_6 – 40 + 60 (0,8 + 3,6) %. Соотношение компонента зерновой смеси принято в долях (%) от нормы высева (млн всхожих семян на 1 га) вики посевной Мега – 2 млн шт/га, яровой пшеницы Каменка – 6 млн шт/га в чистом виде (100 %). Размещение делянок систематическое в два яруса, повторность четырехкратная. Общая площадь делянок (А) – 2100 м^2, учетная – 1100 м^2; общая площадь делянки (В) – 480 м^2, учетная – 360 м^2; общая площадь (С) – 96 м^2, учетная – 60 м^2.

Основная зяблевая обработка почвы выполнена оборотным полунавесным плугом KUHN Manager C5T/5, ранней весной – боронование БЗТ-1. Минеральные удобрения внесены разбрасывателем KUHN AXIS 40.2M с предпосевной обработкой почвы двумя методами: по среднерекомендованным (средним) дозам и дифференцированным способом с ДЗЗ согласно схеме опыта. Таблица 1 иллюстрирует разницу между среднерекомендованными (средними) дозами для Пермского края и дифференцированными дозами удобрений. В зависимости от нуждаемости почвы в элементах питания были рассчитаны и внесены разные дозы минеральных удобрений.

Таблица 1

Физическая масса удобрений при внесении среднерекомендованной и расчетной дозы дифференцированным способом, среднее за 2021–2023 гг.

Норма высева / соотношение компонента вики и пшеницы, % (С)	Применение удобрений и доза, кг/га (А, В)					
	Дифференцированное, расчетная доза с цифровой коррекцией ДЗЗ			Сплошное, среднерекомендованная доза		
	Азот	Фосфор	Калий	Азот	Фосфор	Калий
100 + 0	53,02	157,27	9,92	43,23	113,21	111,11
0 + 100	52,16	160,63	12,19	43,23	113,21	111,11
85 + 15	54,60	150,27	4,36	43,23	113,21	111,11
70 + 30	51,38	166,02	0,67	43,23	113,21	111,11
55 + 45	50,83	163,99	0,67	43,23	113,21	111,11
40 + 60	50,90	163,33	7,42	43,23	113,21	111,11
Среднее	52,15	160,25	5,87	43,23	113,21	111,11

Table 1

The physical mass of fertilizers when applying the average recommended and calculated dose in a differentiated manner, the average for 2021–2023

Seeding rate/ratio of vetch and wheat components, % (C)	*Fertilizer application and dose, kg/ha (A, B)*					
	Differentiated, calculated dose with digital remote sensing correction			*Solid, medium-recommended dose*		
	Nitrogen	*Phosphorus*	*Potassium*	*Nitrogen*	*Phosphorus*	*Potassium*
100 + 0	*53.02*	*157.27*	*9.92*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
0 + 100	*52.16*	*160.63*	*12.19*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
85 + 15	*54.60*	*150.27*	*4.36*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
70 + 30	*51.38*	*166.02*	*0.67*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
55 + 45	*50.83*	*163.99*	*0.67*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
40 + 60	*50.90*	*163.33*	*7.42*	*43.23*	*113.21*	*111.11*
Average	*52.15*	*160.25*	*5.87*	*43.23*	*113.21*	*111.11*

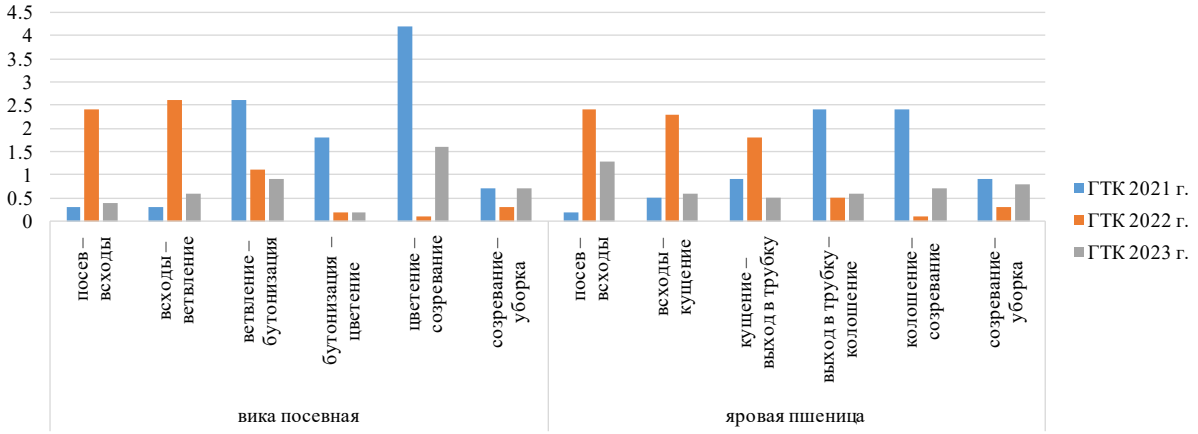


Рис. 1. Гидротермические и фенологические факторы вегетации агроценозов вики посевной и яровой пшеницы, среднее за 2021–2023 гг.

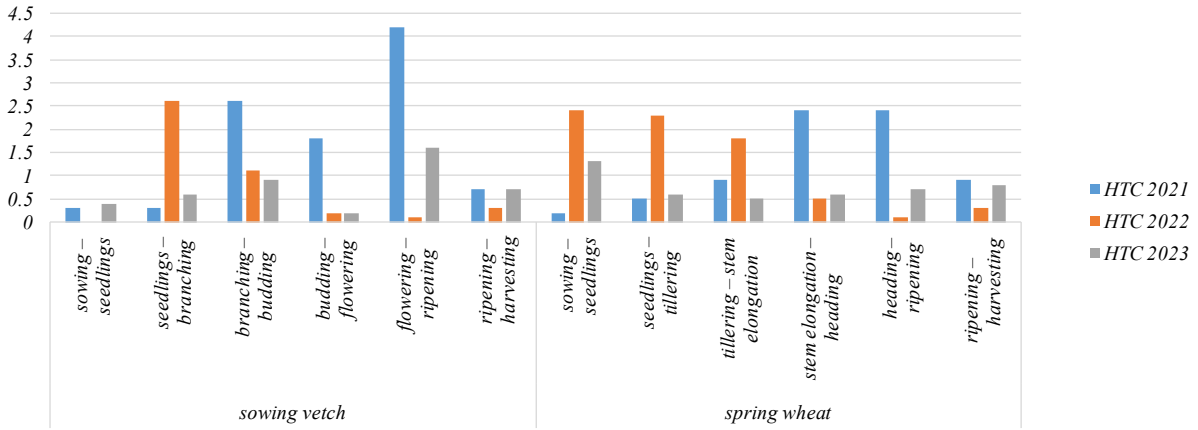


Fig. 1. Hydrothermal and phenological factors of vegetation in the agro-cenoses of vetch and spring wheat, average for 2021–2023

В ходе подготовки экспериментальных участков была реализована комплексная система агротехнических мероприятий. Первоначальным этапом послужила предпосевная обработка почвы, выполненная с помощью культиватора КБМ-8П. Посев сельскохозяйственных культур (как монокультуры, так и смешанные посевы вики с пшеницей) производился сеялкой Amazone d9 4000. На следующий день после посева была проведена операция прикатывания почвы с использованием кольчато-шпорового катка модели 3-ККШ-6. Борьба с сорной растительностью осуществлялась путем применения гербицидного препарата «Линтаплант (КС)» в дозировке 0,8 л/га. Распыление выполнялось опрыскивателем ОП-2000. Перед обработкой специалисты проводили тщательный мониторинг сорняков, фиксируя их количество и видовой состав на всех участках, включая контрольные делянки. Решение о необходимости дифференцированного внесения гербицида принималось на основе сравнения фактического количества сорняков с установленным экономическим порогом вредоносности. При превышении допустимой нормы на определенной площади проводилось опрыскивание с сохранением стандартных параметров расхода препарата и рабочей жидкости [9]. Внедрение цифровых технологий в агротехнические процессы осуществлялось посредством современных геоинформационных инструментов. В качестве основного программного обеспечения использовалась система QGIS, позволяющая проводить комплексный анализ сельскохозяйственных угодий. Для оценки состояния растительности применялся метод расчета вегетационного индекса NDVI, базирующегося на данных мультиспектральной съемки спутников Sentinel-2. Обработка полученных материалов проводилась с привлечением функционала программы ArcGIS и встроенного растрового калькулятора. Расчет индекса NDVI выполнялся по классической формуле, учитывающей разницу и сумму показателей отражения в различных спектральных диапазонах: Индекс вегетации NDVI рассчитывается по формуле NDVI = (NIR – RED) / (NIR + RED), в которой NIR представляет показатели ближнего ИК-диапазона, а RED соответствует значениям красного диапазона спектрограммы [10].

Полевой опыт проведен в соответствии методикой опытного дела [11]. Исследование физико-механических характеристик почвенного покрова проводилось в соответствии с общепринятыми методологическими подходами. В ходе анализа определялись структурные показатели грунта, включая

мегаструктурные элементы размером более 10 мм, макроструктурные частицы от 10 до 0,25 мм и микроструктурные компоненты в диапазоне от 0,25 до 0,01 мм. Дополнительно оценивались параметры почвенного сложения: особенности строения, структурное состояние и процентное содержание пор. Также производился замер запасов доступной для растений влаги в почвенном профиле [12]. В процессе исследования проводился комплексный анализ состояния посевов, включающий оценку основных показателей. Определяли полевую всхожесть культур и плотность их размещения на единице площади, одновременно оценивая общее состояние каждой отдельно взятой растительной единицы в рамках посева. Исследования проводились в строгом соответствии с методическими указаниями по проведению государственных сортоиспытаний сельскохозяйственных культур, что обеспечило возможность всестороннего анализа морфологических характеристик растений и детального исследования формирования урожайности. Оценка степени засоренности посевов осуществлялась посредством количественно-весового метода на всех ключевых этапах вегетационного периода – от начала до завершения развития растений [13]. Структуру урожайности анализировали по методике [14].

Результаты (Results)

Климатические условия в период активной вегетации культур существенно различались по годам проведения эксперимента (рис. 1). Климатические условия 2021 года характеризовались превышением температурных норм над многолетней статистикой в сочетании с недостаточным количеством осадков. В отличие от этого, 2022 год продемонстрировал более подходящие для сельскохозяйственных культур показатели: температурный режим находился в пределах оптимума, а уровень увлажнения был достаточным на всех важнейших этапах вегетации растений (гидротермический коэффициент достиг значения 1,4). Важно отметить, что в ключевой фазе развития агрокультур – в период формирования куста пшеницы и развития побегов вики – наблюдалась устойчивая динамика роста растений, несмотря на существенные различия погодных условий в период 2021–2023 годов (средний гидротермический коэффициент стабилизировался на отметке 1,3). Данный показатель указывает на оптимальное насыщение почвы влагой, что формирует подходящие предпосылки как для активного роста сельскохозяйственных растений, так и для распространения сорняков. Однако в 2023 году погодные факторы сложились неблагоприятным образом, существенно затруднив развитие зерновых культур.

Таблица 2

Урожайность зерна вико-пшеничной смеси в зависимости от дифференцированного приема агротехники и ГИС-технологий, среднее за 2021–2023 гг.

Применение		Соотношение компонента вики и пшеницы (С)						Среднее по фактору В	Отклонения
Удобрений (А)	Гербицида (В)	Вика 100 + 0 %	Пшеница 0 + 100 %	Вика + пшеница (85 + 15 %)	Вика + пшеница (70 + 30 %)	Вика + пшеница (55 + 45 %)	Вика + пшеница (40 + 60 %)		
Сплошное, среднерасчетная доза ($N_{15}P_{60}K_{60}$)	Без гербицида (контроль)	1,84	2,08	1,39	1,83	1,87	1,83	1,81	–
	Сплошное	1,31	2,24	1,71	1,67	1,77	1,75	1,74	–0,06
	Дифференцированное	1,01	1,82	1,16	1,49	1,70	1,55	1,46	–0,35
Дифференцированное, цифровая коррекция дозы	Без гербицида (контроль)	1,17	1,49	1,42	1,64	1,69	1,88	1,55	–0,26
	Сплошное	0,77	1,61	1,14	1,34	1,46	1,59	1,32	–0,49
	Дифференцированное	1,05	1,56	1,19	1,55	1,63	1,53	1,42	–0,39
	Среднее по фактору С	1,19	1,80	1,34	1,59	1,69	1,69	1,55	–
	Отклонения	–	0,61	0,14	0,39	0,49	0,50	–	–
	$НСР_{05}$								–
	Главных эффектов	Фактора А						0,09	
		Фактора В и взаимодействия АВ						0,10	
		Фактора С и взаимодействия АС						0,08	
	Частных различий	I порядка						0,39	
		II порядка						0,33	
		III порядка						0,19	

Table 2

Grain yield of vetch-wheat mixture depending on the differentiated use of agricultural machinery and GIS technologies, the average for 2021–2023

Application		The ratio of the component of vetch and wheat (C)							
Fertilizers (A)	**Herbicide (B)**	**Vetch 100 + 0 %**	**Wheat 0 + 100 %**	**Vetch + wheat (85 + 15 %)**	**Vetch + wheat (70 + 30 %)**	**Vetch + wheat (55 + 45 %)**	**Vetch + wheat (40 + 60 %)**	**The average of the factor B**	**Deviations**
Solid, average calculated dose ($N_{15}P_{60}K_{60}$)	*Herbicide-free (control)*	*1.84*	*2.08*	*1.39*	*1.83*	*1.87*	*1.83*	*1.81*	*–*
	Solid	*1.31*	*2.24*	*1.71*	*1.67*	*1.77*	*1.75*	*1.74*	*–0.06*
	Differentiated	*1.01*	*1.82*	*1.16*	*1.49*	*1.70*	*1.55*	*1.46*	*–0.35*
Differentiated, digital dose adjustment	*Herbicide-free (control)*	*1.17*	*1.49*	*1.42*	*1.64*	*1.69*	*1.88*	*1.55*	*–0.26*
	Solid	*0.77*	*1.61*	*1.14*	*1.34*	*1.46*	*1.59*	*1.32*	*–0.49*
	Differentiated	*1.05*	*1.56*	*1.19*	*1.55*	*1.63*	*1.53*	*1.42*	*–0.39*
	The average of the factor C	*1.19*	*1.80*	*1.34*	*1.59*	*1.69*	*1.69*	*1.55*	*–*
	Deviations	*–*	*0.61*	*0.14*	*0.39*	*0.49*	*0.50*	*–*	*–*
	LSD_{05}								*–*
	Main effects	*Factor A*						*0.09*	
		Factor B and interaction AB						*0.10*	
		Factor C and AC interactions						*0.08*	
	Particular differences	*I order*						*0.39*	
		II order						*0.33*	
		III order						*0.19*	

Результаты эксперимента показали существенную разницу в продуктивности различных вариантов посева. Наивысшая продуктивность посевов была зафиксирована в варианте с одиночной культурой яровой пшеницы, где применялось стандартное удобрение и гербицидная обработка – 2,24 т/га. Минимальные показатели урожайности продемонстрировала чистая культура вики при рекомендованной норме удобрений и дифференцированном применении гербицидов – лишь 1,02 т/га. Столь значительное снижение урожайности обусловлено массовым полеганием растений, что убедительно доказывает преимущества технологии смешанных посевов (таблица 2).

В ходе исследований удалось достичь запланированных показателей урожайности только в 2022 году: в чистых посевах вики посевной был получен результат 3,28 т/га, а яровая пшеница продемонстрировала впечатляющую продуктивность 3,78 т/га. Наиболее эффективное сочетание компонентов в смешанных посевах установлено при распределении 55 % на долю вики и 45 % на пшеницу при общей норме высева 1,1 + 1,7 млн семян на 1 га. Наилучшие показатели урожайности наблюдались как при использовании стандартных норм внесения удобрений, так и при других вариантах подкормки в сочетании с дифференцированным опрыскиванием гербицидом (2,75 т/га), так и при комплексном дифференцированном внесении средств защиты растений (2,49 т/га).

Применение современных технологий, включая ГИС-системы и методы дистанционного зондирования, позволило провести детальный сравнительный анализ эффективности как традиционных, так и инновационных агротехнических приемов при возделывании как чистых, так и смешанных посевов. Трехлетние исследования (2021–2023) продемонстрировали наиболее высокую среднюю урожайность вико-пшеничной смеси в варианте с соотношением компонентов 55 % вики и 45 % пшеницы. Показатели достигли 1,46–1,64 т/га при доле вики 80–90 %. Наилучшие результаты были получены при использовании технологий цифровой коррекции. Результативность посевов сохранялась как при точечном внесении удобрений в комбинации с общей обработкой гербицидами, так и при использовании современных цифровых технологий, позволяющих точно регулировать дозировку удобрений и расход гербицидных препаратов.

Анализ структуры урожая показал, что на одном растении вики посевной формировалось в среднем 2–4 семени, тогда как в колосе яровой пшеницы созревало около 20 зерен. При изменении пропорций компонентов смеси наблюдалось следующее: снижение доли бобовых культур уменьшало количество стеблей, но не влияло на число семян в бобе, в то время как увеличение доли пшеницы способствовало росту числа продуктивных стеблей и, соответственно, общего количества зерен.

Проведенный анализ результатов трехлетнего исследования (2021–2023) выявил значительное влияние способа внесения удобрений на массу тысячи семян. При использовании дифференцированного подхода с применением дистанционного зондирования масса тысячи семян вики посевной достигала 75,4–79,3 г, а у яровой пшеницы – 36,5–44,3 г. Для сравнения: при стандартной дозировке эти показатели составляли 68,5–70,3 г для вики и 33,4–36,9 г для пшеницы. Особенно заметным оказалось преимущество инновационных методов: показатели массы тысячи семян продемонстрировали существенный рост: у вики посевной зафиксировано превышение над контролем на 10–13 %, а у яровой пшеницы – на 9–20 %. Максимальные значения данного параметра были получены при интегрированном использовании технологий точечного внесения удобрений совместно с целенаправленной гербицидной обработкой посевов. Несмотря на возможное незначительное снижение урожайности, такой подход существенно улучшал качество зерна, что положительно сказывалось на экономической эффективности производства.

Таким образом, внедрение цифровых технологий коррекции агротехнических приемов с использованием дистанционного зондирования демонстрирует высокую эффективность как в плане повышения урожайности, так и улучшения качественных показателей зерновой продукции.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Анализ трехлетних данных (2021–2023) показал, что применение различных методов защиты растений обеспечило умеренную эффективность борьбы с сорной растительностью. В посевах как чистых, так и смешанных культур (вика с пшеницей) при использовании как сплошного, так и дифференцированного внесения гербицидов и удобрений достигалось снижение численности сорняков на 20 %. В ходе мониторинга фитосанитарного состояния посевов установлено, что до проведения химической защиты в агроценозе вико-пшеничной смеси регистрировалось значительное засоренность (38–41 сорный экземпляр на 1 м^2). Применение гербицидных препаратов обеспечило существенное снижение численности сорной растительности, сократив показатель почти вдвое – до 18–19 растений на 1 м^2. Особого внимания заслуживает структура засоренности: доминирующую позицию занимали многолетние сорные виды, представленные 8–11 особями на 1 м^2, что соответствовало 44–58 % от общей численности сорной флоры. Среди многолетников преимущественно встречались такие виды, как пырей ползучий и осот полевой, способные к активному вегетативному размножению. Согласно действующим агротехническим нормативам, определяющим критические пороги вредоносности, экономически опасным уровнем считается присутствие 3–6 экземпляров многолетних и 10–18 особей малолетних сорных растений на 1 м^2. Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности примененной системы защиты, позволившей снизить численность сорняков до показателей, не оказывающих существенного негативного влияния на урожайность сельскохозяйственных культур [15; 16].

Благоприятные погодные условия сезона – теплая и умеренно влажная погода – привели к значительному зарастанию посевов сорной растительностью. Исходная плотность сорняков достигала 56–68 экземпляров на 1 м^2, однако благодаря применению как сплошной, так и дифференцированной обработки гербицидами удалось снизить этот показатель в 3–4 раза — до 18–23 растений на 1 м^2. При этом доля многолетних видов составляла 30–37 % от общего количества. Комплексный подход к борьбе с сорняками, объединяющий адаптивные агротехнические приемы с использованием геоинформационных систем (ГИС), показал высокую эффективность и технологичность благодаря возможности точечного воздействия на проблемные участки при оптимизации затрат и минимизации экологического влияния. При этом важно отметить, что в условиях контрастной погоды с резкими температурными колебаниями и дефицитом влаги биологическая активность почвенной микрофлоры оставалась на низком уровне (7–18 %), что связано с замедлением метаболических процессов в микробных сообществах, включая азотфиксирующие бактерии и деструкторы органического вещества, и негативно влияет на разложение растительных остатков и формирование плодородного слоя почвы, требуя особого внимания при планировании агротехнических мероприятий. Проведенные трехлетние исследования (2021–2023) позволили определить наиболее эффективные параметры посева вико-пшеничной смеси. Оптимальной признана норма высева 1,1 + 2,7 млн семян на 1 га при соотношении компонентов 55 % вики и 45 % пшеницы. При таком подходе урожайность зерновой продукции достигала 1,46–1,87 т/га, что соответствовало 73–75 % от расчетного показателя. Максимальные значения плановой урожайности в диапазоне 2,49–2,75 т/га удалось получить только в 2022 году благодаря благоприятным погодным условиям.

По итогам трехлетнего периода наблюдений (2021–2023) установлено, что достижение максимальных значений средней урожайности обусловлено применением дифференцированных подходов к внесению удобрений. При традиционном способе внесения расчетной нормы удобрений без применения средств защиты растений урожайность составила 1,87 т/га. В то же время применение современных технологий, включающих дифференцированное внесение удобрений с использованием цифровых систем корректировки в сочетании с гербицидной обработкой, обеспечило несколько более

низкий результат – 1,64 т/га. Такая разница может быть обусловлена особенностями распределения питательных веществ и спецификой воздействия гербицидных препаратов на культурные растения. Внедрение современных цифровых технологий управления посевами, основанных на анализе данных дистанционного зондирования и применении геоинформационных систем (ГИС), демонстрирует двойную эффективность.

Помимо существенной оптимизации затрат на агрохимикаты за счет точечного внесения удобрений и гербицидов, наблюдается заметное улучшение качественных характеристик урожая. Так, масса 1000 семян у вики посевной увеличивается на 10–13 % (75,37–79,29 г), а у яровой пшеницы – на 9–20 % (36,46–44,29 г). Подобный эффект достигается благодаря точному соблюдению норм внесения удобрений и своевременному проведению защитных мероприятий, что создает оптимальные условия для формирования полноценного семенного материала.

В ходе трехлетних исследований (2021–2023) была оценена эффективность различных методов защиты посевов от сорной растительности. Обработка посевов препаратом «Линтаплант (КС)» в концентрации 0,8 л/га, проведенная как сплошным, так и дифференцированным методом, обеспечила высокоэффективное подавление сорной растительности в агроценозе вики и пшеницы. Количество сорных растений снизилось вдвое – с исходных 38–41 до 18–19 экземпляров на 1 м^2. Такой результат свидетельствует о высокой биологической эффективности гербицида и подтверждает целесообразность его применения в обеих технологиях внесения, что особенно актуально в условиях современной интенсификации сельскохозяйственного производства. При использовании дифференцированного подхода к внесению удобрений и гербицидов с цифровой коррекцией в посевах вико-пшеничной смеси (соотношение 55 % + 45 %) наблюдалось снижение засоренности в 2,2 раза – с 37–44 до 17–18 растений на 1 м^2.

Что касается влагообеспеченности, то в начале вегетационного периода 2022 и 2023 годов запасы продуктивной влаги составляли 19,1–44,1 мм, что существенно превышало показатели 2021 года (4,73–35,9 мм). К окончанию вегетационного периода наблюдалось значительное уменьшение запасов продуктивной влаги в почве. Показатели снизились до 7,4–21,6 мм в первом случае и до 16,1–22,8 мм во втором, что характерно для завершающей фазы вегетации при естественном испарении и потреблении влаги растениями. Подобная динамика влагозапасов является типичной для данного периода развития культур и свидетельствует о нормальном ходе вегетации при условии своевременного обеспечения растений водой в критические фазы развития. В 2021 году, несмотря на удовлетворительные начальные показатели влагозапасов, к концу вегетации они опустились до минимальных значений – 8,5–13,9 мм.

В результате трехлетнего исследования (2021–2023) была разработана и апробирована наиболее эффективная технология выращивания смеси вики с пшеницей. Оптимальные параметры технологии включают норму высева 1,1 + 1,7 млн всхожих семян на 1 га при соотношении культур 55 % вики и 45 % пшеницы. Применение дифференцированных норм удобрений и гербицидов с цифровой корректировкой позволило достичь максимальной экономической отдачи. Экономические показатели данной технологии впечатляют: уровень рентабельности достиг 43–49 % при себестоимости продукции 10 828–11 381 руб/т (10,8–11,4 руб/кг). Это на 11 % экономичнее по сравнению со сплошной системой внесения удобрений без применения гербицидов, где себестоимость составляла 12 157 руб/т (12,2 руб/кг) при рентабельности 35 %. Примечательно, что полный отказ от гербицидной обработки приводит лишь к незначительному снижению себестоимости продукции (в диапазоне 10 828–12 157 руб/т), что не компенсирует потерю в качестве и урожайности, также приводит к серьезной проблеме – сильной засоренности посевов (27–71 сорное растение на 1 м^2), причем 56–59 % из них – многолетние виды. Применение технологии дифференцированного внесения удобрений и гербицидов на основе данных дистанционного зондирования демонстрирует существенную экономическую эффективность. Материальные затраты при таком подходе удается снизить на 10–30 %, что, в свою очередь, способствует увеличению рентабельности производства на 10–15 %. Подобная оптимизация расходов достигается за счет точного распределения агрохимикатов с учетом реальных потребностей культур на конкретных участках поля, что позволяет избежать как перерасхода средств, так и негативного воздействия на окружающую среду.

Библиографический список

1. Жученко А. А. Ресурсный потенциал производства зерна в России. Москва: Агрорус, 2004. 1111 с.

2. Захарова А. Н. Влияние сорта, азота и нормы высева на урожайность зерна бобово-ячменных смесей в Предуралье: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Пермь, 2009. 18 с.

3. Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С., Новикова Т. В., Полякова С. С., Фомин Дм. С. Применение данных дистанционного зондирования земли с элементами точного земледелия при возделывании бобово-злаковых смесей с разным соотношением компонентов // Пермский аграрный вестник. 2023. № 1 (41). С. 20–28. DOI: 10.47737/2307-2873_2023_41_20.

4. Косолапов В. М., Гаганов А. П., Зверкова З. Н., Винжега Л. Н. Эффективность использования вики в рационах цыплят-бройлеров // Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 2 (10). С. 100–104. DOI: 10.24411/2309-348X-2014-10201.

5. Линков С. А., Акинчин А. В., Колесниченко Е. Ю., Морозова Т. С. Основные аспекты научно-технологического развития АПК Российской Федерации // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 4 (28). С. 150–161. DOI: 10.33305/221-922X.2020.28.4.150.

6. Лыскова И. В., Суховеева О. Э., Лыскова Т. В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22 (2). С. 244–253. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253.

7. Набоков В. И., Волков В. И., Некрасов К. В. Агропромышленный комплекс Пермского края на современном этапе развития // Вопросы управления. 2019. № 6 (61). С. 170–177. DOI: 10.22394/2304-3369-2019-6-170-177.

8. Новикова Т. В., Фомин Д. С., Зубарев Ю. Н. Сравнительная оценка методики дифференцированного внесения удобрений с элементами NDVI под предпосевную обработку почвы на однолетнем бобово-пшеничном агрофитоценозе в Среднем Предуралье // Технологии земледелия и защиты растений: интеллектуальные, инновационные и цифровые ресурсы: сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 95-летию Заслуженного деятеля науки РФ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора М. Н. Гуренева. Пермь, 2021. С. 95–98. DOI: 10.37568/2658-705X.2021.2.12.

9. Новикова Т. В., Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С. Возделывание вики посевной и яровой пшеницы в чистом и смешанном посеве с разным соотношением компонентов и применением данных дистанционного зондирования с цифровой коррекцией агротехнических приемов в Среднем Предуралье // Пермский аграрный вестник. 2024. № 1 (42). С. 24–32. DOI: 10.47737/2307-2873_2024_42_24.

10. Труфляк Е. В., Курчено Н. Ю. Точное сельское хозяйство: цифровые технологии в АПК // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона: материалы XII Международной научно-практической конференции. Ставрополь, 2018. С. 136–138. DOI: 10.37568/agrus.2018.12.01.022.

11. Труфляк Е. В., Кулак А. А. Эффективность использования беспилотной технологии внесения удобрений и средств защиты растений при возделывании озимого ячменя // ЕГИ. 2022. № 44 (6). С. 314–318. DOI: 10.22314/2618-4117-2022-44-6-314-318.

12. Gulyanov Yu. A. Scientific bases of principles estimating a state of the vegetation cover in steppe agrocenoses using innovative methods of smart agriculture // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 817. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012040.

13. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Change in indicators of photosynthetic activity of Echinacea purpurea seedlings in the second year of life // Plant Archives. 2021. Vol. 21, No. 1. Pp. 467–472. DOI: 10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.003.

14. Hawkesford M. J. Malcolm. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production // Journal of Cereal Science. 2013. No. 59. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.12.001.

15. Rakhimova O. V., Khramoy V. K., Sikharulidze T. D., Yudina I. N. Influence of nitrogen fertilizers on protein productivity of vetch-wheat grain under different water supply conditions // Caspian Journal of Environmental Sciences. 2021. Vol. 19, No. 5. Pp. 951–954. DOI: 10.22124/cjes.2021.5273.

16. Derepaskin A. I., Polishshuk Yu. V., Shayakhmetov A. I., et al. Influence of parallel driving systems and differentiated fertilizer application on the efficiency of using machine and tractor units in the southern chernozem of North Kazakhstan // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2023. Vol. 71, No. 1. Pp. 43–51. DOI: 10.11118/actaun.2023.004.

Об авторах:

Татьяна Владиславовна Новикова, кандидат сельскохозяйственных наук, кафедры агробиотехнологий, Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-5765-7439, AuthorID 1071010. *E-mail: fufel1997@yandex.ru*

Юрий Николаевич Зубарев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агробиотехнологий, главный научный сотрудник Управления научной и инновационной деятельности, Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия;
ORCID 0000-0002-6049-3244, AuthorID 522714. *E-mail: yn-zubarev@mail.ru*

Никита Александрович Зеленков, аспирант кафедры агробиотехнологий, Пермский аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия;
ORCID 0000-0001-5560-2242, AuthorID 1070881. *E-mail: zelenkovn222@mail.ru*

References

1. Zhuchenko A. A. *Resource potential of grain production in Russia*. Moscow: Agrorus, 2004. 1111 p. (In Russ.)

2. Zakharova A. N. *The influence of variety, nitrogen and seeding rate on grain yield of legume-barley mixtures in the Urals*: *abstract of the dissertation … candidate of agricultural sciences.* Perm, 2009. 18 p. (In Russ.)

3. Zubarev Yu. N., Fomin D. S., Novikova T. V., Polyakova S. S., Fomin Dm. S. Application of earth remote sensing data with the precision agriculture elements in the legume-cereal mixtures cultivation with different ratios of components. *Perm Agrarian Journal*. 2023; 1 (41): 20–28. (In Russ.)

4. Kosolapov V. M., Gaganov A. P., Zverkova Z. N., Vinzhega L. N. The effectiveness of the use of vetch in the diets of broiler chickens. *Leguminous and Cereal Crops*. 2014; 2 (10): 100–104. (In Russ.)

5. Linkov S. A., Akinchin A. V., Kolesnichenko E. Y., Morozova T. S. Basic aspects of scientific and technological development of the agro-industrial complex of the Russian Federation. *Innovations in Agriculture: Problems and Prospects*. 2020; 4 (28): 150–161. (In Russ.)

6. Lyskova I. V., Sukhoveeva O. E., Lyskova T. V. The influence of local climate change on the productivity of spring grain crops in the conditions of the Kirov region. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2021; 22 (2): 244–253. (In Russ.)

7. Nabokov V. I., Volkov V. I., Nekrasov K. V. Agroindustrial complex of Perm Krai at the present stage of development. *Management Issues*. 2019; 6 (61): 170–177. (In Russ.)

8. Novikova T. V., Fomin D. S., Zubarev Yu. N. Comparative assessment of differentiated fertilizer application methods with NDVI elements for pre-sowing soil treatment in annual legume-wheat agrophytocenosis in the Middle Urals. *Proceedings of the II All-Russian Scientific and Practical Conference "Agricultural Technologies and Crop Protection: Intellectual, Innovative and Digital Resources", dedicated to the 95th anniversary of Mikhail N. Gurenev.* Perm, 2021. Pp. 95–98. (In Russ.)

9. Novikova T. V., Zubarev Yu. N., Fomin D. S. Cultivation of common vetch and spring wheat in pure and mixed crops with different component ratios and application of remote sensing data with digital correction of agrotechnical practices in the Middle Urals. *Perm Agrarian Journal*. 2024; 1 (42): 24–32. (In Russ.)

10. Truflyak E. V., Kurcheno N. Yu. Precision agriculture: digital technologies in agro-industrial complex. *New technologies in agriculture and food industry using electrophysical factors and ozone: materials of the XII International Scientific and Practical Conference.* Stavropol, 2018. Pp. 136–138. (In Russ.)

11. Truflyak E. V., Kulak A. A. Efficiency of using unmanned fertilizer and crop protection products application technology in winter barley cultivation. *EGI*. 2022; 44 (6): 314–318. (In Russ.)

12. Gulyanov Yu. A. Scientific bases of principles estimating a state of the vegetation cover in steppe agrocenoses using innovative methods of smart agriculture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 817. DOI: 10.1088/1755-1315/817/1/012040.

13. Gushchina V. A., Nikolskaya E. O., Lobanova N. Yu. Change in indicators of photosynthetic activity of Echinacea purpurea seedlings in the second year of life. *Plant Archives*. 2021; 21 (1): 467–472. DOI: 10.51470/PLANTARCHIVES.2021.v21.S1.003.

14. Hawkesford M. J. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*. 2013; 59. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.12.001.

15. Rakhimova O. V., Khramoy V. K., Sikharulidze T. D., Yudina I. N. Influence of nitrogen fertilizers on protein productivity of vetch-wheat grain under different water supply conditions. *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2021; 19 (5): 951–954. DOI: 10.22124/cjes.2021.5273.

16. Derepaskin A. I., Polischshuk Yu. V., Shayakhmetov A. I., et al. Influence of parallel driving systems and differentiated fertilizer application on the efficiency of using machine and tractor units in the Southern Chernozem of North Kazakhstan. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2023; 71 (1): 43–51. DOI: 10.11118/actaun.2023.004.

Authors' information:

Tatyana V. Novikova, candidate of agricultural sciences, department of agrobiotechnology, Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia;
ORCID 0000-0002-5765-7439, AuthorID 1071010. *E-mail: fufel1997@yandex.ru*

Yuriy N. Zubarev, doctor of agricultural sciences, professor of the department of agrobiotechnology, chief researcher of the directorate for scientific and innovative activities, Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-6049-3244, AuthorID 522714. *E-mail: yn-zubarev@mail.ru*

Nikita A. Zelenkov, postgraduate at the department of agrobiotechnology, Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0001-5560-2242, AuthorID 1070881. *E-mail: zelenkovn222@mail.ru*

УДК 574 633.2.03
Код ВАК 4.1.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1928-1941

Эколого-биологическая характеристика динамических процессов луговых сообществ в поймах крупных рек Нечерноземья РФ

С. Н. Поцепай[1]✉, Л. Н. Анищенко[2], М. В. Семышев[1], В. М. Семышева[1], В. С. Кухарь[3]
[1] Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино, Брянская область, Россия
[2] Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, Брянск, Россия
[3] Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия
✉*E-mail: snpotsepai@yandex.ru*

Аннотация. В практической агроэкологии и луговодстве в связи с мировыми экологическими вызовами решаются задачи, которые выявляют динамику продукционных и экологических показателей лугов в условиях значительных преобразований климата и возрастающей антропогенной деятельности. В старо-освоенном регионе – Брянской области – выявление особенностей реакции пасторальных экосистем на внешние стрессовые факторы позволит внести рекомендации для системы экологического земледелия и луговодства. **Цель** работы – диагностировать направления фитоценотических и структурных изменений луговых сообществ для становления адаптивного луговодства в Нечерноземье РФ. **Методы.** В ходе исследования использовались маршрутный, геоботанический, биохимический методы. Изменения биомониторинговых показателей в связи с экологическими вызовами для России осуществлялось на стационарных площадках с 2014 г., исследования охватывали луговые сообщества восьми ассоциаций в местообитаниях, различающихся увлажнением, содержанием азота и кислотностью грунтов. **Научная новизна.** Впервые для лугов Среднего Подесенья выявлены ведущие абиотические факторы, воздействующие на факторы биомониторинга лугов: это климатические и гидрологические условия. Отмечено, что наиболее гомеостатичны мелкозлаковые луга на сухих почвах. Сделан вывод о тенденции снижения углероддепонирующей функции лугов. **Результаты.** Долговременный биомониторинг состояния сообществ естественных лугов по фоновым показателям показал наметившиеся изменения в структуре, биогеохимических функциях и продукционных процессах в разных местообитаниях (в первую очередь – по степени увлажнения). Неустойчивы в условиях изменяющегося климата и водности крупных рек в средней России сообщества ассоциаций крупнозлаковых долгопоемных лугов. Почвами лугов поддерживается кумулятивное звено биогеохимического цикла углерода. Почвенный пул органического углерода особенно важен, так как в биокосном теле углерод связывается на длительный промежуток времени и малоподвижен: снижение содержания органического углерода свидетельствует о дисбалансе углеродаккумулирующей функции пасторальных экосистем. Динамика содержания лабильного углерода, регистрируемая при воздействии стрессорных факторов абиотического характера, может использоваться в диагностических мероприятиях при оценке физических показателей почв.

Ключевые слова: луговые сообщества, абиотические факторы стресса, фитоценотические и структурные характеристики, экологическое луговедение, Нечерноземье РФ

Для цитирования: Поцепай С. Н., Анищенко Л. Н., Семышев М. В., Семышева В. М., Кухарь В. С. Эколого-биологическая характеристика динамических процессов луговых сообществ в поймах крупных рек Нечерноземья РФ // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1928–1941. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1928-1941.

Дата поступления статьи: 22.06.2026, ***дата рецензирования:*** 09.07.2026, ***дата принятия:*** 02.09.2026.

©Поцепай С. Н., Анищенко Л. Н., Семышев М. В., Семышева В. М., Кухарь В. С., 2026

Ecological and biological characteristics of dynamic processes of meadow communities in floodplains of large rivers of the Non-Black Soil Zone of the Russian Federation

S. N. Potsepai[1]✉, L.N. Anishchenko[2], M. V. Semyshev[1], V. M. Semysheva[1], V. S. Kukhar'
[1] Bryansk State Agrarian University, Kokino village, Bryansk region, Russia
[2] Bryansk State Academician I. G. Petrovski University, Bryansk, Russia
[3] Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia
✉*E-mail: snpotsepai@yandex.ru*

Abstract. In practical agroecology and grassland management, tasks are being addressed in connection with global ecological challenges, that demonstrate the dynamics of meadow production and ecological performance within the context of significant climate alterations and growing human influence. In the old-developed area of the Bryansk region, identifying the specific responses of pastoral ecosystems to external stress factors will allow for the development of recommendations for ecological farming and grassland management systems. **The purpose** of this study is to diagnose the directions of phytocoenotic and structural changes in meadow communities for the establishment of adaptive meadow management in the Non-Black Soil Zone of the Russian Federation. **Methods.** Route-based, geobotanical, biochemical methods were used. Changes in biomonitoring indicators in connection with ecological challenges for Russia have been carried out at permanent plots since 2014; the researches covered meadow communities of eight associations in habitats differing in moisture, nitrogen content, and soil acidity. **Scientific novelty.** It has been revealed for the first time that the primary abiotic factors impacting meadow biomonitoring in the Middle Podesenye: these are climatic and hydrological conditions. Observations indicate that small-grass meadows on dry soils exhibit the highest homeostasis. It is concluded that there is a trend of declining carbon sequestration by meadows. **Results.** The long-term biomonitoring of natural meadow communities based on background indicators has shown emerging changes in structure, biogeochemical functions and production processes across various habitats, primarily those differing in moisture levels. The communities of tall-grass long-floodplain meadows in Central Russia are unstable to the changing climate and the fluctuating water levels of large rivers. The cumulative link in the carbon biogeochemical cycle is maintained by meadow soils. The soil organic carbon pool is particularly important because carbon is bound in the biogenic substances for a long period and is poorly mobile: a decrease in soil organic carbon content indicates a carbon-accumulating function imbalance in pastoral ecosystems. Furthermore, the dynamics of labile carbon content, observed when soils are exposed to abiotic stress factors, can also be utilized in diagnostic procedures for evaluating their physical properties.

Keywords: meadow communities, abiotic stress factors, phytocenotic and structural characteristics, ecological meadow science, Non-Black Soil Zone of the Russian Federation

For citation: Potsepai S. N., Anishchenko L. N., Semyshev M. V., Semysheva V. M., Kukhar' V. S. Ecological and biological characteristics of dynamic processes of meadow communities in floodplains of large rivers of the Non-Black Soil Zone of the Russian Federation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1928–1941. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1928-1941. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.06.2026, ***date of review:*** 09.07.2026, ***date of acceptance:*** 02.09.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Естественные динамические процессы на лугах – источниках богатых кормовых ресурсов – затрагивают структурные и функциональные характеристики сообществ, изменение которых вносят коррективы прежде всего в экономические планы, увеличивая себестоимость продукции, а также снижают биоразнообразие и гомеостаз природных образований [1–4]. Один из основных факторов, воздействующий на луговые сообщества, – изменение температурных условий, количества осадков (климатические условия), показательные явления для которых – снижение паводка на крупных реках и изменение в режиме водного и минерального питания лугов. Глобальные тенденции в нарастании общей температуры сред обитания (мировое потепление) оказывает необратимые изменения на вещественно-энергетические процессы, определяет динамику почвенных режимов, скорость естественных динамических изменений, в том числе и на лугах,

© Potsepai S. N., Anishchenko L. N., Semyshev M. V., Semysheva V. M., Kukhar' V. S., 2026

что неоднократно отмечалось в мировой науке. В практической агроэкологии и луговодстве в связи с мировыми экологическими вызовами решается ряд задач, направленных на констатацию направлений динамики лугов, углероддепонирующей способности почв, выявление скорости и направлений демутационных и сукцессионных процессов, что позволит внести рекомендации для системы экологического земледелия и луговодства [4–8]. В Центральной России луга имеют огромнейший эколого-экономический потенциал, поддержание которого – важнейшая национальная задача. В связи с новым складывающимся природно-ресурсным потенциалом местообитаний центра Нечерноземья РФ в работе поставлена цель – диагностировать направления фитоценотических и структурных изменений луговых сообществ для становления адаптивного луговодства. Работу стимулировали и новые стрессорные факторы – иссушение климата, уменьшение обводненности биотопов лугов, что повлекло снижение площадей долгопоемных, наиболее продуктивных лугов, необходимость поиска защитных мероприятий для ветровой эрозии, разработки агротехнических и фитоценотических реабилитационных работ.

Исследование продуктивности пойменных лугов, биохимического состава сена, эколого-биологических качеств травостоя, особенности биогеоценотических горизонтов начаты для центра Нечерноземья РФ с 2014 года. Наблюдаемые изменения позволили сформулировать некоторые общие тенденции динамических процессов, предложить меры по улучшению структуры и функции лугов.

Методология и методы исследования (Methods)

Биомониторинговые работы проводились на природных кормовых угодьях, естественных лугах, сформировавшихся в разных частях пойм рек второго порядка – Десны и Ипути в пределах Брянской области. Динамические показатели снимали на пробных площадях (ПП), выявляли видовую структуру луга при геоботаническом описании для выделения классификационных единиц эколого-флористической классификации с последующей экологической оценкой среды по индикационным шкалам Г. Элленберга [9–11]. ПП расположены на лугах в Красногорском, Клинцовском, Стародубском, Выгоничском, Брянском, Жуковском, Дубровском, Жирятинском административных районах с различным уровнем использования в отгонно-пастбищном животноводстве как сенокосные угодья. Синтаксономия луговой растительности разработана в соответствии с общими установками метода J. Braun-Blanquet [12]. Названия синтаксонов даны в соответствии с Международным кодексом фитосоциологической номенклатуры [13]. Урожайность травостоя лугов определяли укосным методом на площадках в 1 м^2 в трехкратной повторности в третью декаду июня, в первую декаду августа, по среднему результату вычисляли урожайность (продуктивность). Укосы разбирали и отдельно определяли массу злаковых, бобовых растений и разнотравья в воздушно-сухом состоянии [14; 15].

Отбирали почвенные пробы для химического анализа на ПП площадью 10 м^2, грунт с глубины 0–10 см и фитомассу сосудистых растений с соблюдением основных требований по ГОСТу [16].

Лабораторно-химическим методом выявлялось содержание органического углерода Со, входящего в состав почвенного гумуса, с использованием вытяжки с 0,1М раствором NaOH; содержание лабильных гумусовых веществ Сл в вытяжке с 0,1 М раствором $Na_4P_2O_7$.

Биохимические показатели травостоя (корма, сена) проводили по рекомендованным методикам: сырую клетчатку – по ГОСТ 31675-2012, сырой белок – расчетным методом, используя общий азот (коэффициент 6,25), содержание фосфора [17].

Статистическая обработка данных проводилась общепринятыми методиками [18]. Наименования сосудистых растений приводили по сводке П. Ф. Маевского [19].

Результаты (Results)

Эколого-биологический мониторинг осуществлялся в сообществах луговой растительности восьми ассоциаций.

Наблюдения за динамикой эколого-биологических показателей проводили на стационарных учетных площадках с луговыми сообществами, представляющими модельный ряд от высокоувлажненных местообитаний до сухих (таблица 1). Краткое описание биоценозов естественных лугов представлено ниже.

Сообщества ассоциации *Phalaridetum arundinaceae* W. Koch ex Libbert 1931 – луговые биоценозы, образованы двукисточником тростниковидным, относятся к двукисточниковому виду, типу злаково-осоково-разнотравных сыроватых и сырых лугов, требовательны к условиям увлажнения. Сообщества имеют пограничное расположение между руслом и дренированными участками, занимают свежие наносы, мелководные участки, сырые прибрежья, поймы по низким уровням на аллювиальных средних и тяжелых суглинках.

Сообщества ассоциации *Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis* Bulokhov 2001 (центральная пойма) – биоценозы лугов, относящиеся к типу сибирскоборщевиково-луговолисохвостовой, подгруппе разнотравных злаковых лугов. Биоценозы встречаются в центральной пойме, реже – в прирусловой на дерновых суглинистых почвах.

Сообщества ассоциации *Anthoxantho – Agrostietum tenuis* Sill. 1933 em. Jurko 1969 относятся к душистоколосково-тонкополевичному типу, подгруппе разнотравно-мелкотравных сухих и свежих лугов; формируются по склонам северной и северо-восточной экспозиции, на комплексе овражно-

балочных почв – слабооподзоленных песчаных и супесчаных почвах.

Сообщества ассоциации *Poo palustris – Alopecuretum pratensis* Sapegin 1986 – биоценозы лугов, относящихся к болотномятниково-луговолисохвостовому типу, подгруппе злаково-осоково-разнотравных сыроватых и сырых лугов на умеренно пониженных участках центральной и притеррасной пойм, по ровным пониженным участкам на влажных и сырых пойменных слоистых и слоисто-зернистых глеевых легко- и среднесуглинистых почвах.

Сообщества ассоциации *Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae* Balátová-Tuláčková 1978 характеризуются бедными видами высокотравных сообществ на сырых почвах. Аспект создает таволга вязолистная. Луга вербейниково-вязолистнолабазниковые, относящиеся к разнотравным, сырым, встречаются в центральной пойме на болотно-иловатых торфяно-глеевых почвах.

Сообщества ассоциации *Koelerio delavignei – Festucetum rubrae* Bulokhov 2001 – луговые биоценозы, относящиеся к мелкозлаковым, распространены по гривам в центральной и прирусловой части поймы, на дерновых супесчаных почвах.

Сообщества ассоциации *Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae* Bulokhov 2001 относятся к обыкновеннолабазниково-красноовсяницевому типу, подгруппе злаково-разнотравных лугов, сообществу с доминированием овсяницы ного. Распространены в прирусловой части поймы, занимая пространство по низким гривам, на дерновых супесчаных почвах.

Таблица 1

Обобщенная характеристика местообитаний для изученных сообществ луговой растительности

Синтаксоны луговой растительности	Баллы по шкалам Г. Элленберга			Характеристика субстратов и местообитаний на момент первоначальных описаний
	B	K	N	
Phalaridetum arundinaceae Libbert 1931	8,0	6,9	5,9	Сырые (сильно обводненные) почвы, околонейтральные, с умеренным содержанием азота
Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis Alexandrova 1989	7,9	5,7	5,1	Сырые (сильно обводненные) почвы, слабокислые, с умеренным содержанием азота
Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae Balátová-Tuláčková 1978	7,7	4,7	5,3	Сырые (сильно обводненные) почвы, среднекислые, со средним содержанием азота
Poo palustris – Alopecuretum pratensis Sapegin 1986	6,9	6,2	5,4	Влажные почвы, слабокислые, со средним содержанием азота
Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis Bulokhov 2001	4,9	5,3	5,0	Свежие и влажные почвы, среднекислые, умеренно обеспеченные азотом
Koelerio delavignei – Festucetum rubrae Bulokhov 2001	4,5	5,3	5,2	Сухие (или свежие) почвы, среднекислые, со средним содержанием азота
Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae Bulokhov 2001	4,2	5,4	4,3	Сухие почвы, среднекислые, бедные азотом
Anthoxantho – Agrostietum tenuis Sill. 1933 em. Jurko 1969	4,0	4,2	4,2	Сухие почвы, среднекислые, бедные азотом

Table 1

General characteristics of habitats for the studied meadow vegetation communities

Meadow vegetation syntaxa	*G. Ellenberg's scale scores*			*Characteristics of substrates and habitats at the time of the original descriptions*
	B	*K*	*N*	
Phalaridetum arundinaceae Libbert 1931	*8.0*	*6.9*	*5.9*	*Waterlogged, near-neutral soils with moderate nitrogen content*
Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis Alexandrova 1989	*7.9*	*5.7*	*5.1*	*Wet (highly waterlogged) soils, slightly acidic, with moderate nitrogen content*
Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae Balátová-Tuláčková 1978	*7.7*	*4.7*	*5.3*	*Wet (highly waterlogged) soils, moderately acidic, with medium nitrogen content*
Poo palustris – Alopecuretum pratensis Sapegin 1986	*6.9*	*6.2*	*5.4*	*Moist soils, slightly acidic, moderately nitrogen-rich*
Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis Bulokhov 2001	*4.9*	*5.3*	*5.0*	*Fresh and moist soils, medium-acid, moderately rich in nitrogen*
Koelerio delavignei – Festucetum rubrae Bulokhov 2001	*4.5*	*5.3*	*5.2*	*Dry (or fresh) soils, medium-acid, moderately rich in nitrogen*
Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae Bulokhov 2001	*4.2*	*5.4*	*4.3*	*Dry, moderately acidic, nitrogen-poor soils*
Anthoxantho – Agrostietum tenuis Sill. 1933 em. Jurko 1969	*4.0*	*4.2*	*4.2*	*Dry soils, of medium acidity, poor in nitrogen*

Таблица 2

Изменения в луговых сообществах Нечерноземья РФ

Сообщества ассоциаций	Общее число видов в ассоциации			Число видов в отдельных описаниях			Высота травостоя, м, *M ±m*		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Phalaridetum arundinaceae	39	35	33	4–15	5–12	5–12	1,80 ±0,2	1,65 ±0,2	1,53 ±0,2
Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis	42	40	39	5–17	5–15	5–11	1,30 ±0,2	1,15 ±0,2	1,17 ±0,2
Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae	35	34	31	7–22	5–17	5–16	1,85 ±0,2	1,77 ±0,2	1,60 ±0,2
Poo palustris – Alopecuretum pratensis	33	30	32	7–19	6–17	6–17	1,63 ±0,2	1,59 ±0,2	1,57 ±0,2
Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis	39	35	38	8–20	8–19	8–18	1,55 ±0,2	1,50 ±0,2	1,47 ±0,2
Koelerio delavignei – Festucetum rubrae	31	37	37	9–25	9–27	10–27	1,42 ±0,2	1,47 ±0,2	1,50 ±0,2
Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae	38	39	38	9–23	9–28	8–27	1,57 ±0,2	1,65 ±0,2	1,68 ±0,2
Anthoxantho – Agrostietum tenuis	29	30	30	5–15	5–16	5–16	1,27 ±0,2	1,32 ±0,2	1,37 ±0,2

*Примечание. * Периоды наблюдений аналогичны данным в тексте.*

Table 2

Changes in meadow communities of the Non-Black Soil Zone of the Russian Federation

Association communities	*Total number of species in the association*			*Number of species in individual descriptions*			*Herbage height, m, M ±m*		
	*1**	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*	*1*	*2*	*3*
Phalaridetum arundinaceae	*39*	*35*	*33*	*4–15*	*5–12*	*5–12*	*1.80 ±0.2*	*1.65 ±0.2*	*1.53 ±0.2*
Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis	*42*	*40*	*39*	*5–17*	*5–15*	*5–11*	*1.30 ±0.2*	*1.15 ±0.2*	*1.17 ±0.2*
Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae	*35*	*34*	*31*	*7–22*	*5–17*	*5–16*	*1.85 ±0.2*	*1.77 ±0.2*	*1.60 ±0.2*
Poo palustris – Alopecuretum pratensis	*33*	*30*	*32*	*7–19*	*6–17*	*6–17*	*1.63 ±0.2*	*1.59 ±0.2*	*1.57 ±0.2*
Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis	*39*	*35*	*38*	*8–20*	*8–19*	*8–18*	*1.55 ±0.2*	*1.50 ±0.2*	*1.47 ±0.2*
Koelerio delavignei – Festucetum rubrae	*31*	*37*	*37*	*9–25*	*9–27*	*10–27*	*1.42 ±0.2*	*1.47 ±0.2*	*1.50 ±0.2*
Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae	*38*	*39*	*38*	*9–23*	*9–28*	*8–27*	*1.57 ±0.2*	*1.65 ±0.2*	*1.68 ±0.2*
Anthoxantho – Agrostietum tenuis	*29*	*30*	*30*	*5–15*	*5–16*	*5–16*	*1.27 ±0.2*	*1.32 ±0.2*	*1.37 ±0.2*

*Note. * Observation periods are similar to the data in the text.*

Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis Alexandrova 1989 –луговые сообщества, внешний облик которых объединяет бекмания, из которой складывается первый фитоценотический горизонт. Относятся к бекманиевому типу, подгруппе злаково-осоково-разнотравных сыроватых и сырых лугов. В луговых сообществах распространены субгалофитные виды, которые определяют облик сообщества на поймах крупных рек; они образуют невысокий травостой по межгривным низинам перегнойно-глеевых суглинистых почв.

Результаты динамики показателей для лугового биомониторинга представлены за 2015–2017 годы (1-й период), 2018–2021 годы (2-й период), 2022–2024 годы (3-й период).

Наблюдения позволили выявить изменения в фитоценотических характеристиках луговых сообществ, которые связываются в первую очередь с климатическими характеристиками местности, уровнем разливов крупных рек и динамическими процессами межени.

В условиях ксерофитизации климата, значительного сокращении половодья и обводненности пойменных местообитаний за девятилетний период наблюдений выявлены изменения в биологических характеристиках сообществ. Наибольшая динамика выявлена для биоценозов лугов в увлажненных местообитаниях: сокращаются число видов в ассоциации, встречаемость видов в описаниях, а также высота травостоя, которая определяет первичную продуктивность сообщества. В сообществах ассоциации *Phalaridetum arundinaceae* Libbert 1931 зарегистрированы виды нитрофильных и нарушенных местообитаний *Echinocystis lobata*, *Urtica*

dioica, *Cirsium arvense*, которые уменьшают общее разнообразие биоценозов, снижают питательную ценность травостоя. Сообщества ассоциации *Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis* Alexandrova 1989 сократили свою площадь, они стали замещаться сообществами с доминированием менее влаголюбивых осок (*Carex vulpina*), *Ranunculus repens*. Так как сообщества *Poo palustris – Alopecuretum pratensis* Sapegin 1986 формируются как стадия сукцессий лисохвостовых лугов, сокращающих площадь распространения по территории области, для биоценозов изменения менее заметны, но и для них выявлены уменьшение высоты травостоя и снижение числа видов в описаниях. Для некоторых учетных площадок с присутствием характерных выпасов скота без периода восстановления луга характерно внедрение чужеродных и рудеральных видов: *Cirsium arvense* – кратковременное присутствие вида на больших площадях в биоценозах *Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis*; на богатых субстратах – крапивы двудомной; быстро распространяется *Potentilla amserina* в местах перевыпаса при благоприятном увлажнении, снижая структурное и фитоценотическое разнообразие. Особую опасность представляет инвазивный вид *Echinocystis lobata*, который, быстро распространяясь, полностью перестраивает сообщества в переувлажненных местообитаниях – *Phalaridetum arundinaceae* Libbert 1931.

Биоценозы ассоциации *Anthoxantho – Agrostietum tenuis* Sill. 1933 em. Jurko 1969, занимающие наиболее сухие местообитания, мало изменили показатели биоразнообразия, однако площадь этих сообществ сокращается ввиду низкой устойчивости против выпаса. Внедрение чужеродного вида – *Erigeron septentrionalis* – снижает питательную ценность сена, а впоследствии – продуктивность лугов.

Сообщества ассоциаций *Koelerio delavignei – Festucetum rubrae* Bulokhov 2001 и *Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae* Bulokhov 2001 в условиях ксерофитизации климата увеличили фитоценотическое и структурное разнообразие; в их биоценозы внедрились некоторые виды, малотребовательные к увлажнению и содержанию почвенного азота (таблица 2). Однако для ряда учетных площадей с нерегулируемым выпасом зарегистрировано быстрое распространение высокомобильного вида с высокой жизненностью – *Calamagrostis epigeios*, формирующего быстро увеличивающиеся по площади одноименные сообщества, которые проигрывают по хозяйственной ценности лугам из овсяницы красной. Таким образом, динамические ряды в изучаемых модельных сообществах лугов отражают естественный ход смен биоценозов при снижении количества осадков, поступающей влаги во время половодий в условиях повышения температуры за вегетационный период.

Изменения характеристик продуктивности – один из биомониторинговых показателей, который используется для планирования реабилитационных мероприятий на лугах, подбора компонентов для конструирования сеяных лугов (таблица 3).

Таблица 3

Динамические характеристики урожайности сена (ц/га) по годам исследования

Сообщества ассоциаций	Урожайность травостоя, ц/га, *M ±m*		
	1*	2	3
Phalaridetum arundinaceae	37,4 ±2,4	30,2 ±2,2	30,1 ±2,1
Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis	20,2 ±2,1	15,3 ±1,5	15,5 ±2,0
Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae	18,7 ±2,0	14,2 ±2,0	15,1 ±2,1
Poo palustris – Alopecuretum pratensis	28,8 ±2,3	26,1 ±2,5	26,8 ±2,1
Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis	19,7 ±2,1	18,6 ±2,0	19,1 ±1,7
Koelerio delavignei – Festucetum rubrae	13,9 ±1,5	14,1 ±2,1	14,2 ±2,0
Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae	15,4 ±1,7	15,0 ±2,0	15,1 ±2,0
Anthoxantho – Agrostietum tenuis	10,4 ±1,3	9,9 ±1,1	9,7 ±1,1

*Примечание. * Периоды наблюдений аналогичны данным в тексте.*

Table 3

Dynamic characteristics of hay yields (c/ha) by study year

Association communities	*Herbage yields, c/ha, M ±m*		
	*1**	*2*	*3*
Phalaridetum arundinaceae	*37.4 ±2.4*	*30.2 ±2.2*	*30.1 ±2.1*
Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis	*20.2 ±2.1*	*15.3 ±1.5*	*15.5 ±2.0*
Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae	*18.7 ±2.0*	*14.2 ±2.0*	*15.1 ±2.1*
Poo palustris – Alopecuretum pratensis	*28.8 ±2.3*	*26.1 ±2.5*	*26.8 ±2.1*
Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis	*19.7 ±2.1*	*18.6 ±2.0*	*19.1 ±1.7*
Koelerio delavignei – Festucetum rubrae	*13.9 ±1.5*	*14.1 ±2.1*	*14.2 ±2.0*
Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae	*15.4 ±1.7*	*15.0 ±2.0*	*15.1 ±2.0*
Anthoxantho – Agrostietum tenuis	*10.4 ±1.3*	*9.9 ±1.1*	*9.7 ±1.1*

*Note. * Observation periods are similar to those in the text.*

Урожайность (первичная продукция) травостоя отражает типологию лугов и соответствует данным, полученным ранее для Нечерноземья РФ. Однако при снижении количества осадков, отсутствии половодья, характерного для рек второго порядка в период с 2017 года по настоящее время, изменении видовой структуры биоценозов, зарегистрированных для некоторых ассоциаций, хорошо выявляется снижение продуктивности; для всех вариантов изменения статистически недостоверны. Наибольшие потери в первичной продукции выявлены для биоценозов ассоциации *Phalaridetum arundinaceae*, *Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis*, *Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae*. Для ксерофитных мелкозлаковых лугов колебания продуктивности менее ярко выражены, для сообщества келериево-красноовсяницевого выявлено незначительное возрастание урожайности. Эти процессы обусловлены не только абиотическими факторами климата, но и внедрением видов в луговые ценозы, произошедшем ввиду сукцессионных смен. Наиболее стабильны по урожайности луга суховатых и сухих местообитаний.

Сравнительная характеристика продуктивности луговых сообществ за 1999–2001 годы (автор – профессор А. Д. Булохов) и в первую четверть XX века показали статистически значимые отличия в средних показателях биомассы травостоя в аналогичных сообществах.

Биохимические особенности травостоя важны для оценки экологической функции лугов и хозяйственной ценности естественных сообществ.

Наиболее значимые показатели – сырая клетчатка, содержание азота и фосфора в сенаже (травостое) – изменяются по годам (рис. 1–3).

Сырая клетчатка как один из показателей питательности сена имеет достаточно высокие значения для лугов на сухих и переувлажненных почвах. Для травостоя первых шести исследованных сообществ наблюдались изменения в сторону уменьшения содержания сырой клетчатки. Неблагоприятные абиотические условия изменяли процессы биосинтеза у доминирующих видов растений, вероятно, уменьшая их интенсивность. Наиболее подвержены абиотическому стрессу растения сообществ на переувлажненных и влажных местообитаниях.

Содержание фосфора в травостое двукисточниковых, келериево-красноовсяницевых, душистоколосково-тонкополевичных сообществ наибольшее из исследованных. За период исследований показатели фосфора в сенаже уменьшились для сообществ ассоциации переувлажненных лугов.

Наиболее заметно уменьшение азота в травостое двукисточниковых, бекманиевых, болотно-мятликово-луговолисохвостовых сообществ ввиду изменения фитоценотического состава основных ценозообразователей и неблагоприятных абиотических факторов для биосинтеза. Практически не менялись показатели азота в сенаже мелкозлаковых и суходольных лугов. Содержание азота в травостое двукисточниковых и душистоколосково-тонкополевичных биоценозов практически совпадает.

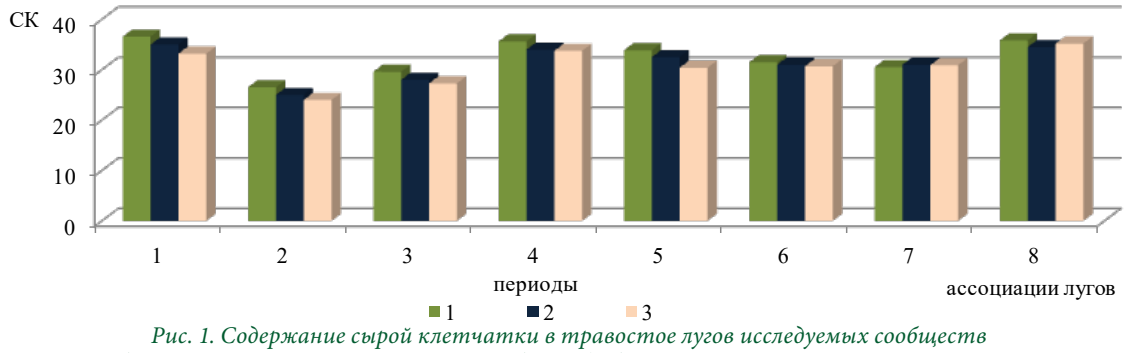


Рис. 1. Содержание сырой клетчатки в травостое лугов исследуемых сообществ
СК – содержание сырой клетчатки, %. Периоды наблюдений соответствуют указанным в тексте. Ассоциации лугов аналогичны обозначениям таблицы 1

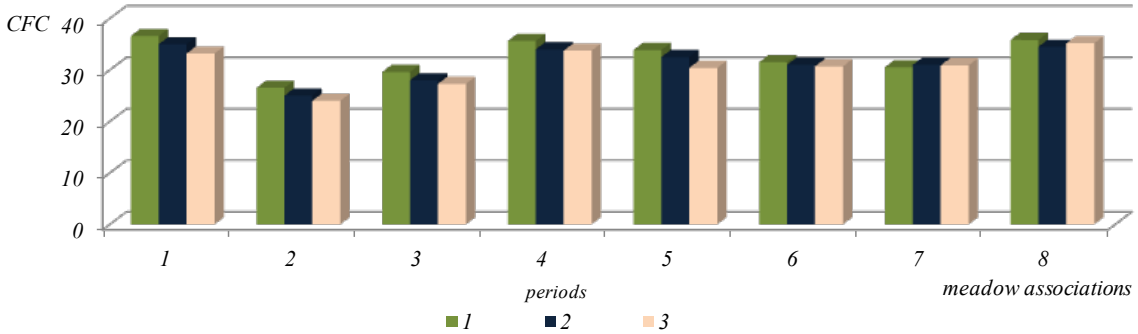


Fig. 1. Crude fiber content in the herbage – the studied meadow communities
CFC – crude fiber content, %. Observation periods correspond to those indicated in the text. Meadow associations are similar to those in Table 1

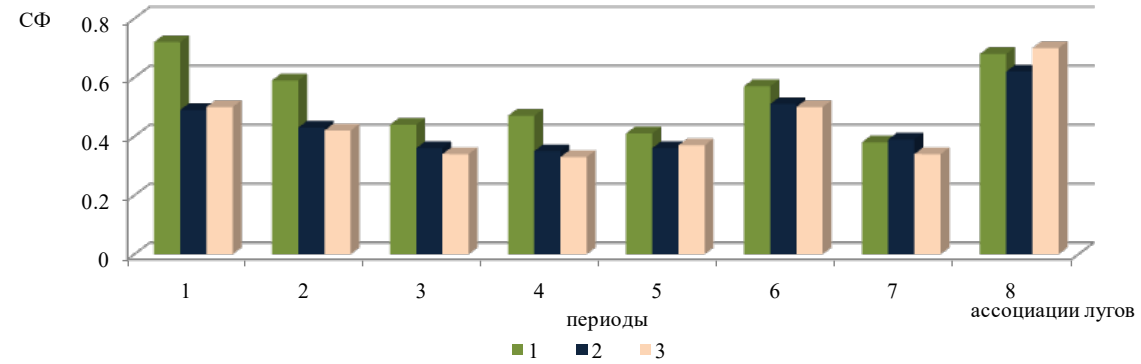


Рис. 2. Содержание фосфора в травостое лугов исследуемых сообществ
СФ – содержание фосфора, %. Периоды наблюдений соответствуют указанным в тексте.
Ассоциации лугов аналогичны обозначениям таблицы 1

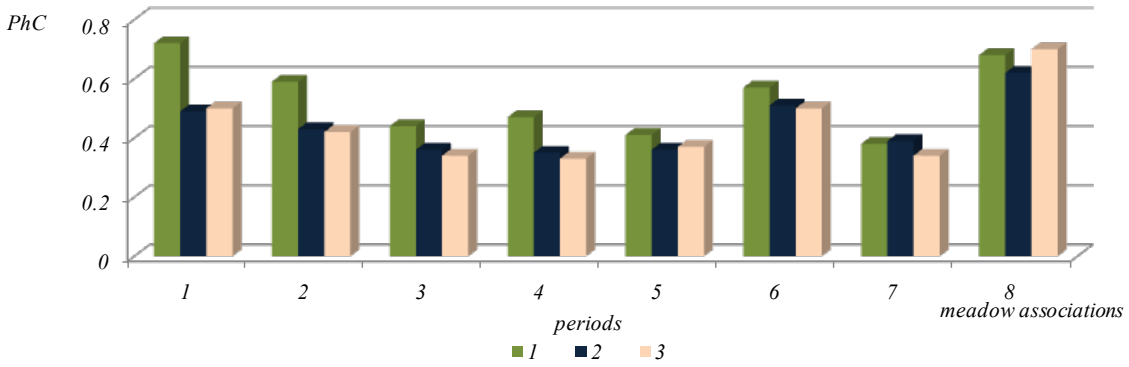


Fig. 2. Phosphorus content in the herbage – the studied communities
PhC – phosphorus content, %. Observation periods correspond to those indicated in the text.
Meadow associations are similar to those in Table 1

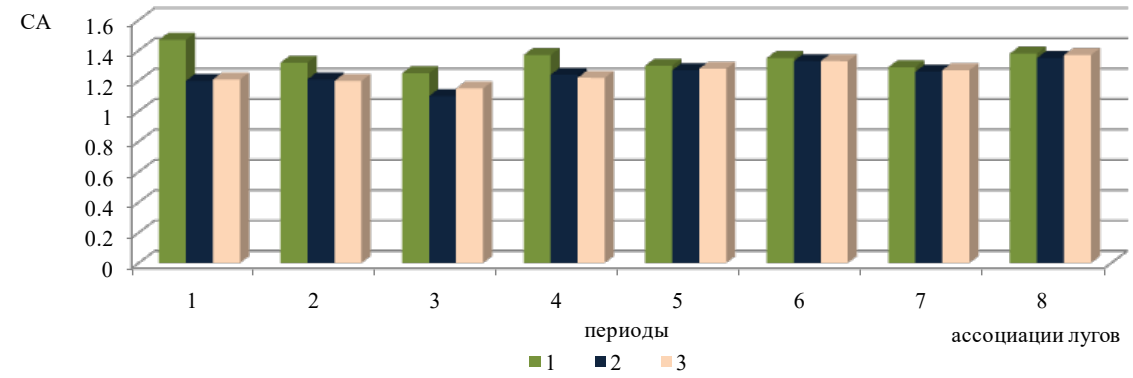


Рис. 3. Содержание азота в травостое лугов исследуемых сообществ
СА – содержание азота, %. Периоды наблюдений соответствуют указанным в тексте.
Ассоциации лугов аналогичны обозначениям таблицы 1

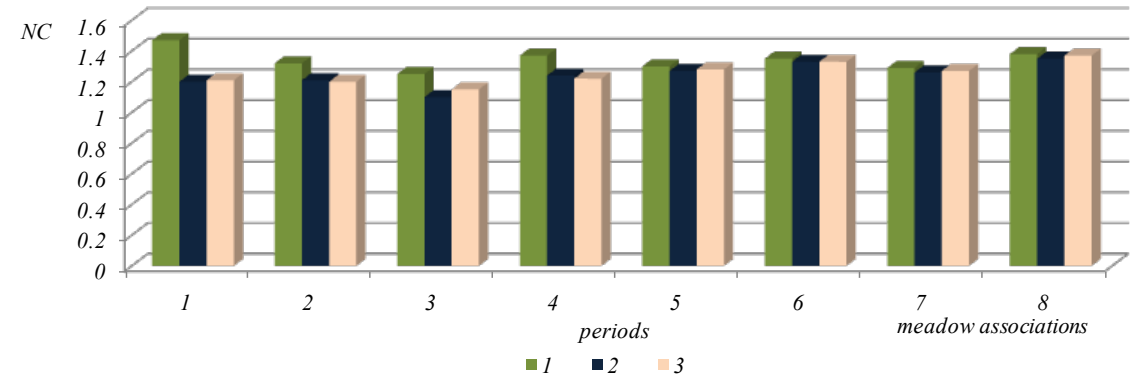


Fig. 3. Nitrogen content in the meadow herbage – the studied communities
NC – nitrogen content, %. Observation periods correspond to those indicated in the text.
Meadow associations are similar to those in Table 1

Таблица 4

Содержание органического углерода в почвах луговых сообществ в динамическом наблюдении

Сообщества ассоциаций/ варианты	Показатели Со, % к почве / Сл, % от Со, *M ±m*		
	1*	2	3
Phalaridetum arundinaceae	1,31 ±0,3 / 17,5 ±1,2	1,27 ±0,2 / 14,1 ±1,1	1,23 ±0,2 / 13,5 ±1,1
Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis	1,27 ±0,4 / 14,3 ±1,1	1,20 ±0,2 / 11,3 ±1,1	1,19 ±0,2 / 10,5 ±1,1
Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae	1,25 ±0,3 / 16,9 ±1,2	1,21 ±0,2 / 14,4 ±1,1	1,20 ±0,2 / 13,7 ±1,1
Poo palustris – Alopecuretum pratensis	1,35 ±0,3 / 19,9 ±1,3	1,32 ±0,2 / 17,7 ±1,1	1,31 ±0,2 / 16,4 ±1,1
Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis	1,34 ±0,3 / 20,6 ±1,4	1,32 ±0,2 / 19,1 ±1,2	1,35 ±0,2 / 21,1 ±1,2
Koelerio delavignei – Festucetum rubrae	1,32 ±0,3 / 22,7 ±1,5	1,33 ±0,2 / 22,1 ±1,3	1,33 ±0,3 / 22,9 ±1,3
Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae	1,35 ±0,3 / 23,4 ±1,5	1,36 ±0,3 / 23,1 ±1,2	1,38 ±0,3 / 24,6 ±1,2
Anthoxantho – Agrostietum tenuis	1,28 ±0,3 / 18,9 ±1,3	1,29 ±0,3 / 19,3 ±1,2	1,30 ±0,3 / 19,9 ±1,2

*Примечание. * Периоды наблюдений соответствуют указанным в тексте.*

Table 4

Organic carbon content in soils of meadow communities in dynamic observation

Association communities / variants	*Indicators Co, % to the soil / Cl, % from Co, M ±m*		
	*1**	*2*	*3*
Phalaridetum arundinaceae	*1.31 ±0.3 / 17.5 ±1.2*	*1.27 ±0.2 / 14.1 ±1.1*	*1.23 ±0.2 / 13.5 ±1.1*
Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis	*1.27 ±0.4 / 14.3 ±1.1*	*1.20 ±0.2 / 11.3 ±1.1*	*1.19 ±0.2 / 10.5 ±1.1*
Lysimachio vulgaris – Filipenduletum ulmariae	*1.25 ±0.3 / 16.9 ±1.2*	*1.21 ±0.2 / 14.4 ±1.1*	*1.20 ±0.2 / 13.7 ±1.1*
Poo palustris – Alopecuretum pratensis	*1.35 ±0.3 / 19.9 ±1.3*	*1.32 ±0.2 / 17.7 ±1.1*	*1.31 ±0.2 / 16.4 ±1.1*
Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis	*1.34 ±0.3 / 20.6 ±1.4*	*1.32 ±0.2 / 19.1 ±1.2*	*1.35 ±0.2 / 21.1 ±1.2*
Koelerio delavignei – Festucetum rubrae	*1.32 ±0.3 / 22.7 ±1.5*	*1.33 ±0.2 / 22.1 ±1.3*	*1.33 ±0.3 / 22.9 ±1.3*
Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae	*1.35 ±0.3 / 23.4 ±1.5*	*1.36 ±0.3 / 23.1 ±1.2*	*1.38 ±0.3 / 24.6 ±1.2*
Anthoxantho – Agrostietum tenuis	*1.28 ±0.3 / 18.9 ±1.3*	*1.29 ±0.3 / 19.3 ±1.2*	*1.30 ±0.3 / 19.9 ±1.2*

*Note. * The observation periods correspond to those specified in the text.*

Богат сырой клетчаткой сенаж двукисточникового (36,58 %), болотномятликово-луговолисохвостового (35,63 %), душистоколосково-тонкополевичного (35,83 %) типов лугов, в составе которого обнаружено наибольшее содержание N и P (в % на воздушно-сухую навеску). Валовое содержание N и P (минимальное и максимальное) в сенаже типов лугов различается достоверно ($t_{факт} > t_{теор}$). Изменения в биохимических показателях травостоя луговых сообществ изменялись, отличия статистически недостоверны. Луговые сообщества на суходолах ввиду малого количества заготавливаемой растительной массы используют в основном для выпаса животных, остальные изученные виды – и для получения высококачественных питательных кормов, в том числе и силосования.

Однако снижение содержания азота и фосфора уменьшает качество сена, что неблагоприятно сказывается на экономических показателях эксплуатации лугов, особенно при уменьшении общей продуктивности у некоторых биоценозов.

Распределение органического углерода в компонентах естественных лугов разнообразно и включает следующие пулы: в подземной части (корнях, корневищах, клубнях, луковицах), надземных частях. При этом часть органики в слое побеговой массы 2–3 см над поверхностью почвы регистрируется как растительные остатки и ветошь; они быстро минерализуются и удаляются в виде углекислого газа. Развитие растительного покрова луговых сообществ как естественных, так и сеяных способствует трансформации субстрата, т. е. биокосного тела – почвы, поэтому депонирование углерода в почве – один из значительных компонентов биогеохимического цикла углерода. Регистрируемый процесс изменения содержания общего углерода

(Со) и лабильного углерода (Сл) в луговых почвах зависит и от доминирующих растений, создающих биоценоз, и регулируется режимом увлажнения, активностью почвенных микроорганизмов, контролирующих процессы разложения биомассы. Физические свойства почвы определяются лабильным углеродом, способствуют удержанию влаги за счет структурирования почвы. Уменьшение показателей Сл свидетельствует о начальных процессах изменения физических характеристик почвы, которые косвенно свидетельствуют о нарушениях координирующей функции растительного покрова (таблица 4).

Показатели Со свидетельствуют о депонировании углерода и запасании его в доступных для биоты органических соединениях. Для почв под гигрофильными и долгопоемными лугами (сообщества 1–4) за период наблюдений отмечено уменьшение Со и Сл; особенно значительное снижение для сообществ ассоциации *Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis*, что свидетельствует о крайнем изменении регулирующей поток углерода функции растительного покрова (снижение статистически достоверно). Незначительное увеличение Со и Сл выявлено для почв под биоценозами *Heracleo sibirici – Alopecuretum pratensis*, *Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae*, *Anthoxantho – Agrostietum tenuis* (различия статистически недостоверны). Для исследованных почв под этими лугами органический углерод Со возрастает более значительно, чем показатели Сл. Вероятно, накопление углерода находится под контролем микроорганизмов, микрогруппировки которых перестраиваются медленнее, чем сообщества высших сосудистых растений. Для келериево-красноовсяницевых лугов (*Koelerio delavignei – Festucetum rubrae*) выявлены стабильные данные по видам углерода, что свидетельствует о стабильности процессов биогеохимического цикла углерода, адаптированности биотического комплекса к воздействию стрессорных факторов. Таким образом, стабильность Со свидетельствует о выполнении почвами лугов накопительной (углеродной) функции, обеспечивающей воспроизводство и рост биомассы надземной части биоценоза, снижение парникового эффекта и устранение карбоновой проблемы. Отсутствие колебаний содержания органического углерода в почвах определяется нивелированием его потерь – через уменьшение процессов минерализации при устранении механического удаления части профиля почв с процессами эрозии. Эти стабилизирующие гомеостатическое равновесие биогеохимического цикла факторы оказываются нарушенными в почвах крупнозлаковых долгопоемных лугов в связи с изменением, в первую очередь, режима увлажнения.

Для выяснения причин разнообразия структурных и фитоценотических показателей, а также депонирующей способности почв лугов разной степени увлажнения, кислотности субстрата и содержания азота проанализированы показатели гидротермического коэффициента (рис. 4) и высоты снежного покрова (рис. 5): эти показатели наиболее ярко и динамично изменялись в староосвоенном регионе.

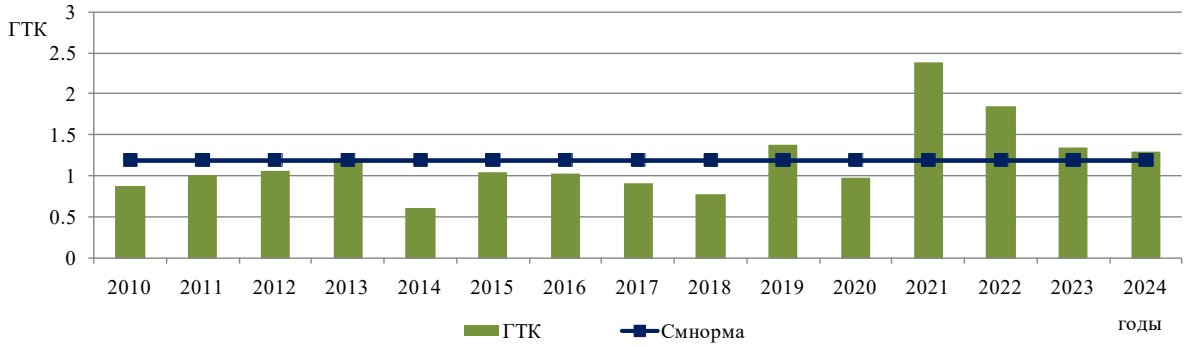


Рис. 4. Динамика гидротермического коэффициента (в баллах) в Брянской области
ГТК – гидротермический коэффициент. Смнорма – среднемноголетняя норма (1,2)

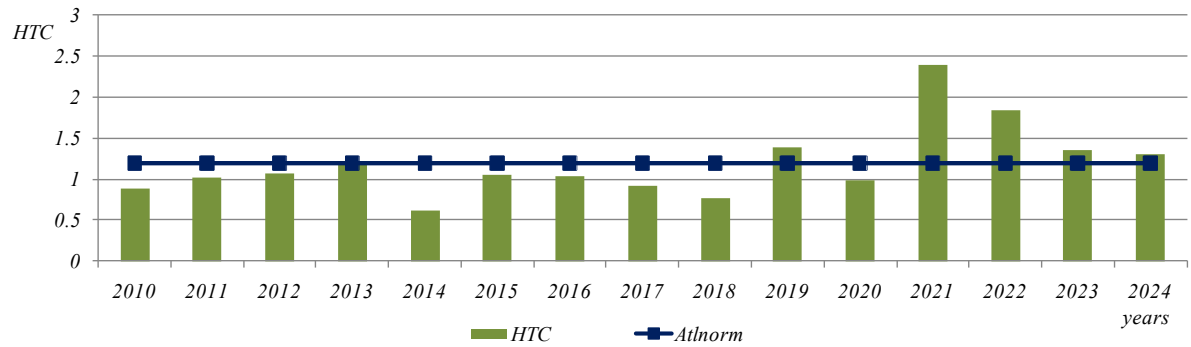


Fig. 4. Dynamics – the hydrothermal coefficient (in points) in the Bryansk region
HTC – hydrothermal coefficient. Altnorm – average long-term norm (1.2)

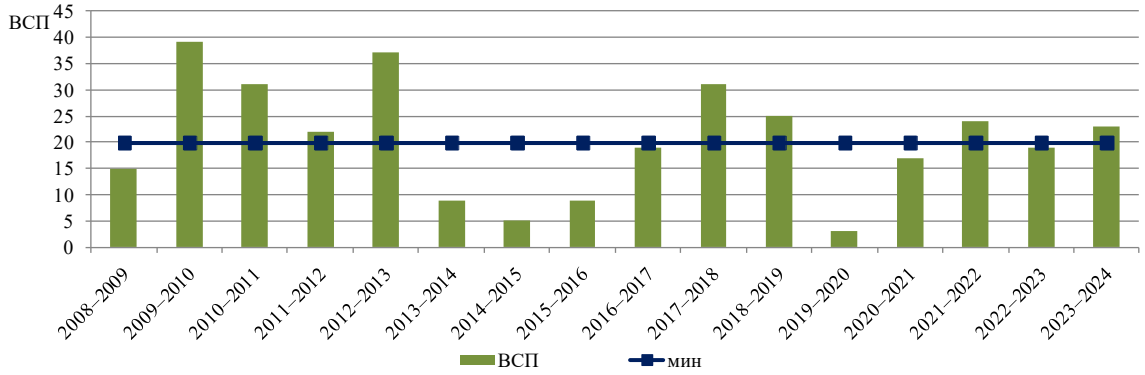


Рис. 5. Динамика высоты снежного покрова (см) в Брянской области
ВСП – высота снежного покрова. Мин – минимальное значение высоты снежного покрова для обеспечения стока

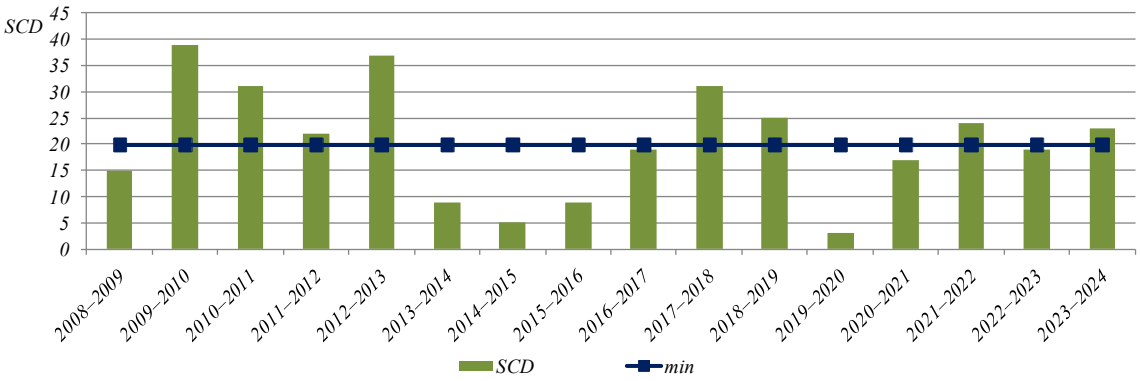


Fig. 5. Dynamics – snow cover depth (cm) in the Bryansk region
SCD – snow cover depth. Min – minimum snow cover depth required to ensure runoff

Начиная с 2010 года обеспеченность влагой ниже среднемноголетней нормы, что выступает одним из основных лимитирующих показателей скорости, мощности, продолжительности вегетации растений. С 2021 года ГТК имеет тенденцию к увеличению выше среднемноголетних значений, что не может не сказаться положительно на приросте биомассы. Наименьший ГТК выявлен для 2010, 2014, 2018 годах, что подтверждает нестабильность климата в административном центре Нечерноземья РФ.

Одна из причин разной величины разлива рек – мощность снежного покрова, его плотность и влагонасыщенность. Показатель величины снегового покрова – один из основных, на территории Брянской области имеет тенденцию к многолетним значительным колебаниям; наибольшая величина снежного покрова зарегистрирована в 2009 году (рис. 5).

По данным авторов, мощность снежного покрова в 20 см и ниже не обеспечивает сток, так как снег сходит до наступления положительных температур из-за парникового эффекта. С 2008 года выявлено 8 зимних периодов с минимальной величиной снежного покрова, не поддерживающего сток (50,0 % от всех проанализированных данных по годам). Однако в весенний период 2013 и 2023 годов, по данным гидрометеорологической статистики, был зарегистрирован наибольший уровень воды в реках Десне и Болве, что в связи с многолетним разрывом в значениях «высокой воды» не может обеспечить долгопоемное увлажнение на лугах и обеспечение их элементами питания.

Важен также и показатель суммы эффективных температур, который определяет интенсивность вегетации растительности и обеспечивает продуктивность; однако у этих значений выявлена тенденция незначительного прироста с 2014 по 2022 год. Также нами учтены годовая сумма осадков за период с 2010 года, сумма осадков за вегетационный период, среднегодовая температура: за период с 2014 по 2019 год она составляла 7,4 °С, с 2020 по 2024 год – 7,8 °С; с 2009 по 2013 год – 6,8 °С.

Установлено, что положительная сильная взаимосвязь характеризует переменные: биомасса травостоя (первичная биомасса) – ГТК (r = 0,72), биомасса – сумма осадков за вегетационный период, среднегодовая сумма осадков (r = 0,71); средняя положительная связь – биомасса – сумма эффективных температур (r = 0,55), биомасса – среднегодовая температура (r = 0,56), содержание углерода (Со и Сл) – ГТК (r = 0,59), содержание углерода – среднегодовая сумма осадков (r = 0,54), содержание углерода в почвах – сумма эффективных температур (r = 0,52), высота травостоя – сумма осадков за вегетационный период (r = 0,53); умеренная по-

ложительная связь рассчитана для показателей: содержание азота, фосфора и сырой клетчатки – ГТК (r = 0,48), содержание углерода в почве – среднегодовая температура (r = 0,44). Расчет статистических взаимоотношений описанных для лугов показателей подтверждает, что в местообитаниях средней России одни из ведущих факторов, воздействующих на биомониторинговые показатели лугов, – абиотические климатические и гидрологические факторы. В большей степени от воздействия погодных условий, величины паводка крупных водных объектов зависят долгопоемные крупнозлаковые луга. Эту тенденцию отмечают и отечественные геоботаники, подтверждая негативные тенденции описаниями нарушенной структуры биоценозов, частичного уменьшения фитоценотического разнообразия.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Долговременный биомониторинг состояния сообществ естественных лугов по фоновым показателям показал наметившиеся изменения в структуре, биогеохимических функциях и продукционных процессах в разных местообитаниях, в первую очередь по степени увлажнения. Неустойчивы в условиях изменяющегося климата и водности крупных рек в средней России сообщества ассоциаций крупнозлаковых долгопоемных лугов. Потеря хозяйственно ценных качеств травостоя выявлена для ассоциаций *Phalaridetum arundinaceae* Libbert 1931, *Agrostio stoloniferae – Beckmannietum eruciformis* Alexandrova 1989. Эта тенденция обусловлена снижением фитоценотического разнообразия и, как следствие, инвазии адвентов. В условиях ксерфитизации климата наиболее динамична первичная продуктивность (урожай травостоя). Незначительно изменяются биохимические данные травостоя – содержание азота, фосфора и сырой клетчатки.

Наиболее гомеостатичны при смене климатических характеристик и гидрологических показателей сообщества мелкозлаковых лугов на сухих почвах: биоценозы ассоциаций *Koelerio delavignei– Festucetum rubrae* Bulokhov 2001, *Filipendulo vulgaris – Festucetum rubrae* Bulokhov 2001. В дальнейшем мелиоративные мероприятия по восстановлению и поддержанию ценотических характеристик целесообразны именно для этих сообществ. Однако описанные изменения в естественных лугах в местообитаниях Нечерноземья РФ – иллюстрация демутацинных смен и первичных стадий сукцессий. Таким образом, необходимо разрабатывать рекультивационные мероприятия с учетом выявленных изменений и подсева травянистых видов-ксерофитов для сохранения функций лугов. Выборочное агротехническое облагораживание пасторальных сообществ (с выпасом) не приведет к восстановлению разнообразия и структурных функций.

Почвами лугов поддерживается кумулятивное звено биогеохимического цикла углерода. Почвенный пул Со особенно важен, так как в биокосном теле углерод связывается на длительный промежуток времени и малоподвижен. Таким образом, снижение содержания Со свидетельствует о начале (или течении) дисбаланса углероддепонирующей функции лугов, что снижает общебиосферное и глобальное значение долгопоемных лугов в проблеме карбонизации. Также динамика содержания лабильного углерода, регистрируемая при воздействии стрессорных факторов абиотического характера, может использоваться в диагностических мероприятиях при оценке физических показателей почв.

Библиографический список

1. Булохов А. Д., Семенищенков Ю. А., Панасенко Н. Н., Харин А. В., Ахромеев Л. М. Разнообразие и динамика травяной растительности поймы реки Десны. Брянск: РИСО БГУ, 2021. 240 с.

2. Порфирьев Б. Н. Устойчивое развитие, климат и экономический рост: стратегические вызовы и решения для России. Санкт-Петербург: СПбГУП, 2020. 40 с.

3. Chang J., Ciais, P., Gasser T., et al. Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands // Nature Communications. 2021. Vol. 12. Article number 118. DOI: 10.1038/s41467-020-20406-7.

4. Ksenofontov M. Y., Polzikov D. A. On the issue of the impact of climate change on the development of Russian agriculture in the long term // Studies on Russian Economic Development. 2020. Vol. 31, No. 3. Pp. 304–311. DOI: 10.1134/S1075700720030089.

5. Белолюбцев В. Л., Куприянов А. Н., Кузнецов И. А. [и др.]. Средостабилизирующая роль многолетних трав в условиях современных вызовов экологического и климатического характера // АгроЭкоИнфо. 2023. № 1. DOI: 10.51419/202131127.

6. Иванов Д. А., Хархардинов Н. А., Курпас К. С. Зависимость продуктивности многолетних трав от ландшафтных и климатических условий // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 4. С. 30–34. DOI: 10.31857/S2500208224040056.

7. Addy J. W. G., Ellis R. H., Macdonald A. J., et al. Changes in agricultural climate in South-Eastern England from 1892 to 2016 and differences in cereal and permanent grassland yield // Agricultural and Forest Meteorology. 2021. Vol. 308-309. Article number 108560. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108560.

8. Lasche S. N., Schroeder R. W., McIntosh M. M., et al. Long-term growing season aridity and grazing seasonality effects on perennial grass biomass in a Chihuahuan Desert rangeland // Journal of Arid Environments. 2023. Vol. 209. Article number 104902. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2022.104902.

9. Методические указания по классификации сенокосов и пастбищ равнинной территории Европейской части СССР. Москва: ВНИИ кормов, 1987. 148 с.

10. Плугатарь Ю. В., Ермаков Н. Б., Семенищенков Ю. А. [и др.]. Концепции классификации растительности России как отражение современных задач фитоценологии // Растительность России. 2020. № 38. С. 3–12. DOI: 10.31111/vegrus/2020.38.3.

11. Золотова Е. С., Иванова Н. С. Оценка динамики растительности с использованием европейских экологических шкал // Биосфера. 2024. Т. 16, № 3. С. 269–283. DOI: 10.24855/biosfera.v16i3.951.

12. Анищенко Л. Н., Поцепай С. Н., Справцев А. А., Васькина Т. И., Семышев М. В., Сычев С. М. Организация устойчивого управления лугами в Нечерноземной зоне Российской Федерации // Аграрная наука. 2022. № 9. С. 120–125. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-120-125.

13. Терийя Ж.-П., Вилнер В., Фернандес-Гонсалес Ф., Бюлтманн Х., Чарни А., Гиганте Д., Муцина Л., Вебер Г. Международный кодекс фитосоциологической номенклатуры. 4-е издание // Растительность России. 2022. № 44. С. 3–60. DOI: 10.31111/vegrus/2022.44.3.

14. Программа и методика проведения научных исследований по луговодству / Под ред. А. А. Кутузовой, К. Н. Приваловой. Москва: ФГОУ РЦСК, 2021. 192 с.

15. Батраченко Е. А., Долгополова Н. В., Малышева Е. В. Структура агроландшафтов, функциональное зонирование и их устойчивое развитие // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 8. С. 6–13.

16. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. Москва: Стандартинформ, 2018. 14 с.

17. Лапушкин В. М., Торшин С. П., Лапушкина А. А., Серегина И. И., Смолина Г. А., Гусева Е. Ю. Агрохимия. Практикум. Санкт-Петербург: Лань, 2026. 500 с.

18. Гашев С. Н., Бетляева Ф. Х., Иванова М. Ю., Цицкиева К. Р. Математические методы в биологии: анализ биологических данных в системе Statistika. Москва: Юрайт, 2025. 181 с.

19. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 635 с.

Об авторах:

Светлана Николаевна Поцепай, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Агрономического института, Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино, Брянская область, Россия; ORCID 0000-0003-4969-3189, AuthorID 787063. *E-mail: snpotsepai@yandex.ru*

Лидия Николаевна Анищенко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры географии, экологии землеустройства, Брянский государственный университет им. академика И. Г. Петровского, Брянск, Россия; ORCID 0000-0002-6600-6010, AuthorID 260617. *E-mail: eco_egf@mail.ru*

Михаил Васильевич Семышев, кандидат педагогических наук, доцент, доцент Агрономического института, Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино, Брянская область, Россия; ORCID 0000-0003-0496-1509, AuthorID 433164. *E-mail: mwsemm@mail.ru.*

Валентина Михайловна Семышева, кандидат педагогических наук, доцент Института энергетики и природопользования, Брянский государственный аграрный университет, с. Кокино, Брянская область, Россия; ORCID 0000-0003-2786-6114, AuthorID 433166. *E-mail: vsemysheva@mail.ru*

Виктор Станиславович Кухарь, кандидат экономических наук, доцент, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-1499-2787, AuthorID 884789. *E-mail: viktorurgau@mail.ru*

References

1. Bulokhov A. D., Semenishchenkov Yu. A., Panasenko N. N., Kharin A. V., Akhromeev L. M. *Diversity and dynamics of grass vegetation of the Desna River floodplain.* Bryansk: RISO BSU, 2021. 240 p. (In Russ.)

2. Porfiryev B. N. *Sustainable development, climate, and economic growth: strategic challenges and solutions for Russia*. Saint Petersburg: SPbGUP, 2020. 40 p. (In Russ.)

3. Chang J., Ciais, P., Gasser T., et al. Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in sparsely grazed and natural grasslands. *Nature Communications*. 2021; 12: 118. DOI: 10.1038/s41467-020-20406-7.

4. Ksenofontov M. Y., Polzikov D. A. On the issue of the impact of climate change on the development of Russian agriculture in the long term. *Studies on Russian Economic Development.* 2020; 31 (3): 304–311. DOI: 10.1134/S1075700720030089.

5. Belolyubtsev V. L., Kupriyanov A. N., Kuznetsov I. A., et al. The middle stabilizing role of perennial grasses in modern challenges of ecological and climatic character. *AgroEcoInfo*. 2023; 1. DOI: 10.51419/202131127. (In Russ.)

6. Ivanov D. A., Kharkhardinov N. A., Kurpas K. S. Correlation between perennial grass productivity and landscape and climatic conditions. *Vestnik of Russian Agricultural Science*. 2024; 4: 30–34. DOI: 10.31857/S2500208224040056. (In Russ.)

7. Addy J. W. G., Ellis R. H., Macdonald A. J., et al. Changes in agricultural climate in South-Eastern England from 1892 to 2016 and differences in cereal and permanent grassland yield. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021; 308–309: 108560. DOI: 10.1016/j.agrformet.2021.108560.

8. Lasche S. N., Schroeder R. W., McIntosh M. M., et al. Long-term growing season aridity and grazing seasonality effects on perennial grass biomass in a Chihuahuan Desert rangeland. *Journal of Arid Environments.* 2023; 209: 104902. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2022.104902.

9. *Guidelines for the classification of hayfields and pastures in the lowlands of the European Part of the USSR*. Moscow: All-Russian Research Institute of Forages, 1987. 148 p. (In Russ.)

10. Plugatar Yu. V., Ermakov N. B., Semenishchenkov Yu. A., et al. The concept of vegetation classification of Russia as an image of contemporary tasks of phytocoenology. *Vegetation of Russia*. 2020; 38: 3–12. DOI: 10.31111/vegrus/2020.38.3. (In Russ.)

11. Zolotova E. S., Ivanova N. S. Application of European ecological scales for vegetation dynamics assessment *Biosfera*. 2024; 16 (3): 269–283. DOI: 10.24855/biosfera.v16i3.951. (In Russ.)

12. Anishchenko L. N., Potsepai S. N., Spravtsev A. A., Vaskina T. I., Semyshev M. V., Sychev S. M. Organization of sustainable management of meadows in the Nonchernozem belt of the Russian Federation. *Agrarian Science*. 2022; 9: 120–125. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-120-125. (In Russ.)

13. Teriya J.-P., Willner V., Fernandez-Gonzalez F., Bültmann H., Charney A., Gigante D., Mucina L., Weber G. International Code of Phytosociological Nomenclature. 4th edition. *Vegetation of Russia.* 2022; 44: 3–60. DOI: 10.31111/vegrus/2022.44.3. (In Russ.)

14. Kutuzova A. A., Privalova K. N. (eds.) *Program and methodology for scientific research on grassland management*. Moscow: FGOU RTSSK, 2021. 192 p. (In Russ.)

15. Batrachenko E. A., Dolgopolova N. V., Malysheva E. V. Structure of agrolandscape, functional zoning and their sustainability. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2022; 8: 6–13. (In Russ.)

16. *GOST 17.4.4.02-2017. Methods of sampling and preparing samples for chemical, bacteriological and helminthological analysis*. Moscow: Standartinform, 2018. 14 p. (In Russ.)

17. Lapushkin V. M., Torshin S. P., Lapushkina A. A., Seregina I. I., Smolina G. A., Guseva E. Yu. *Agrochemistry. Workshop*. Saint Petersburg: Lan, 2026. 500 p. (In Russ.)

18. Gashev S. N., Betlyaeva F. Kh., Ivanova M. Yu., Tsitskieva K. R. *Mathematical methods in biology: analysis of biological data in the statistica system.* Moscow: Yurayt, 2025. 181 p. (In Russ.)

19. Maevskiy P. F. *Flora of middle of European Russia.* Moscow: KMK Scientific Publications Company, 2014. 635 p. (In Russ.)

Authors' information:

Svetlana N. Potsepai, candidate of agricultural sciences, associate professor of the Agronomic Institute, Bryansk State Agrarian University, Kokino village, Bryansk region, Russia; ORCID 0000-0003-4969-3189, AuthorID 787063. *E-mail: snpotsepai@yandex.ru*

Lidiya N. Anishchenko, doctor of agricultural sciences; professor, professor of the department of geography, ecology of land management, Bryansk State Academician I. G. Petrovski University, Bryansk, Russia; ORCID 0000-0002-6600-6010, AuthorID 260617. *E-mail: eco_egf@mail.ru*

Mikhail V. Semyshev, candidate of pedagogical sciences, associate professor, associate professor of the Agronomic Institute, Bryansk State Agrarian University, Kokino village, Bryansk region, Russia; ORCID 0000-0003-0496-1509, AuthorID 433164. *E-mail: mwsemm@mail.ru*

Valentina M. Semysheva, candidate of pedagogical sciences, associate professor of the Institute of Power Engineering and Land Management, Bryansk State Agrarian University, Kokino village, Bryansk region, Russia; ORCID 0000-0003-2786-6114, AuthorID 433166. *E-mail: vsemysheva@mail.ru*

Viktor S. Kukhar', candidate of economic sciences, associate professor, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-1499-2787, AuthorID 884789. *E-mail: viktorurgau@mail.ru*

УДК 633.321:631.527:551.583
Код ВАК 4.1.2
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1942-1950

Влияние агроклиматических условий на продуктивность селекционных образцов клевера лугового

М. А. Тормозин✉, **А. А. Зырянцева, Л. Б. Сергеева**
Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
✉*E-mail: tormozinma@mail.ru*

Аннотация. В период с 2024 по 2025 г. в рамках конкурсного сортоиспытания проводилась оценка 14 перспективных селекционных номеров клевера лугового. Эти образцы, представляющие собой диплоидные (2*n*) одноукосные формы, были созданы в отделе селекции и семеноводства многолетних трав Уральского НИИСХ – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. **Цель** исследования – оценить селекционные образцы клевера лугового по кормовой и семенной продуктивности, а также питательной ценности в различных климатических условиях. **Материалы и методы.** Площадь делянки в конкурсном сортоиспытании – 10 м^2, повторность опыта – четырехкратная. Выращивание растений осуществляли по общепринятой агротехнике. **Научная новизна.** В результате проведенных исследований выделены перспективные сортообразцы, которые будут включены в дальнейшую селекционную проработку. **Результаты.** В целом за 2 года оценки питомника конкурсного сортоиспытания превышение по урожайности зеленой массы по отношению к стандарту отмечено у сорта Оникс – 39,25 т/га (+10,2 %). У двух сортов отмечено превышение по сбору сухого вещества: Олимп – 7,09 т/га (+4,3 %), Оникс – 7,34 т/га (+8,0 %). На первый год жизни высокое содержание протеина за сезон отмечено у номеров Оникс × Огонек (8) – 17,22 %, Атлант – 17,70 %. Сбор протеина за сезон был на уровне 662–985 кг/га. В 2025 г. содержание протеина за сезон составило 16,00–18,65 %. Сбор протеина за сезон – 891–1272 кг/га, наибольший показатель обеспечили сортообразцы Оникс × Огонек (8) – 1103 кг/га, Оникс – 1157 кг/га, Витебчанин × Орфей (5) – 1203 кг/га, Витебчанин × Суйдинец (8) – 1272 кг/га.

Ключевые слова: клевер луговой (*Trifolium pratense* L.), конкурсное сортоиспытание, кормовая продуктивность, вегетационный период

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания по теме «Совершенствование принципов подбора родительских пар и создание нового селекционного материала с использованием биотехнологических методов способного реализовывать генетический потенциал продуктивности в условиях абиотических и биотических стрессов (0532-2025-0005)».

Для цитирования: Тормозин М. А., Зырянцева А. А., Сергеева Л. Б. Влияние агроклиматических условий на продуктивность селекционных образцов клевера лугового // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1942–1950. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1942-1950.

Дата поступления статьи: 23.06.2026, ***дата рецензирования:*** 11.08.2026, ***дата принятия:*** 01.09.2026. .

© Тормозин М. А., Зырянцева А. А., Сергеева Л. Б., 2026

The influence of agro-climatic conditions on the productivity of breeding samples of meadow clover

M. A. Tormozin✉, **A. A. Zyryantseva, L. B. Sergeeva**
Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia
✉*E-mail: tormozinma@mail.ru*

Abstract. In the period from 2024 to 2025, 14 promising breeding numbers of meadow clover were evaluated as part of a competitive variety testing. These samples, which are diploid (2*n*) single-axis forms, were created in the Department of Breeding and Seed production of perennial grasses of the Ural Research Institute of Agricultural Sciences – a branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. **The purpose** of the study is to evaluate breeding samples of meadow clover, in terms of feed and seed productivity, as well as nutritional value in various climatic conditions. **Materials and methods.** The area of the plot in the competitive variety testing is 10 m^2, the repeatability of the experiments is 4 times. The plants were grown according to generally accepted agricultural techniques. **Scientific novelty.** As a result of the conducted research, promising cultivars have been identified, which will be included in the Far Eastern breeding development. **Results.** In general, over the two years of evaluation of the nursery of the competitive variety testing, the excess in yield of green mass in relation to the standard was noted in the Oniks variety – 39.25 t/ha (+10.2 %). During the two years of study, two varieties showed an excess in the collection of Olimp dry matter – 7.09 t/ha (+4.3 %) and Oniks – 7.34 t/ha (+8.0 %). In the first year of life, the following numbers had a high protein content per season: Oniks, Ogonek (8) – 17.22 %, Atlant – 17.70 %. The protein harvest for the season will be at the level of 662-985 kg/ha. In 2025, the protein content per season was 16.00–18.65 %. The protein harvest for the season amounted to 891–1272 kg/ha, the highest figure was provided by the varieties Oniks × Ogonek (8) – 1103 kg/ha, Oniks – 1157 kg/ha, Vitebchanin × Orfey (5) – 1203 kg/ha, Vitebchanin × Suydinets (8) – 1272 kg/ha.

Keywords: meadow clover (*Trifolium pratense* L.), competitive variety testing, forage productivity, growing season

Acknowledgments. This publication was prepared within the framework of the state assignment on the topic "Improving principles for selecting parental pairs and developing new breeding material using biotechnological methods capable of realizing genetic productivity potential under abiotic and biotic stress conditions (0532-2025-0005)."

For citation: Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Sergeeva L. B. The influence of agro-climatic conditions on the productivity of breeding samples of meadow clover. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1942–1950. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1942-1950. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.06.2026, ***date of review:*** 11.08.2026, ***date of acceptance:*** 01.09.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В большинстве регионов России многолетние травы являются ключевыми кормовыми культурами, что способствует стабильному и продуктивному производству кормов [1–3].

В России посевные площади клевера лугового составляют около 4,5 млн га, а в Свердловской области в 2025 году под ним было занято 93,3 тыс. га. Эта культура незаменима в кормопроизводстве благодаря своей высокой урожайности, питательной ценности (содержит аминокислоты) и способности фиксировать до 180–200 кг азота из воздуха на 1 га за сезон. Это позволяет отказаться от азотных удобрений при его выращивании и снизить их потребность для последующих культур [4–6].

Значимость местных экотипов, таких как ярославские, пермские, красноуфимские клевера, неоспорима, поскольку они стали основой для современных сортов. Сегодня активно изучаются новые перспективные виды (например, астрагал Иванова, житняк тувинский, мискантус китайский), обладающие потенциалом для введения в культуру [7].

Основной проблемой в повышении продуктивности кормовых угодий является недостаток сортов, приспособленных к конкретным местным условиям [8; 9]. Несмотря на наличие современных высокопродуктивных сортов, их широкое распространение сдерживается дефицитом семян [10; 11]. В условиях меняющегося климата селекционная работа должна быть направлена на создание адаптивных сортов, обладающих высокой пластичностью и устойчивостью к стрессовым факторам, что является наиболее эффективным способом обеспечения стабильных урожаев [12].

© Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Sergeeva L. B., 2026

Настоящее исследование направлено на комплексную оценку перспективных сортов клевера лугового с точки зрения их потенциала в области кормовой и семенной продуктивности, а также питательной ценности с учетом влияния разнообразных климатических условий.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводили в Уральском НИИСХ – филиале ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН в 2023–2025 годах. Почва опытного участка серая лесная тяжелосуглинистая со следующими агрохимическими показателями в пахотном горизонте: содержание гумуса (по Тюрину) – 3,51–4,30 %, легкогидролизуемого азота (по Корнфильду) – 98–113 мг/кг почвы, подвижного фосфора (по Кирсанову в модификации ЦИНАО) – 325–510 мг/кг почвы, обменного калия (по Кирсанову в модификации ЦИНАО) – 39,2–84,0 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований (по Каппену) – 24,2–25,1 мг-экв на 100 г почвы, pH солевой вытяжки (по методу ЦИНАО) – 5,07–5,23, гидролитическая кислотность (по Каппену в модификации ЦИНАО) – 3,05–5,85 мг-экв на 100 г почвы.

Разнообразие погодных условий во время испытаний селекционного материала способствовало всесторонней оценке перспективных образцов в конкурсном сортоиспытании.

Анализ климатических данных региона выявил следующие характеристики: среднегодовая сумма эффективных температур (превышающих 5 °C) составляет 1282 °C. В период с 2023 по 2025 год этот показатель находился в диапазоне от 1462 °C до 1737 °C. Аналогично средняя сумма температур выше 10 °C, равная 557 °C, в указанные годы колебалась от 674 °C до 901 °C. Что касается температур, превышающих 15 °C, их среднее значение составляет 115 °C, тогда как в исследуемый период были значения от 222 °C до 357 °C.

Многолетние данные по осадкам, соответствующие этим температурным периодам, составляют 330 мм (для температуры выше 5 °C), 263 мм (для температуры выше 10 °C) и 161 мм (для температуры выше 15 °C). В период с 2023 по 2025 год эти показатели осадков изменялись в диапазонах 254–374 мм, 240–363 мм и 167–326 мм соответственно.

Средний показатель суммы положительных температур за вегетационный период равен 2090 °C. Однако в ходе проведенных исследований наблюдались более высокие значения – от 2289 °C до 2632 °C.

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) – это показатель, обобщающий климатические условия с учетом количества осадков и продолжительности теплого периода. Он помогает определить, насколько территория обеспечена влагой и теплом. Высокий ГТК означает, что условия для роста растений оптимальны: достаточно влаги и умеренное тепло. Низкий же ГТК говорит о засушливости и жаркой погоде.

Вегетационный период 2023 года отличался климатической неоднородностью: первая половина – аномальная жара и засуха, вторая – тепло и достаточное количество осадков. Общий ГТК составил 0,94.

Метеорологические условия 2024 года характеризовались следующими значениями: май – низкие температуры и избыточное увлажнение, вплоть до выпадения снега в первой декаде месяца; июнь и август прохладные, с преобладанием сильных ливневых дождей; сентябрь же, напротив, выдался теплым и сухим. Показатель ГТК за вегетационный период достиг 2,00.

Анализ метеорологических данных за вегетационный сезон 2025 года показал, что для него были характерны повышенные температуры и достаточное, а в некоторых районах и избыточное увлажнение. Средний показатель ГТК за этот период составил 1,70.

В условиях конкурсного сортоиспытания в течение цикла (2024/2025 годы) оценивали 14 перспективных селекционных номеров клевера лугового, диплоидного (2*n*), одноукосного, созданных в отделе селекции и семеноводства многолетних трав.

Для проведения оценки сортообразцов были применены методические рекомендации ВНИИ кормов и Госкомиссии по сортоиспытанию[1], [2].

Площадь делянки в конкурсном сортоиспытании – 10 м^2, повторность опыта четырехкратная. Посев проводили сеялкой СФК, без покрова, выращивание растений осуществляли по общепринятой агротехнике.

Математическую обработку экспериментальных данных осуществляли методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову[3].

Результаты (Results)

В состав питомника клевера лугового одноукосного вошли 14 сложногибридных популяций собственной селекции, полученные методами синтетической селекции.

В 2024 году, в начале цветения, был осуществлен укос. Определение урожайности зеленой массы проводилось 8 июля. Высота растений на момент укоса находилась в диапазоне 66,7–79,1 см. Полученная урожайность зеленой массы составила от 15,75 до 23,75 т/га. Среди исследованных образцов наивысшие показатели урожайности были зафиксированы у следующих номеров: Оникс × Огонек (8) – 22,25 т/га, Новичок × Орфей (п) – 22,50 т/га, Витебчанин × Суйдинец (8) – 22,75 т/га, Орфей – 23,50 т/га, и Оникс – 23,75 т/га (таблица 1).

[1] Методические указания по селекции и первичному семеноводству клевера. Москва: РАСХН. ВИК, 2002. 68 с.

[2] Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Колос, 1972. Вып. 2. 229 с.

[3] Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1985. 336 с.

Таблица 1

Урожайность зеленой массы клевера лугового одноукосного в конкурсном сортоиспытании (посев 2023 г., учет 2024–2025 гг.)

Образец	Урожайность зеленой массы, т/га							
	2024 г.				2025 г.			
	1-й укос	2-й укос	Всего	% к st.	1-й укос	2-й укос	Всего	% к st.
Орион (st.)	23,25	18,50	41,75	100	17,00	12,50	29,50	100
Витебчанин × ДС-1 (4)	18,25	11,60	29,85	71,5	14,25	11,50	25,75	87,3
Витебчанин × ДС-1 (6)	21,00	14,00	35,00	83,8	16,00	14,75	30,75	104,2
Витебчанин × Суйдинец (8)	22,75	16,00	38,75	92,8	19,75	16,75	36,50	123,7
Витебчанин × Орфей (5)	21,50	16,50	38,00	91,0	18,00	15,25	33,25	112,7
Оникс × Огонек (8)	22,25	16,50	38,75	92,8	19,25	15,25	34,50	117,0
Новичок × Орфей (п)	22,50	16,00	38,50	92,2	17,50	13,25	30,75	104,2
Орфей	23,50	20,00	43,50	104,2	17,25	11,00	28,25	95,7
Оникс	23,75	20,00	43,75	104,8	21,75	13,00	34,75	117,8
Олимп	21,50	19,50	41,00	98,2	20,50	14,00	34,50	117,0
Новичок × Орион (1)	19,75	19,00	38,75	92,8	17,50	11,75	29,25	99,2
Новичок × Орион (п)	19,00	14,50	33,50	80,2	15,50	12,00	27,50	93,2
Орфей × Пермский местный (8)	18,00	19,00	37,00	88,6	16,75	14,75	31,50	106,7
Атлант	15,75	17,00	32,75	78,4	15,00	12,00	27,00	91,5
$НСР_{05}$	–	–	3,52	–	–	–	3,03	–

Table 1

Yield of the green mass of single-cornered meadow clover in the nursery of in competitive variety testing (sowing in 2023, accounting for 2024–2025)

Sample	*Crop capacity green mass, t/ha*							
	2024				*2025*			
	1st skew	*2nd skew*	*Total*	*% to st.*	*1st skew*	*2nd skew*	*Total*	*% to st.*
Orion (st.)	*23.25*	*18.50*	*41.75*	*100*	*17.00*	*12.50*	*29.50*	*100*
Vitebchanin × DS-1 (4)	*18.25*	*11.60*	*29.85*	*71.5*	*14.25*	*11.50*	*25.75*	*87.3*
Vitebchanin × DS-1 (6)	*21.00*	*14.00*	*35.00*	*83.8*	*16.00*	*14.75*	*30.75*	*104.2*
Vitebchanin × Suydinets (8)	*22.75*	*16.00*	*38.75*	*92.8*	*19.75*	*16.75*	*36.50*	*123.7*
Vitebchanin × Orfey (5)	*21.50*	*16.50*	*38.00*	*91.0*	*18.00*	*15.25*	*33.25*	*112.7*
Oniks × Ogonek (8)	*22.25*	*16.50*	*38.75*	*92.8*	*19.25*	*15.25*	*34.50*	*117.0*
Novichok × Orfey (pop)	*22.50*	*16.00*	*38.50*	*92.2*	*17.50*	*13.25*	*30.75*	*104.2*
Orfey	*23.50*	*20.00*	*43.50*	*104.2*	*17.25*	*11.00*	*28.25*	*95.7*
Oniks	*23.75*	*20.00*	*43.75*	*104.8*	*21.75*	*13.00*	*34.75*	*117.8*
Olimp	*21.50*	*19.50*	*41.00*	*98.2*	*20.50*	*14.00*	*34.50*	*117.0*
Novichok × Orion (1)	*19.75*	*19.00*	*38.75*	*92.8*	*17.50*	*11.75*	*29.25*	*99.2*
Novichok × Orion (p)	*19.00*	*14.50*	*33.50*	*80.2*	*15.50*	*12.00*	*27.50*	*93.2*
Orfey × Permian Local (8)	*18.00*	*19.00*	*37.00*	*88.6*	*16.75*	*14.75*	*31.50*	*106.7*
Atlant	*15.75*	*17.00*	*32.75*	*78.4*	*15.00*	*12.00*	*27.00*	*91.5*
LSD_{05}	–	–	*3.52*	–	–	–	*3.03*	–

Развитие второго укоса происходило в благоприятных агрометеорологических условиях, характеризующихся повышенными среднесуточными температурами и достаточным уровнем влагообеспеченности. Оценка урожайности зеленой массы была проведена 6 сентября на участке питомника второго года вегетации. Высота растений на момент второго укоса находилась в диапазоне от 31,9 см до 52,2 см. Для образцов клевера лугового первого года пользования зафиксирована урожайность зеленой массы в пределах 11,6–20,0 т/га. Наиболее продуктивными оказались образцы Орфей, Оникс и Олимп.

Данные за 2025 год показывают, что формирование первого укоса характеризовалось избыточным увлажнением в метровом слое почвы и превышением среднемноголетних температурных значений. Отмечено также опережение среднемноголетних сроков наступления фенологических фаз на две недели.

Таблица 2

Сбор сухого вещества клевера лугового одноукосного в конкурсном сортоиспытании (посев 2023 г., учет 2024–2025 гг.)

Образец	Сбор сухого вещества, т/га							
	2024 г.				2025 г.			
	1-й укос	2-й укос	Всего	% к st.	1-й укос	2-й укос	Всего	% к st.
Орион (st.)	4,95	2,85	7,80	100	3,62	2,19	5,81	100
Витебчанин × ДС-1 (4)	4,20	2,02	6,22	79,7	2,92	1,96	4,88	84,0
Витебчанин × ДС-1 (6)	5,29	2,11	7,40	94,9	3,42	2,60	6,02	103,6
Витебчанин × Суйдинец (8)	4,91	2,54	7,45	95,5	4,44	3,03	7,47	128,6
Витебчанин × Орфей (5)	4,47	3,12	7,59	97,3	4,16	2,62	6,78	116,7
Оникс × Огонек (8)	4,85	2,71	7,56	96,9	4,37	2,38	6,75	116,2
Новичок × Орфей (п)	5,04	2,48	7,52	96,4	3,90	2,35	6,25	107,6
Орфей	4,96	3,18	8,14	104,4	3,62	1,86	5,48	94,3
Оникс	4,87	3,22	8,09	103,7	4,46	2,13	6,59	113,4
Олимп	4,67	3,26	7,93	101,7	4,08	2,18	6,26	107,8
Новичок × Орион (1)	4,01	2,81	6,82	87,4	3,87	2,03	5,90	101,6
Новичок × Орион (п)	3,67	2,29	5,96	76,4	3,58	1,99	5,57	95,9
Орфей × Пермский местный (8)	3,98	3,15	7,13	91,4	3,52	2,39	5,91	101,7
Атлант	3,40	2,87	6,27	80,4	3,12	1,86	4,98	85,7
$НСР_{05}$	–	–	0,67	–	–	–	0,59	–

Table 2

Collection of dry matter of single-pronged meadow clover in the in competitive variety testing (sowing in 2023, accounting in 2024–2025)

Sample	*Collection of dry matter, t/ha*							
	2024				*2025*			
	1st skew	*2nd skew*	*Total*	*% to st.*	*1st skew*	*2nd skew*	*Total*	*% to st.*
Orion (st.)	*4.95*	*2.85*	*7.80*	*100*	*3.62*	*2.19*	*5.81*	*100*
Vitebchanin × DS-1 (4)	*4.20*	*2.02*	*6.22*	*79.7*	*2.92*	*1.96*	*4.88*	*84.0*
Vitebchanin × DS-1 (6)	*5.29*	*2.11*	*7.40*	*94.9*	*3.42*	*2.60*	*6.02*	*103.6*
Vitebchanin × Suydinets (8)	*4.91*	*2.54*	*7.45*	*95.5*	*4.44*	*3.03*	*7.47*	*128.6*
Vitebchanin × Orfey (5)	*4.47*	*3.12*	*7.59*	*97.3*	*4.16*	*2.62*	*6.78*	*116.7*
Oniks × Ogonek (8)	*4.85*	*2.71*	*7.56*	*96.9*	*4.37*	*2.38*	*6.75*	*116.2*
Novichok × Orfey (pop)	*5.04*	*2.48*	*7.52*	*96.4*	*3.90*	*2.35*	*6.25*	*107.6*
Orfey	*4.96*	*3.18*	*8.14*	*104.4*	*3.62*	*1.86*	*5.48*	*94.3*
Oniks	*4.87*	*3.22*	*8.09*	*103.7*	*4.46*	*2.13*	*6.59*	*113.4*
Olimp	*4.67*	*3.26*	*7.93*	*101.7*	*4.08*	*2.18*	*6.26*	*107.8*
Novichok × Orion (1)	*4.01*	*2.81*	*6.82*	*87.4*	*3.87*	*2.03*	*5.90*	*101.6*
Novichok × Orion (pop)	*3.67*	*2.29*	*5.96*	*76.4*	*3.58*	*1.99*	*5.57*	*95.9*
Orfey × Permian Local (8)	*3.98*	*3.15*	*7.13*	*91.4*	*3.52*	*2.39*	*5.91*	*101.7*
Atlant	*3.40*	*2.87*	*6.27*	*80.4*	*3.12*	*1.86*	*4.98*	*85.7*
LSD_{05}	–	–	*0.67*	–	–	–	*0.59*	–

Была сформирована группа быстроотрастающих номеров, в которую вошли Витебчанин × ДС-1 (4), Оникс, Витебчанин × Суйдинец (8), Орфей × Пермский местный (8) и Олимп.

В рамках исследований, проводимых в питомнике КСИ, установлено, что клевер луговой одноукосный (посев 2023 года) на второй год пользования обеспечил сбор зеленой массы в объеме 14,25–21,75 т/га при первом укосе и 11,0–16,75 т/га при втором. Совокупный показатель урожайности зеленой массы за два укоса во второй год пользования достиг 25,75–36,50 т/га.

Сорт Оникс выделился среди других в ходе двухлетнего конкурсного сортоиспытания, показав урожайность зеленой массы на уровне 39,25 т/га, что на 10,2 % превышает показатели стандарта.

Анализ урожайности сухого вещества в 2024 году показал следующие результаты (таблица 2): в первый год пользования диапазон составил 5,96–8,14 т/га с максимальными значениями у сортов Орфей (8,14 т/га, +4,4 %) и Оникс (8,09 т/га, +3,7 %). Во второй год пользования урожайность снизилась, составив 4,88–7,47 т/га. Однако некоторые сортообразцы продемонстрировали зна-

чительный рост: Оникс (+13,4 % до 6,59 т/га), Оникс × Огонек (8) (+16,2 % до 6,75 т/га), Витебчанин × Орфей (5) (+16,7 % до 6,78 т/га) и особенно Витебчанин × Суйдинец (8) (+28,6 % до 7,47 т/га). За весь двухлетний период наблюдения сорта Олимп (7,09 т/га, +4,3 %) и Оникс (7,34 т/га, +8,0 %) стабильно превосходили средние показатели по сбору сухого вещества.

За два года конкурсного сортоиспытания четыре образца питомника (Оникс, Витебчанин × Суйдинец (8), Витебчанин × Орфей (5), Оникс × Огонек (8)) показали лучшие результаты по сравнению со стандартом по урожайности зеленой массы и сбору сухого вещества.

Существует прямая корреляция между урожайностью зеленой массы клевера лугового, содержанием сухого вещества и продуктивностью белка на единицу площади. Иными словами, увеличение зеленой массы, как правило, ведет к росту выхода питательных веществ. Однако сорта клевера, демонстрирующие высокую зеленую массу при низком содержании сухого вещества, не позволяют достичь оптимального выхода питательных веществ с гектара.

Таблица 3

Выход питательных веществ с единицы площади клевера лугового одноукосного в конкурсном сортоиспытании (посев 2023 г., учет 2024–2025 гг.)

Образец	Содержание протеина в сухом веществе за сезон 2024 г., %	Содержание протеина в сухом веществе за сезон 2025 г., %	Сбор протеина, кг/га	
			За сезон 2024 г.	За сезон 2025 г.
Орион (st.)	15,92	17,40	1242	1011
Витебчанин × ДС-1 (4)	15,69	18,65	976	910
Витебчанин × ДС-1 (6)	14,49	18,24	1072	1098
Витебчанин × Суйдинец (8)	16,13	17,03	1202	1272
Витебчанин × Орфей (5)	16,03	17,74	1217	1203
Оникс × Огонек (8)	17,22	16,34	1302	1103
Новичок × Орфей (п)	15,69	16,51	1180	1032
Орфей	16,14	17,35	1314	951
Оникс	16,29	17,56	1318	1157
Олимп	15,91	16,37	1262	1025
Новичок × Орион (1)	16,26	17,90	1109	1056
Новичок × Орион (п)	15,62	16,00	931	891
Орфей × Пермский местный (8)	16,79	17,14	1197	1013
Атлант	17,70	17,59	1110	876
$НСР_{05}$	1,48	1,58	10,79	9,59

Table 3

Nutrient yield per unit area of meadow single-crop clover in competitive variety testing (sowing in 2023, accounting in 2024–2025)

Sample	*Protein content in dry matter for the 2024 season, %*	*Protein content in dry matter for the 2025 season, %*	*Protein harvesting, kg/ha*	
			Per season 2024	*Per season 2025*
Orion (st.)	*15.92*	*17.40*	*1242*	*1011*
Vitebchanin × DS-1 (4)	*15.69*	*18.65*	*976*	*910*
Vitebchanin × DS-1 (6)	*14.49*	*18.24*	*1072*	*1098*
Vitebchanin × Suydinets (8)	*16.13*	*17.03*	*1202*	*1272*
Vitebchanin × Orfey (5)	*16.03*	*17.74*	*1217*	*1203*
Oniks × Ogonek (8)	*17.22*	*16.34*	*1302*	*1103*
Novichok × Orfey (pop)	*15.69*	*16.51*	*1180*	*1032*
Orfey	*16.14*	*17.35*	*1314*	*951*
Oniks	*16.29*	*17.56*	*1318*	*1157*
Olimp	*15.91*	*16.37*	*1262*	*1025*
Novichok × Orion (1)	*16.26*	*17.90*	*1109*	*1056*
Novichok × Orion (pop)	*15.62*	*16.00*	*931*	*891*
Orfey × Permian Local (8)	*16.79*	*17.14*	*1197*	*1013*
Atlant	*17.70*	*17.59*	*1110*	*876*
LSD_{05}	*1.48*	*1.58*	*10.79*	*9.59*

В 2024 году, в рамках первого года пользования посева 2023 года в питомнике КСИ, был зафиксирован высокий уровень содержания протеина за сезон у следующих образцов: Витебчанин × Суйдинец (8) – 16,13 %, Оникс – 16,29 %, Оникс × Огонек (8) – 17,22 % и Атлант – 17,70 % (таблица 3). Общий сбор протеина за сезон варьировался в пределах 662–985 кг/га. Наиболее продуктивными по сбору протеина оказались образцы: Оникс × Огонек (8) с показателем 1302 кг/га (что на 4,8 % выше стандартного значения), Орфей – 1314 кг/га (превышение на 5,8 % относительно стандарта) и Оникс – 1318 кг/га (+ 6,1 % к стандарту).

По результатам испытаний в питомнике КСИ (посев 2023 года) в 2025 году содержание протеина за сезон варьировалось от 16,00 % до 18,65 %. Наилучшие показатели по протеину в течение сезона показали Витебчанин × ДС-1 (6) – 18,24 % и Витебчанин × ДС-1 (4) – 18,65 %. Урожайность протеина за сезон составила 891–1272 кг/га. Лидерами по сбору протеина стали Оникс × Огонек (8) – 1103 кг/га, Оникс – 1157 кг/га, Витебчанин × Орфей (5) – 1203 кг/га, и Витебчанин × Суйдинец (8) – 1272 кг/га.

Для практической оценки кормов необходимо учитывать общий выход сухого вещества и кормовых единиц, количество и суммарное содержание сырого протеина, эффективность использования кормовых единиц по содержанию переваримого протеина, а также концентрацию и сбалансированность основных питательных элементов.

В 2024 году в питомнике КСИ среди образцов клевера лугового первого года пользования (посев 2023 года) максимальное содержание обменной энергии и кормовых единиц в 1 кг сухого вещества в первом укосе продемонстрировали следующие номера: Витебчанин × Суйдинец (8), Витебчанин × Орфей (5), Оникс × Огонек (8). Наилучшая обеспеченность переваримым протеином на одну кормовую единицу была зафиксирована у образцов Витебчанин × ДС-1 (4), Оникс × Огонек (8), Оникс, Новичок × Орион (1), Атлант.

В 2025 году в питомнике КСИ среди образцов клевера лугового (посев 2023 года) на третий год жизни максимальное содержание обменной энергии и кормовых единиц в первом укосе зафиксировано у гибридов Новичок × Орион (п) и Орфей × Пермский местный (8). Наилучшая обеспеченность одной кормовой единицы переваримым протеином отмечена у сортов Орион и Новичок × Орион (1).

Практическая ценность создаваемых сортов определяется их высокой семенной продуктивностью, которая обеспечивает возможность их оперативного размножения и длительного применения в производстве [13].

Увлажненность среды произрастания играет ключевую роль в период развития репродуктивных органов растений. При этом избыточное увлажнение приводит к снижению семенной продуктивности. Успешное завязывание и созревание семян напрямую коррелирует с оптимальной температурой воздуха, которая, в свою очередь, способствует увеличению лета насекомых-опылителей и, соответственно, повышению интенсивности опыления у клевера [14; 15].

Анализ обсемененности 100 головок в питомнике конкурсного сортоиспытания показал разброс значений от 1,24 до 3,13 грамма. Наилучшие результаты по этому показателю продемонстрировали сорта Орион (2,85 г), Витебчанин × Орфей (5) (2,98 г) и Оникс (3,13 г). Что касается урожайности семян, она колебалась в пределах 28,0–95,0 кг/га. Примечательно, что образцы Олимп, Орфей × Пермский местный (8), Витебчанин × Орфей (5) и Новичок × Орфей (п) значительно превзошли стандарт, показав прирост урожайности от 10,4 % до 23,4 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате проведенных исследований выделены перспективные сортообразцы клевера лугового одноукосного, которые будут включены в дальнейшую селекционную проработку с целью создания высокоурожайных, конкурентоспособных сортов клевера лугового с высоким потенциалом продуктивности, способных охватить широкий ареал распространения.

Библиографический список

1. Кутузова А. А., Шпаков А. С., Косолапов В. М. [и др.]. Состояние и перспективы развития кормопроизводства в Нечерноземной зоне РФ // Кормопроизводство. 2021. № 2. С. 3–9.

2. Золотарев В. Н., Сапрыкин С. В. Травосеяние и семеноводство многолетних трав в структуре растениеводства как основа биологизации земледелия и развития кормопроизводства в региональном аспекте // Кормопроизводство. 2020. № 5. С. 3–15.

3. Кутузова А. А., Проворная Е. Е., Цыбенко Н. С. Эффективность усовершенствованных технологий создания пастбищных травостоев с использованием новых сортов бобовых видов и агротехнических приемов // Кормопроизводство. 2019. № 1. С. 7–11.

4. Мансапова А. И., Берендеева Л. О. Продуктивность полевых севооборотов в условиях равнинных ландшафтов подтайги Западной Сибири // Земледелие. 2018. № 1. С. 16–19.

5. Козлова З. В., Матаис Л. Н., Глушкова О. А. Влияние кормовых севооборотов на засоренность посевов и урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Прибайкалья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15, № 2 (58). С. 20–24.

6. Аксенова Ю. В., Бойко В. С. Роль многолетних трав и интенсивной системы земледелия в повышении энергетического потенциала органического вещества длительно орошаемой лугово-черноземной почвы // Земледелие. 2017. № 5. С. 18–20.

7. Dumacheva E. V., Cherniavskih V. I., Prisniy A. V., et al. Studies of biological resources of Urtica dioica L. as initial material for breeding // Journal of International Pharmaceutical Research. 2018. Vol. 45. Pp. 473–476.

8. Хлесткина Е. К. Генетические ресурсы России: от коллекций к биоресурсным центрам // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 183 (1). С. 9–30. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-9-30.

9. Хлесткина Е. К., Чухина И. Г. Генетические ресурсы растений: стратегия сохранения и использования // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90, № 6. С. 522–527. DOI: 10.31857/S0869587320060043.

10. Костенко С. И., Седова Е. Г., Думачева Е. В. Селекция кормовых культур – основа устойчивого кормопроизводства на современном этапе развития России // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 15–21. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_15.

11. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 401–407. DOI: 10.18699/VJ21.044.

12. Новоселов М. Ю., Дробышева Л. В., Старшинова О. А. Влияние генетических различий и биоклиматического потенциала на кормовую продуктивность селекционных образцов клевера лугового // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 4. С. 41–46. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_41.

13. Шихова И. В., Попова Е. В., Арзамасова Е. Г. Оценка семенной продуктивности сложногибридных популяций клевера лугового // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22, № 1. С. 47–56. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.47-56.

14. Зарьянова З. А. Семенная продуктивность сортов клевера лугового различного типа спелости в условиях северной части Центрально-Черноземного региона // Зернобобовые и крупяные культуры. 2012. № 2. С. 108–115.

15. Тимошкина О. Ю., Тимошкин О. А. Оценка сортообразцов клевера ползучего в конкурсном сортоиспытании // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2-2 (82). С. 209–213.

Об авторах:

Максим Александрович Тормозин, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом селекции и семеноводства многолетних трав, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, п. Исток, Свердловская область, Россия; ORCID 0000-0001-9108-4518, AuthorID 754229. *E-mail: tormozinma@mail.ru*

Анна Александровна Зырянцева, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства многолетних трав; Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, п. Исток, Свердловская область, Россия; ORCID 0000-0002-5154-3756, AuthorID 760871.
E-mail: anna.zyryantseva@mail.ru

Людмила Борисовна Сергеева, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник аналитической лаборатории, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, п. Исток, Свердловская область, Россия; ORCID 0000-0003-3552-7286, AuthorID 710631. *E-mail: sergeevaludmilarogoz@yandex.ru*

References

1. Kutuzova A. A., Shpakov A. S., Kosolapov V. M., Teberdiev D. M., Volovik V. T. Current state and potential of forage production in the Non-Chernozem region. *Fodder Production*. 2021; 2: 3–9. (In Russ.)

2. Zolotarev V. N., Saprykin S. V. Cultivation and seed production of perennial grasses as a basis for arable farming biologization and regional forage production. *Fodder Production*. 2020; 5: 3–15. (In Russ.)

3. Kutuzova A. A., Provornaya E. E., Tsybenko N. S. Pasture ecosystems of new legume varieties as affected by improved cultivation methods. *Fodder Production*. 2019; 1: 7–11. (In Russ.)

4. Mansapova A. I., Berendeeva L. O. Productivity of field crop rotations under conditions of plain landscapes of the Subtaiga of Western Siberia. *Zemledelie*. 2018; 1: 16–19. (In Russ.)

5. Kozlova Z. V., Matais L. N., Glushkova O. A. Influence of fodder crop rotations on crop conference and productivity of agricultural crops in Baikal region. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2020; 15 (2): 20–24. (In Russ.)

6. Aksenova Yu. V., Boyko V. S. Role of perennial grasses and an intensive system of farming in the increase of energy potential of organic matter of long irrigated meadow-chernozem soil. *Zemledelie*. 2017; 5: 18–20. (In Russ.)

7. Dumacheva E. V., Cherniavskih V. I., Prisniy A. V., et al. Studies of biological resources of Urtica dioica L. as initial material for breeding. *Journal of International Pharmaceutical Research*. 2018; 45: 473–476.

8. Khlestkina E. K. Genetic resources in Russia: from collections to bioresource centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding.* 2022; 183 (1): 9–30. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-9-30. (In Russ.)

9. Khlestkina E. K., Chuhina I. G. The conservation and use strategy in the 21st century. *Herald of the Russian Academy of Sciences.* 2020; 90 (6): 522–527. DOI: 10.31857/S0869587320060043. (In Russ.)

10. Kostenko S. I., Sedova E. G., Dumacheva E. V. Fodder crop breeding is the basis for sustainable fodder production in the current stage of Russian development. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022; 36 (4): 15–21. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_15. (In Russ.)

11. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I., Kostenko S. I. Fundamentals for forage crop breeding and seed production in Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25 (4): 401–407. DOI: 10.18699/VJ21.044. (In Russ.)

12. Novoselov M. Yu., Drobysheva L. V., Starshinova O. A., Makaeva A. M. Assessment of forage productivity of promising breeding specimens of perennial clover and birdsfoot trefoil. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022; 36 (4): 41–46. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_4_41. (In Russ.)

13. Shikhova I. V., Popova E. V., Arzamasova E. G. Assessment of seed productivity of complex hybrid populationsof red clover. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22 (1): 47–56. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.47-56 (In Russ.).

14. Zaryanova Z. A. Seed productivity of varieties of meadow clover of various maturity in the conditions of northern part of Central Black Earth region of the Russian Federation. *Legumes and Groat Crops*. 2012; 2: 108–115. (In Russ.)

15. Timoshkina O. Yu., Timoshkin O. A. Estimation samples dutch clover creeping in competitive test of grades. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2018; 20 (2-2): 209–213. (In Russ.)

Authors' information:

Maksim A. Tormozin, doctor of agricultural sciences, chief researcher of the department of breeding and seed production of perennial grasses, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-9108-4518, AuthorID 754229.
E-mail: tormozinma@mail.ru

Anna A. Zyryantseva, researcher of the department of breeding and seed production of perennial grasses, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-5154-3756, AuthorID 760871. *E-mail: anna.zyryantseva@mail.ru*

Lyudmila B. Sergeeva, candidate of agricultural sciences, senior researcher, analytical laboratory, Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;
ORCID 0000-0003-3552-7286, AuthorID 710631. *E-mail: sergeevaludmilarogoz@yandex.ru*

УДК 619:615.218:636.592.033
Код ВАК 4.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1951-1958

Продуктивная эффективность применения комплексного бактериофагового препарата при выращивании индеек

С. С. Бордюгова✉, **А. В. Павлова, Е. В. Белянская, А. В. Хромова, Д. О. Омельченко**
Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова, Луганск, Россия
✉*E-mail: bordugova.lana@mail.ru*

Аннотация. **Целью** исследований было изучить влияние перорального применения комплексного бактериофагового препарата на ветеринарно-биологические показатели индеек. 120 суточных индюшат были разделены на 4 группы: 2 контрольные и 2 опытные (отдельно самцы и самки). Все группы содержались в аналогичных условиях, получали полнорационный корм согласно возрастным периодам. Опытные группы дополнительно получали препарат «Фаговет» в питьевой воде в свободном доступе в дозировке согласно инструкции по применению. **Методы.** Результаты работы основываются на аналитическом обзоре профильной литературы, экспериментальных данных, полученных авторами в условиях фермерского хозяйства, а также биометрической и статистической обработке результатов. **Научная новизна** работы заключается в том, что впервые на индейках породы Белая широкогрудая экспериментально обоснована эффективность применения бактериофагового препарата «Фаговет» как фактора повышения интенсивности роста, конверсии корма и выхода ценных отрубов туши. **Результаты.** Установлено, что применение бактериофагового препарата «Фаговет» при выращивании индеек оказывает выраженное положительное влияние на интенсивность роста, конверсию корма и мясную продуктивность птицы. В опытных группах установлены достоверное увеличение абсолютного и среднесуточного прироста живой массы, улучшение конверсии корма на 13,2–14,5 %, повышение сохранности поголовья, а также прирост массы потрошеной тушки и увеличение доли наиболее ценных отрубов (грудной части, бедра и голени). Наиболее высокие показатели продуктивности зафиксированы у самцов, получавших препарат, что подтверждает его эффективность в качестве биотехнологического средства повышения рентабельности производства мяса индейки.

Ключевые слова: индейководство, индюшата, бактериофаговый препарат, продуктивные показатели, сохранность поголовья

Благодарности. Исследование выполнено в рамках НИОКТР, рег. № 1023111900029-1-4.3.1-4.3.1-4.3.1.

Для цитирования: Бордюгова С. С., Павлова А. В., Белянская Е. В., Хромова А. В., Омельченко Д. О. Продуктивная эффективность применения комплексного бактериофагового препарата при выращивании индеек // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1951–1958. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1951-1958.

Дата поступления статьи: 22.02.2026, ***дата рецензирования:*** 25.05.2026, ***дата принятия:*** 20.07.2026.

© Bordyugova S. S., Pavlova A. V., Belyanskaya E. V., Khromova A. V., Omelchenko D. O., 2026

Productive efficiency of using a complex bacteriophage preparation in the cultivation of turkeys

S. S. Bordyugova✉, **A. V. Pavlova, E. V. Belyanskaya, A. V. Khromova, D. O. Omelchenko**
Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov, Lugansk, Russia
✉*E-mail: bordugova.lana@mail.ru*

Abstract. **The purpose** of the study was to investigate the effect of oral administration of a complex bacteriophage preparation on the veterinary and biological parameters of turkeys. 120 day-old turkeys were divided into 4 groups: 2 control groups and 2 experimental groups (separately for males and females). All groups were kept under similar conditions and received a complete feed according to their age. The experimental groups additionally received the bacteriophage preparation "Fagovet" in their drinking water at a dosage according to the instructions for use. **Methods.** The results of the work are based on an analytical review of specialized literature, experimental data obtained by the authors on a farm, as well as biometric and statistical processing of the results. **Scientific novelty**. The work lies in the fact that for the first time, the effectiveness of using the bacteriophage preparation "Fagovet" as a factor in increasing the growth rate, feed conversion, and yield of valuable carcass cuts has been experimentally proven on White Broad-Breasted turkeys. **Results.** It has been established that the use of the bacteriophage preparation "Fagovet" in the cultivation of turkeys has a pronounced positive effect on the growth rate, feed conversion and meat productivity of poultry. In the experimental groups, there was a significant increase in absolute and average daily live weight gain, an improvement in feed conversion by 13.2–14.5 %, an increase in the survival rate, as well as an increase in the weight of the eviscerated carcass and an increase in the proportion of the most valuable cuts (breast, thigh, and shank). The highest productivity indicators were recorded in males that received the drug, which confirms its effectiveness as a biotechnological tool for increasing the profitability of turkey meat production.

Keywords: turkey farming, turkeys, bacteriophage preparation, productive indicators, livestock safety

Acknowledgments. The study was carried out as part of the research and development project No. 1023111900029-1-4.3.1-4.3.1-4.3.1.

For citation: Bordyugova S. S., Pavlova A. V., Belyanskaya E. V., Khromova A. V., Omelchenko D. O. Productive efficiency of using a complex bacteriophage preparation in the cultivation of turkeys. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2026; 26 (10): 1951–1958. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1951-1958. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.02.2026, ***date of review:*** 25.05.2026, ***date of acceptance:*** 20.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Индейководство представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся отраслей современного сельского хозяйства, играющую ключевую роль в увеличении объемов производства высококачественного мяса птицы. Мясо индейки относится к диетическим продуктам благодаря высокому содержанию белка, а также отличается особой нежностью, сочностью и насыщенным ароматом. По своим вкусовым и питательным характеристикам оно превосходит куриное мясо, что делает его соответствующим современным тенденциям здорового питания и удовлетворяет растущий потребительский спрос [1–3].

Достижение стабильного производства высококачественного мяса индейки в течение всего года возможно при условии грамотной организации всех этапов: от получения инкубационных яиц и инкубации до выращивания молодняка. Использование научно обоснованных методов кормления и содержания, а также оптимизация технологических процессов позволяют минимизировать затраты кормов, труда и финансов на единицу продукции, обеспечивая равномерный и бесперебойный выход высококачественной продукции [1; 3; 4].

Одной из проблем птицеводства является инфицирование и заболевание молоди птиц, зачастую приводящее к их гибели. Ранее для предотвращения падежа птичьего поголовья использовались антибиотики и различные антимикробные препараты [5–7]. Однако ограничение применения антибиотических стимуляторов роста, вызванное рисками формирования резистентных штаммов бактерий и накопления их остатков в продукции, диктует необходимость поиска новых, безопасных и специфичных биологических средств контроля инфекций [8; 9]. Разработка и внедрение эффективных альтернатив кормовым антибиотикам в фермерском и про-

© Бордюгова С. С., Павлова А. В., Белянская Е. В., Хромова А. В., Омельченко Д. О., 2026

мышленном индейководстве является одной из наиболее значимых задач современной ветеринарной медицины и биотехнологии.

Использование комплексных бактериофаговых препаратов путем выпойки представляет собой высокоперспективное направление [9; 10], актуальность которого обусловлена следующими ключевыми факторами:

– бактериофаги, обладая строгой видовой и штаммовой специфичностью, способны целенаправленно лизировать целевые патогены непосредственно в кишечнике, не нарушая при этом симбионтную микрофлору, в отличие от антибиотиков широкого спектра;

– рост устойчивости микрофлоры птицеводческих хозяйств к традиционным антибактериальным препаратам снижает эффективность терапии и профилактики. Бактериофаги, обладающие иными механизмами действия, остаются эффективными против многих антибиотикорезистентных штаммов, что открывает путь для преодоления кризиса резистентности;

– фаги являются биодеградируемыми агентами, не накапливаются в тканях и органах птицы, не оказывают токсического воздействия на организм и не приводят к загрязнению окружающей среды и конечной продукции. Это позволяет получать продукцию, соответствующую строгим стандартам органического птицеводства и отвечающую запросам потребителей на чистые продукты [11; 12].

Таким образом, научное обоснование эффективности выпойки комплексных бактериофаговых препаратов для повышения сохранности, здоровья и продуктивности индюшат является актуальным исследованием, направленным на разработку научно-практических основ для создания новой, устойчивой и биобезопасной технологии в интенсивном индейководстве.

Цель наших исследований – изучить влияние перорального применения комплексного бактериофагового препарата на ветеринарно-биологические показатели индеек.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование проводили в условиях фермерского хозяйства поселка Фабричный Луганской Народной Республики в течение 20 недель на четырех группах индеек породы Белая широкогрудая по 30 голов в каждой. Группы были сформированы по принципу аналогов с разделением по полу: первая (контрольная) – самки, вторая (контрольная) – самцы. Две опытные группы (самки и самцы) получали в дополнение к основному рациону препарат «Фаговет», который добавляли в питьевую воду в свободном доступе в дозировке: 0,015 мл/гол в возрасте 1–20 суток, 0,02 мл/гол – в 21–30 суток, начиная с 31-го дня – 0,03 мл/гол. Все группы получали полнорационный комбикорм, соответствующий возрастным периодам (ПК-11 СТАРТ – 0–8 недель, ПК-12 РОСТ – 8–17 недель, ПК-13 ФИНИШ с 18-й недели и до убоя). Параметры микроклимата поддерживались в соответствии с зоотехническими нормами.

Методика проведения исследования включала в себя оценку ветеринарно-биологических показателей птицы:

1. *Динамику живой массы* учитывали трижды: на 28-й день (при переводе с клеточного содержания на глубокую подстилку), в 8 недель (завершение фазы интенсивного роста) и в 20 недель (окончание опыта). Массу регистрировали индивидуально для каждой птицы. На основании полученных данных рассчитывали абсолютный прирост (разность между конечной и начальной массой за период); абсолютный прирост за весь период (0–140 суток) – как разницу между массой птицы в конце опыта (140 суток) и ее массой в суточном возрасте; среднесуточный прирост для каждого периода (0–28, 29–56, 57–140 суток) – абсолютный прирост за период, деленный на его продолжительность в днях, относительный прирост (интенсивность роста) – абсолютный прирост за период, отнесенный к начальной массе этого периода и выраженный в процентах.

2. *Сохранность поголовья* определяли ежедневным учетом падежа с обязательным патологоанатомическим вскрытием для установления причин летального исхода.

3. *Потребление корма и конверсия корма*. Учет потребления корма вели ежедневно по группам путем фиксации количества заданного и остаточного корма. В конце эксперимента на основании данных об общем потреблении комбикорма и суммарном приросте живой массы птицы в группе рассчитали конверсию корма как затраты корма (в кг) на 1 кг полученного прироста массы [3; 13; 14].

4. *Анализ мясной продуктивности индеек*. В конце опыта (на 140-е сутки) проводили контрольный убой исследуемой птицы. Определяли два ключевых показателя: убойный выход потрошеной тушки и выход съедобных отрубов в виде доли массы грудной части, бедра и голени от массы охлажденной потрошеной тушки [15; 16].

Результаты (Results)

В ходе эксперимента на основании индивидуального взвешивания, проведенного в ключевые возрастные точки (28 суток, 8 и 20 недель), были получены и рассчитаны показатели роста для четырех групп индеек, представленные в таблице 1.

К 140-му дню опыта самые высокие показатели абсолютного и среднесуточного прироста были зафиксированы в группе самцов, получавших препарат «Фаговет», в контрольной группе самцов данные показатели были ниже на 27,04 % и 26,93 % соответственно. В группах самок наблюдалась аналогичная тенденция: опытные самки превзошли по показателям абсолютного и среднесуточного прироста самок контрольной группы на 10,61 %, и 10,56 % соответственно.

Таблица 1

Динамика живой массы индеек в период опыта

Группа	Прирост		
	Абсолютный	Среднесуточный	Относительный
Период 0–28 дней			
1-я контрольная	754,82 ±2,37	26,95 ±0,84	174,46 ±0,31
2-я контрольная	780,71 ±1,04	27,88 ±0,42	175,43 ±0,52
1-я опытная	787,01 ±0,99	28,11 ±0,71	177,36 ±0,61
2-я опытная	810,28 ±0,86	28,04 ±0,14	176,77 ±0,51
Период 29–56 дней			
1-я контрольная	1 870,34 ±18,62	66,79 ±0,38	110,65 ±0,13
2-я контрольная	2 023,17 ±40,43	72,27 ±0,94	112,87 ±0,22
1-я опытная	2 058,12 ±39,78	73,5 ±1,10	113,63 ±0,31
2-я опытная	2 055,83 ±42,61	73,4 ±0,37	111,86 ±0,24
Период 57–140 дней			
1-я контрольная	7 280,15 ±63,61	108,93 ±1,58	155,4 ±1,11
2-я контрольная	9 556,93 ±49,01	137,85 ±2,08	161,01 ±1,18
1-я опытная	8 171,91 ±51,39	121,79 ±1,54	156,6 ±1,03
2-я опытная	13 794,18 ±50,01	188,69 ±1,71	164,4 ±0,98
Период 0–140 дней			
1-я контрольная	9 099,56 ±31,17	65,35 ±1,38	197,8 ±1,66
2-я контрольная	11 525,47 ±52,14	82,71 ±3,15	198,12 ±2,04
1-я опытная	10 180,2 ±51,87	73,07 ±2,56	198,04 ±2,31
2-я опытная	15 797,07 ±36,11	113,21 ±3,08	198,66 ±1,95

Table 1

Dynamics of live weight of turkeys during the period of experience

Groups	*Growth*		
	Absolute	*Average daily*	*Relative*
Period 0–28 days			
1st control	*754.82 ±2.37*	*26.95 ±0.84*	*174.46 ±0.31*
2nd control	*780.71 ±1.04*	*27.88 ±0.42*	*175.43 ±0.52*
1st experimental	*787.01 ±0.99*	*28.11 ±0.71*	*177.36 ±0.61*
2nd experimental	*810.28 ±0.86*	*28.04 ±0.14*	*176.77 ±0.51*
Period 29–56 days			
1st control	*1 870.34 ±18.62*	*66.79 ±0.38*	*110.65 ±0.13*
2nd control	*2 023.17 ±40.43*	*72.27 ±0.94*	*112.87 ±0.22*
1st experimental	*2 058.12 ±39.78*	*73.5 ±1.10*	*113.63 ±0.31*
2nd experimental	*2 055.83 ±42.61*	*73.4 ±0.37*	*111.86 ±0.24*
Period 57–140 days			
1st control	*7 280.15 ±63.61*	*108.93 ±1.58*	*155.4 ±1.11*
2nd control	*9 556.93 ±49.01*	*137.85 ±2.08*	*161.01 ±1.18*
1st experimental	*8 171.91 ±51.39*	*121.79 ±1.54*	*156.6 ±1.03*
2nd experimental	*13 794.18 ±50.01*	*188.69 ±1.71*	*164.4 ±0.98*
Period 0–140 days			
1st control	*9 099.56 ±31.17*	*65.35 ±1.38*	*197.8 ±1.66*
2nd control	*11 520.47 ±52.14*	*82.71 ±3.15*	*198.12 ±2.04*
1st experimental	*10 180.2 ±51.87*	*73.07 ±2.56*	*198.04 ±2.31*
2nd experimental	*15 797.07 ±36.11*	*113.21 ±3.08*	*198.66 ±1.95*

Относительный прирост в первые периоды (0–28 и 29–56 суток) был выше у опытных групп, что указывает на более эффективное использование корма и лучшее развитие в критичные фазы роста. В заключительном периоде (57–140 суток) различия в относительном приросте между опытными и контрольными группами сглаживались, что соответствует общей биологической закономерности.

Во всех сопоставимых условиях (контроль/опыт) самцы значимо превосходили самок по всем показателям массы и абсолютного прироста на протяжении всего исследования. При этом эффект от применения препарата «Фаговет» был выражен у птиц обоего пола, но в абсолютных цифрах был наиболее заметен у самцов.

Таблица 2

Показатели потребления корма и его конверсия у индеек контрольной и опытной групп

Показатель	Группа			
	1-я контрольная	2-я контрольная	1-я опытная	2-я опытная
Потребление корма на 1 голову за период выращивания, кг	32,57	38,31	31,66	44,72
Абсолютный прирост живой массы за период выращивания, г	9 099,56 ±31,17	11 525,47 ±52,14	10 180,2 ±51,87	15 797,07 ±36,11
Конверсия корма	3,56	3,30	3,1	2,83
По отношению к контролю, %	–	–	–13,2	–14,5

Table 2

Feed consumption and conversion rates for the control and experimental groups of turkeys

Indicator	*Group*			
	1st control	*2nd control*	*1st experimental*	*2nd experimental*
Feed consumption per 1 head during the rearing period, kg	*32.57*	*38.31*	*31.66*	*44.72*
Absolute increase in live weight during the rearing period, g	*9 099.56 ±31.17*	*11 525.47 ±52.14*	*10 180.2 ±51.87*	*15 797.07 ±36.11*
Feed conversion in relation	*3.56*	*3.30*	*3.1*	*2.83*
Compared to control group, %	–	–	*–13.2*	*–14.5*

Экономическая эффективность производства мяса индеек во многом зависит от сохранности молодняка в период выращивания. За время проведения исследований во всех группах была достигнута высокая сохранность поголовья, что явилось следствием соблюдения технологии содержания и поддержания необходимых параметров микроклимата. Зафиксирован незначительный падеж: в первой группе – две особи, во второй – одна, в третьей и четвертой группах падеж отсутствовал. Также из опыта было исключено по причине травм (случайный фактор) по одной особи в первой, третьей и четвертой группах.

Применение комплексного бактериофагового препарата «Фаговет» способствовало улучшению усвоения корма в организме индеек опытной группы, что отражалось на снижении его расхода (таблица 2).

Анализ выявил, что у самцов опытной группы, получавших «Фаговет», зафиксировано наибольшее потребление корма за период выращивания. Однако именно у этой группы отмечена самая высокая эффективность трансформации корма в живую массу, выраженная минимальным коэффициентом конверсии (2,82). Данный показатель был на 14,5 % ниже ($p < 0,05$), чем у самцов контрольной группы, что свидетельствует о существенном положительном влиянии препарата.

Результаты выращивания, отражающие основные производственные показатели мясной продуктивности индеек за весь период опыта (140 суток), представлены в таблице 3.

Применение комплексного бактериофагового препарата «Фаговет» оказало выраженное стимулирующее влияние на рост птицы. Обе опытные группы достоверно превзошли по конечной массе своих контрольных аналогов: самки – на 1080,26 г (10,6 %), а самцы – на 4270,17 г (26,64 %). Абсолютная масса потрошеной тушки закономерно повторяла динамику живой массы, будучи максимальной у самцов опытной группы (11 935,0 г).

Во всех группах наблюдался высокий и сопоставимый убойный выход (74,5–75,3 %). При этом в опытных группах зафиксирована тенденция к его незначительному увеличению (на 0,6–0,8 % относительно своих контролей), что свидетельствует о лучшем развитии съедобных частей тушки.

Применение препарата способствовало не только увеличению массы, но и улучшению товарного состава туши, особенно у самцов: у опытных самцов отмечен максимальный выход наиболее ценной части тушки (грудной части) – 30,9 % от массы тушки, что на 0,7 % выше, чем у контрольных самцов.

Аналогичная положительная тенденция наблюдалась для выхода мякотных частей бедра и голени. У опытных самцов их совокупный выход составил 25,2 % против 24,1 % в контроле.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенный эксперимент наглядно демонстрирует комплексное положительное влияние бактериофагового препарата «Фаговет» на рост, сохранность и мясную продуктивность индеек породы Белая широкогрудая. Полученные данные согласуются с гипотезой о том, что модуляция микробиоты желудочно-кишечного тракта с помощью специфических бактериофагов способствует оптимизации пищеварения и усвоения питательных веществ.

Таблица 3

Производственные показатели индеек по итогам опыта

Показатели	Группы			
	1-я контрольная	2-я контрольная	1-я опытная	2-я опытная
Живая масса в 1 сутки, г	50,34 ±0,68	54,67 ±0,87	50,23 ±0,87	53,24 ±0,88
Живая масса в 140 дней, г	9 150,16 ±54,3	11 580,14 ±57,6	10 230,42 ±63,8	15 850,31 ±57,4
Сохранность поголовья, %	90,0	96,7	96,7	96,7
Масса потрошенной тушки, г	6 816,75 ±38,4	8 654,5 ±51,8	7 682,7 ±51,2	11 935,0 ±53,67
Убойный выход, %	74,5	74,7	75,1	75,3
Грудная часть (филе), г (%)	2 031,4 ±25,5 (29,8)	2 613,9 ±30,5 (30,2)	2 289,4 ±32,13 (29,8)	3 687,9 ±42,1 (30,9)
Бедро (на кости), г (%)	743,0 ±14,2 (10,9)	1 041,8 ±13,4 (11,9)	898,8 ±10,5 (11,7)	1 527,7 ±12,4 (12,8)
Голень (на кости), г (%)	759,6 ±10,5 (11,1)	1 068,0 ±15,1 (12,2)	883,5 ±14,1 (11,5)	1 479,9 ±13,5 (12,4)

Table 3

Production indicators of turkeys based on the results of the experiment

Indicator	*Group*			
	1st control	*2nd control*	*1st experimental*	*2nd experimental*
Live weight at 1 day, g	*50.34 ±0.68*	*54.67 ±0.87*	*50.23 ±0.87*	*53.24 ±0.88*
Live weight at 140 days, g	*9 150.16 ±54.3*	*11 580.14 ±57.6*	*10 230.42 ±63.8*	*15 850.31 ±57.4*
Preservation rate, %	*90.0*	*96.7*	*96.7*	*96.7*
Weight of the eviscerated carcass, g	*6 816.75 ±38.4*	*8 654.5 ±51.8*	*7 682.7 ±51.2*	*11 935.0 ±53.67*
Slaughter yield, %	*74.5*	*74.7*	*75.1*	*75.3*
Chest part (fillet), g (%)	*2 031.4 ±25.5 (29.8)*	*2 613.9 ±30.5 (30.2)*	*2 289.4 ±32.13 (29.8)*	*3 687.9 ±42.1 (30.9)*
Hip (on bone), g (%)	*743.0 ±14.2 (10.9)*	*1 041.8 ±13.4 (11.9)*	*898.8 ±10.5 (11.7)*	*1 527.7 ±12.4 (12.8)*
Leg (on bone), g (%)	*759.6 ±10.5 (11.1)*	*1 068.0 ±15.1 (12.2)*	*883.5 ±14.1 (11.5)*	*1 479.9 ±13.5 (12.4)*

Ключевым доказательством этого тезиса служит динамика абсолютного и среднесуточного приростов живой массы: во все периоды выращивания опытные группы как самцов, так и самок устойчиво превосходили своих контрольных аналогов. Наиболее выраженный эффект наблюдался в финальной фазе откорма (57–140 суток), что указывает на кумулятивное действие препарата и его способность поддерживать высокую интенсивность роста вплоть до убоя. Этот факт имеет первостепенное производственное значение, так как именно на заключительном этапе формируется основная масса товарной продукции.

Улучшение конверсии корма на 13,2 % у самок и 14,5 % у самцов является прямым экономическим подтверждением эффективности препарата. Несмотря на большее общее потребление корма, особенно у самцов опытной группы, существенно более высокий прирост живой массы привел к значительному снижению затрат корма на единицу привеса. Данный результат свидетельствует об оптимизации процессов пищеварения и усвоения питательных веществ под влиянием бактериофагового препарата.

Влияние препарата на конечные качественные показатели продуктивности подтверждается данными контрольного убоя: установили увеличение абсолютной массы тушки, в опытных группах (особенно у самцов) отмечена положительная тенденция к повышению убойного выхода. Наиболее значимым является изменение морфологического состава туши в пользу увеличения доли наиболее ценных отрубов – грудной части, бедра и голени. Увеличение выхода филе у опытных самцов на 0,7 % представляет собой существенное улучшение товарных характеристик, повышающее рентабельность производства.

Библиографический список

1. Европейский опыт повышения рентабельности индейководства // Эффективное животноводство. 2020. № 2 (159). С. 24–25.

2. Чупшева Н. Ю. Современное состояние индейководства // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного аграрного университета. Пенза, 2021. С. 98–101.

3. Шишкина Т. В., Туляков А. А. Оценка индеек кроссов Хайбрид конвертер и Биг-6 по продуктивным качествам // Нива Поволжья. 2024. № 2 (70). DOI: 10.36461/NP.2024.70.2.017.

4. Омельченко Д. О., Павлова А. В. Изучение развития индейководства как отрасли животноводства в России // Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы: сборник материалов III международной научно-практической конференции. Луганск, 2023. С. 68–70.

5. Свергузова С. В., Шайхиев И. Г., Сапронова Ж. А. Анализ возможностей использования пробиотиков для повышения эффективности технологий выращивания индеек // Экономика строительства и природопользования. 2022. № 4 (85). С. 147–155.

6. Liu H., Pan S., Wang Ch. Review of respiratory syndromes in poultry: pathogens, prevention, and control measures // Veterinary Research. 2025. Vol. 56, No. 1. Article number 101. DOI: 10.1186/s13567-025-01506-y.

7. Lencina F. A., Olivero C. R., Zimmermann J. A. Persistence of colistin-resistant Escherichia coli and the mcr-1 gene in the poultry chain, after the colistin ban // Veterinary Research Communications. 2026. Vol. 50, No. 2. Article number 85. DOI: 10.1007/s11259-025-11004-3.

8. Ribeiro S., Mourão J., Novais Â. From farm to fork: Colistin voluntary withdrawal in Portuguese farms reflected in decreasing occurrence of mcr-1-carrying Enterobacteriaceae from chicken meat // Environmental Microbiology. 2021. DOI: 10.1111/1462-2920.15689.

9. Kiparski Ju. V., Sarnino N., Vargas D. Antimicrobial resistance in selected enterobacteriaceae from broilers and their environment: ESBL, AmpC, Carbapenemases, Colistin, and Fluoroquinolone resistance – a systematic review and meta-analysis. *Antibiotics*. 2025. Vol. 14, No. 12. Article number 1268. DOI: 10.3390/antibiotics14121268.

10. Arias C. F., Acosta F. J., Bertocchini F. The coordination of anti-phage immunity mechanisms in bacterial cells // Nature Communications. 2022. Vol. 13, No. 1. DOI: 10.1038/s41467-022-35203-7.

11. Буяров В. С., Червонова И. В., Меднова В. В., Ильичева И. Н. Эффективность применения фитобиотиков в птицеводстве (обзор) // Вестник аграрной науки. 2020. № 3 (84). С. 44–59. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.44.

12. Чехунова Г. С., Татьяничева О. Е., Попова О. А. Применение биологических активных добавок в птицеводстве. Белгород: Белгородский ГАУ, 2025. 257 с.

13. Романенко И. В., Погодаев В. А. Динамика роста и конверсия корма у чистопородных и породно-линейных индеек // Птица и птицепродукты. 2025. № 5. С. 24–27. DOI: 10.30975/2073-4999-2025-27-5-24-27.

14. Шишкина Т. В., Борисов Ю. А. Анализ интенсивности роста цыплят-бройлеров кросса «Росс-308» // Актуальные проблемы ветеринарии и интенсивного животноводства: сборник трудов IV международной научно-практической конференции. Брянск, 2025. С. 184–188.

15. Костомахин Н. М., Пшеничная Е. А., Данильченко И. Е. Влияние кормовой добавки Грандвитам на показатели роста и убойный выход у цыплят-бройлеров // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2025. № 8 (241). С. 43–50. DOI: 10.33920/sel-05-2508-04.

16. Ребезов Я. М., Горелик О. В., Ребезов М. Б. Сравнительная оценка индеек разных кроссов и породных групп по продуктивным качествам // Аграрная наука. 2019. № 6. С. 26–29. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-329-6-26-29.

Об авторах:

Светлана Сергеевна Бордюгова, кандидат ветеринарных наук, доцент, заведующая кафедрой качества и безопасности продукции АПК, Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова, Луганск, Россия; ORCID 0000-0002-3247-8944, AuthorID 904671. *E-mail: bordugova.lana@mail.ru*

Анна Владимировна Павлова, кандидат ветеринарных наук, доцент, заведующая кафедрой заразных болезней, патанатомии и судебной ветеринарии, Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова, Луганск, Россия; ORCID 0009-0000-5099-2667, AuthorID 1178951. *E-mail: 29122006q@mail.ru*

Елена Витальевна Белянская, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры качества и безопасности продукции АПК, Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова, Луганск, Россия; ORCID 0009-0007-6957-0879, AuthorID 1177363. *E-mail: elena.belyanskayae@internet.ru*

Анна Владимировна Хромова, аспирант кафедры заразных болезней, патанатомии и судебной ветеринарии, Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова, Луганск, Россия; ORCID 0009-0006-2743-9023. *E-mail: adv3ntistka99@yandex.com*

Дарья Олеговна Омельченко, аспирант кафедры заразных болезней, патанатомии и судебной ветеринарии, Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова, Луганск, Россия; ORCID 0009-0004-4286-2183, AuthorID 1240162. *E-mail: dasha.omelchenko.99@inbox.ru*

References

1. European experience in increasing the profitability of turkey farming. *Effective Animal Husbandry*. 2020; 2 (159): 24–25. (In Russ.)

2. Chupsheva N. Yu. The current state of turkey breeding. *Collection of articles of the XVI International scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of Penza State Agrarian University*. Penza, 2021. Pp. 98–101. (In Russ.)

3. Shishkina T. V. Evaluation of turkey of hybrid converter and Big-6 crosses by productive qualities. *Niva Povolzhya.* 2024; 2 (70). DOI: 10.36461/NP.2024.70.2.017.

4. Omelchenko D. O., Pavlova A. V. Study of the development of turkey farming as a branch of animal husbandry in Russia. *Integration of education, science, and practice in the agro-industrial complex: problems and prospects: collection of materials of the III International Scientific and Practical Conference.* Lugansk, 2023. Pp. 68–70. (In Russ.)

5. Sverguzova S. V., Shaykhiev I. G., Sapronova Zh. A. Analysis of the possibilities of using probiotics to improve the efficiency of turkey farming technologies. *Economics of Construction and Environmental Management*. 2022; 4 (85): 147–155. (In Russ.)

6. Liu H., Pan S., Wang Ch. Review of respiratory syndromes in poultry: pathogens, prevention, and control measures. *Veterinary Research*. 2025; 56 (1): 101. DOI: 10.1186/s13567-025-01506-y.

7. Lencina F. A., Olivero C. R., Zimmermann J. A. Persistence of colistin-resistant Escherichia coli and the mcr-1 gene in the poultry chain, after the colistin ban. *Veterinary Research Communications*. 2026; 50 (2): 85. DOI: 10.1007/s11259-025-11004-3.

8. Ribeiro S., Mourão J., Novais Â. From farm to fork: Colistin voluntary withdrawal in Portuguese farms reflected in decreasing occurrence of mcr-1-carrying Enterobacteriaceae from chicken meat. *Environmental Microbiology*. 2021. DOI: 10.1111/1462-2920.15689.

9. Kiparski Ju. V., Sarnino N., Vargas D. Antimicrobial resistance in selected enterobacteriaceae from broilers and their environment: ESBL, AmpC, Carbapenemases, Colistin, and Fluoroquinolone resistance – a systematic review and meta-analysis. *Antibiotics*. 2025; 14 (12): 1268. DOI: 10.3390/antibiotics14121268.

10. Arias C. F., Acosta F. J., Bertocchini F. The coordination of anti-phage immunity mechanisms in bacterial cells. *Nature Communications*. 2022; 13 (1). DOI: 10.1038/s41467-022-35203-7.

11. Buyarov V. S., Chervonova I. V., Mednova V. V., Ilyicheva I. N. Efficiency of application of phytobiotics in poultry farming (review). *Bulletin of Agrarian Science.* 2020; 3 (84): 44–59. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.44. (In Russ.)

12. Chekhunova G. S., Tatyanicheva O. E., Popova O. A. *Application of biological active supplements in poultry farming*. Belgorod: Belgorod State Agricultural University, 2025. 257 p. (In Russ.)

13. Romanenko I. V. Growth dynamics and feed conversion in purebred and breed-line turkeys. *Poultry and Poultry Products*. 2025; 5: 24–27. DOI: 10.30975/2073-4999-2025-27-5-24-27. (In Russ.)

14. Shishkina T. V. Analysis of the growth intensity of broiler chicks of the Ross-308 cross. *Actual Problems of Veterinary Medicine and Intensive Livestock Farming: Collection of Papers from the IV International Scientific and Practical Conference*, Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2025. Pp. 184–188. (In Russ.)

15. Kostomakhin N. M., Pshenichnaya E. A., Danilchenko I. E. The effect of the feed supplement grandvitam on growth indicators and slaughter yield in broiler chickens. *Feeding of Farm Animals and Fodder Production*. 2025; 8 (241): 43–50. DOI: 10.33920/sel-05-2508-04. (In Russ.)

16. Rebezov Ya. M., Gorelik O. V., Rebezov M. B. Comparative evaluation of turkeys of different crosses and breed groups by productive qualities. *Agrarian Science*. 2019; 6: 26–29. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-329-6-26-29. (In Russ.)

Authors' information:

Svetlana S. Bordyugova, candidate of veterinary sciences, associate professor, head of the department of quality and safety of agricultural products, Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov, Lugansk, Russia; ORCID 0000-0002-3247-8944, AuthorID 904671. *E-mail: bordugova.lana@mail.ru*

Anna V. Pavlova, candidate of veterinary sciences, associate professor, head of the department of infectious diseases, pathanatomy and forensic veterinary medicine, Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov, Lugansk, Russia; ORCID 0009-0000-5099-2667, AuthorID 1178951. *E-mail: 29122006q@mail.ru*

Elena V. Belyanskaya, candidate of veterinary sciences, associate professor, associate professor of the department of quality and safety of agricultural products, Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov, Lugansk, Russia; ORCID 0009-0007-6957-0879, AuthorID 1177363. *E-mail: elena.belyanskayae@internet.ru*

Anna V. Khromova, postgraduate of the department of infectious diseases, pathanatomy and forensic veterinary medicine, Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov, Lugansk, Russia; ORCID 0009-0006-2743-9023. *E-mail: adv3ntistka99@yandex.com*

Darya O. Omelchenko, postgraduate of the department of infectious diseases, pathanatomy and forensic veterinary medicine, Lugansk State Agrarian University named after K. E. Voroshilov, Lugansk, Russia; ORCID 0009-0004-4286-2183, AuthorID 1240162. *E-mail: dasha.omelchenko.99@inbox.ru*

УДК 637.352
Код ВАК 4.2.4
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1959-1968

Исследование продуктивности коров голштинской породы и качества молока в условиях юга России в зависимости от сезона года

И. Ф. Горлов, Т. А. Антипова, О. В. Кудряшова✉, Е. Ю. Анисимова, Н. И. Мосолова, Е. А. Мосолова
Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия
✉*E-mail: niimmp@mail.ru*

Аннотация. **Цель.** Исследование направлено на анализ сезонных колебаний в продуктивности коров и качестве получаемого от них молока, а также характеристики производимого из него сыра. **Методы.** В исследовании использовались данные зоотехнического учета предприятия (ООО СП «Донское» Волгоградской области), образцы молока, полученные от коров голштинской породы, результаты лабораторного анализа качественных показателей молока и выработанных из него сыров. При проведении исследований применялся комплекс общепринятых, стандартных и модифицированных методик. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с использованием программы Excel пакета Microsoft Office. **Результаты.** Максимальный среднесуточный удой (36,6 кг) был зафиксирован весной, это на 1,4 % выше показателей зимы и лета и на 4,6 % выше осенних значений. Наибольшее содержание жира (3,95 %) наблюдалось в молоке осенью и зимой, тогда как минимальное значение (3,92 %) было отмечено весной. Уровень белка колебался в пределах 3,33–3,34 %, а содержание СОМО (сухого обезжиренного молочного остатка) – 8,76–8,87 % на протяжении всего года. По показателю сычужной свертываемости молоко всех сезонов было отнесено ко II классу. В выработанных образцах сыра содержание жира варьировало от 29,1 % до 29,8 %, белка – от 25,6 % до 26,1 %; влажность составляла 39,0–41,5 %; содержание кальция – 976,0–984,0 мг / 100 г, а фосфора – 521,0–541,0 мг / 100 г. Калорийность сыра в среднем составила 363 ккал / 100 г. По органолептическим и физико-химическим характеристикам все образцы сыра соответствовали требованиям ГОСТ 52686-2023. **Научная новизна.** Впервые в условиях Волгоградской области на голштинской породе коров из крупнейшего в регионе молочного комплекса проанализирована степень зависимости между качеством исходного сырья (молока) и характеристиками готового продукта (сыра).

Ключевые слова: молочное скотоводство, голштинская порода, молоко-сырье, сезонность, органолептические и физико-химические показатели, сыр

Благодарности. Исследования выполнены в рамках гранта РНФ № 22-16-00041-П, ГНУ НИИММП.

Для цитирования: Горлов И. Ф., Антипова Т. А., Кудряшова О. В., Анисимова Е. Ю., Мосолова Н. И., Мосолова Е. А. Исследование продуктивности и качества молока коров в зависимости от сезона года // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1959–1968. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1959-1968.

Дата поступления статьи: 24.03.2026, ***дата рецензирования:*** 25.05.2026, ***дата принятия:*** 05.06.2026.

© Gorlov I. F., Antipova T. A., Kudryashova O. V., Anisimova E. Yu., Mosolova N. I., Mosolova E. A., 2026

The evaluation of dairy performance of Holstein cows and the quality of milk produced in Southern Russia, depending on the season

I. F. Gorlov, T. A. Antipova, O. V. Kudryashova✉, E. Yu. Anisimova, N. I. Mosolova, E. A. Mosolova
Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia
✉*E-mail: niimmp@mail.ru*

Abstract. **Purpose.** The study was dedicated to examining seasonal variations in the productivity of dairy cows and the quality of their milk, as well as the properties of cheese produced. **Methods.** The research was based on data from zootechnical records of the enterprise at the Volgograd region (Limited Liability Company Agricultural Enterprise "Donskoe"), samples of milk obtained from Holstein cows, and the results of laboratory analyses of the quality of both milk and cheese. A comprehensive approach incorporating both conventional and modified methodologies was employed during the investigation. Statistical analysis of the acquired data was conducted using the Excel software suite from the Microsoft Office. **Results.** The maximum average daily milk yield (36.6 kg) was recorded in spring, which is 1.4 % higher than in winter and summer, and 4.6% higher than in autumn. The highest fat content (3.95 %) was revealed in milk in autumn and winter, while the minimum value (3.92 %) was noted in spring. The protein level ranged from 3.33–3.34 %, and the content of SMR (skimmed milk residue) was 8.76–8.87 % throughout the year. According to the indicator of rennet coagulability, milk from all seasons was classified as class II. In the produced cheese samples, the fat content ranged from 29.1 % to 29.8 %, protein – from 25.6 % to 26.1 %; moisture was 39.0–41.5 %; calcium content – 976.0–984.0 mg / 100 g, and phosphorus – 521.0–541.0 mg / 100 g. The average caloric content of the cheese was 363 kkal / 100 g. All cheese samples met the requirements set forth in GOST 52686-2023 based on their organoleptic and physicochemical characteristics. **Scientific novelty.** For the first time in the Volgograd region, the relationship between the quality of raw material (milk) and the characteristics of the final product (cheese), conducted on Holstein cows from the largest dairy complex in the region was analyzed.

Keywords: dairy cattle, Holstein breed, raw milk, seasonality, organoleptic and physicochemical indicators, cheese

Acknowledgements. The research was carried out within the Grant RSF № 22-16-00041-P NIIMMP.

For citation: Gorlov I. F., Antipova T. A., Kudryashova O. V., Anisimova E. Yu., Mosolova N. I., Mosolova E. A. The evaluation of dairy performance of Holstein cows and the quality of milk produced in Southern Russia, depending on the season. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1959–1968. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1959-1968. (In Russ.)

Date of paper submission: 24.03.2026, ***date of review:*** 25.05.2026, ***date of acceptance:*** 05.06.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Приоритетным направлением в модернизации молочного скотоводства Российской Федерации является повышение продуктивных качеств скота и поддержание устойчиво высоких стандартов молочного сырья. Реализация данной задачи в значительной степени обусловливает результативность деятельности профильных агропредприятий. Ключевая роль специалистов агропромышленного комплекса заключается в переработке продукции животноводства для производства высококачественных продуктов питания, необходимых населению [1].

В текущей сельскохозяйственной практике активная селекционная деятельность и внедрение передовых технологических разработок способствуют существенному росту продуктивности животных [2]. Тем не менее обеспечение устойчивости качественных характеристик молочного сырья, зависящих от множества факторов, остается актуальной задачей на сегодняшний день [3; 4]. Показатели молочной продуктивности и качества получаемого сырья, находясь во взаимосвязи, непосредственным образом влияют на наращивание объемов пищевой продукции [5].

На состав и свойства молока оказывают влияние множество факторов, наиболее изученными из которых являются кормление и содержание коров, в меньшей степени – сезонность года, особенно при

© Горлов И. Ф., Антипова Т. А., Кудряшова О. В., Анисимова Е. Ю., Мосолова Н. И., Мосолова Е. А., 2026

использовании круглогодового стойлового содержания и стабильного рациона кормления [6; 7].

Сезонные колебания объемов и качества поставляемого молока приводят к значительной нестабильности, что существенно затрудняет выполнение производственных планов по молочной продукции. Это вынуждает технологический персонал регулярно корректировать производственные процессы, что неизбежно влечет за собой снижение операционной эффективности и рентабельности [8].

Это особенно актуально для отрасти сыроделия, продукция которой относится к наиболее популярным продуктам питания практически всех слоев населения. Поскольку это из самых сложных производств, особенно остро стоит вопрос качества используемого сырья, зависящего не только от тех, кто продуцирует молоко, но и от условий его переработки. Это в первую очередь санитария производства, тщательный входной контроль сырья, контроль технологичности процесса, соблюдение требований к оборудованию. Нельзя не учитывать особенности производства, имеющего более широкий спектр показателей к качеству сырья и изготовляемой продукции [9–12].

Сыры позиционируются как биологически полноценный и легкоусвояемый продукт, и его производство связано с преобразованием всех составных частей молока в менее объемный, обладающий достаточно длительными сроками годности продукт, содержащий все жизненно необходимые компоненты [13]. Особую роль при производстве сыров и достижении требуемых показателей микробиологической безопасности играют заквасочные культуры, участвующие в метаболизме лактозы и продуцировании молочной кислоты и ингибирующие развитие посторонней микрофлоры [14]. Сбалансированность компонентного состава сыра, значительное количество жиров, белков, витаминов и минеральных веществ определяют высокий уровень пищевой ценности готового продукта, высокий спрос потребителей и позволяют удерживать одну из лидирующих позиций в пищевой индустрии [15–17].

Цель работы – исследование продуктивности коров и качества молока в различные сезонные периоды года и их влияния на показатели сыра.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектами исследований являлись молоко, полученное от коров голштинской породы ООО СП «Донское» Волгоградской области, а также выработанный из него сыр. Животные находились на стойловом содержании и стандартном рационе кормления. Исследования проводились в 2025–2026 годах.

Исследования качественных показателей молока и образцов сыра проводились в лаборатории ГНУ НИИММП, а также в других аккредитованных лабораториях. Органолептические и физико-химические показатели молока исследовали по ГОСТ 31449-2013 и ГОСТ 28283-2015; минеральные вещества (кальций и фосфор) – спектрометрическим методом. В опытно-экспериментальных условиях проведены выработки образцов сыра с дальнейшей оценкой их качественных показателей.

Процесс производства состоял из технологических этапов, включающих подготовку смеси с заданным содержанием жира; термическую обработку; охлаждение до требуемой температуры; внесение раствора хлористого кальция, закваски, сычужного фермента и свертывание; обработку образовавшегося сгустка; формование и прессование; посолку; созревание и оценку показателей качества полученного образца. Для заквашивания смеси использовали комплексную заквасочную культуру, включающую: *Lactococcus lactis*, *Lactococcus lactis cremoris*, *Lactococcus lactis diacetylactis*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Streptococcus thermophiles*.

Для получения нормализованной смеси с жирностью 2,1 % использовалось обезжиренное молоко, характеризующееся плотностью 1030 кг/м^3 и кислотностью 18 °Т. Полученную нормализованную смесь подвергали термической обработке при температуре 72 °С в течение 25 с. Далее смесь охлаждали до температуры свертывания 32 °С и вносили хлористый кальций, бактериальную закваску для производства сыров и сычужный фермент. Время свертывания составило 35 минут. Образовавшийся сгусток имел требуемую консистенцию для проведения дальнейшей разрезки. Образовавшуюся в процессе разрезки сыворотку отделяли. Далее проводили тепловую обработку при температуре 38 °С в течение 10 минут, добавляли NaCl для просаливания зерна и вымешивали в течение 30–35 минут. Формование полученного зерна осуществляли насыпью. Время проведения процесса самопрессования составило 2 часа. Посолку проводили в растворе поваренной соли 15-процентной концентрации в течение 24 часов с последующей обсушкой при температуре 10 °С в течение 18 часов. Процесс созревания сыра занял 50 суток с разбивкой в три этапа: 10 суток при температуре 11 °С; 15 суток при температуре 13 °С и 25 суток при температуре 10 °С.

Исследования качественных показателей сыров (массовая доля жира, влаги) проводили по ГОСТ 52686-2023; белка – по ГОСТ Р 54662-2011; аминокислотного состава – по методике М 04-94-2021.

Согласно ГОСТ 33630-2015 «Сыры и сыры плавленые. Методы контроля органолептических показателей», продукт с низкой температурой второго нагревания, характеризуется комплексом показателей, имеющих определенное количество баллов. Так показатель «вкус и запах» имеет 45 баллов; консистенция – 25; цвет – 5; рисунок – 10; внешний вид – 10 баллов.

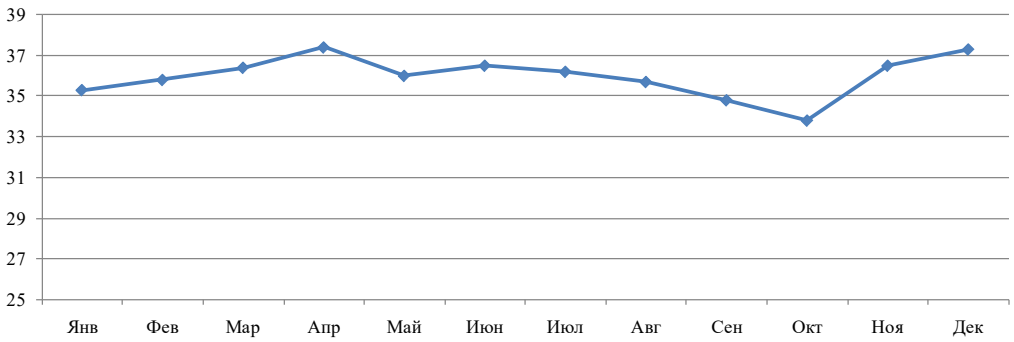


Рис. 1. Суточный удой коров по месяцам года, кг

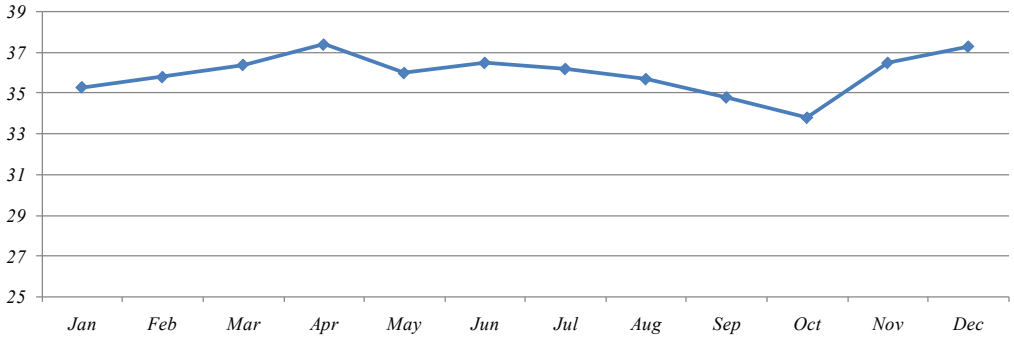


Fig. 1. Average daily milk yield by months, kg

Обработку данных, полученных в исследованиях, проводили с помощью программы «Excel» офисного пакета Microsoft Office («Microsoft», США).

Результаты (Results)

Изучение качественных показателей молока при изготовлении сыров должно базироваться на установленных в отрасли требованиях к сырью. Они характеризуются комплексом физико-химических, органолептических, технологических, гигиенических показателей, объединенных общим термином «сыропригодность».

Для получения продукта высокого качества рекомендуется использовать молоко с высоким содержанием белка (не менее 3,1 %), включая казеин (не менее 2,5 %). Также важно для достижения оптимальных результатов учитывать соотношения белка к СОМО и жира к белку, которые должны находиться в пределах от 0,35 до 0,45 и от 1,1 до 1,25 соответственно.

Качественные показатели молока, находясь в неразрывной связи с продуктивностью животного, подвержены значительным изменениям в течение года, что оказывает существенное влияние на стабильность производства сыров, технологию их получения и показатели готового продукта.

Результаты сравнительных исследований молочной продуктивности и качества молока-сырья коров по сезонам года представлены на рис. 1 и 2.

Анализ полученных данных по продуктивности показывает незначительную изменчивость данного показателя по сезонам года. Наивысшее значение среднесуточного удоя, равное 36,6 кг, установлено в весенний период, это на 1,4 % выше, чем в зимний и летний периоды, и на 4,6 % – чем осенью.

В отношении физико-химических характеристик анализируемые образцы молока также отличались несущественно в зависимости от сезона года. Так, по массовой доле жира наиболее высокие показатели отмечены в молоке осенью и зимой (3,95 %). Минимальное значение (3,92 %) отмечено в весенний период. По содержанию белка колебания показателей находились в пределах 3,33–3,34 %. Содержание сухих обезжиренных веществ, являясь одним из основных критериев фальсификации молока, соответствовало требованиям нормативных документов на сырье и составило 8,76–8,87 % в течение года. Оптимальное соотношение между исследуемыми показателями определяет сыропригодность молока. При этом высокое содержание жира и белка непосредственно влияет на выход готового продукта.

В составе молока осеннего и летнего периодов установлено самое высокое содержание казеина (2,73 и 2,74 %). Количественное преобладание казеиновой фракции в сырье предопределяет его принадлежность для производства высокобелковых продуктов, в частности сыров. Содержание в составе белка сывороточных фракций составляло по периодам года 0,59 (лето), 0,61 (осень), 0,63 (весна), 0,62 % (зима). Сывороточные белки в силу своей высокой дисперсности и гидратации способны замедлять процесс синерезиса сычужного сгустка. Данный факт необходимо учитывать в весенний период переработки молока, применяя более высокие параметры температурной обработки молока.

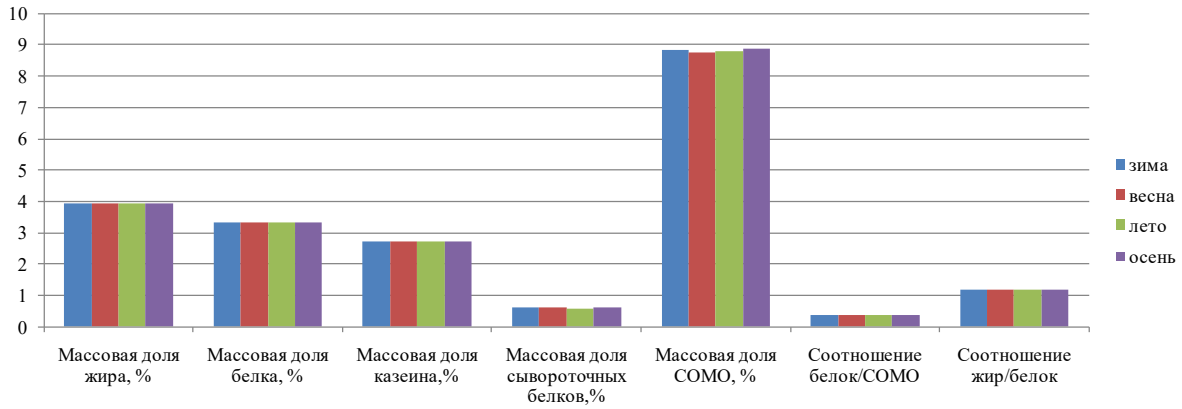


Рис. 2. Качественные показатели молока по сезонам года, %

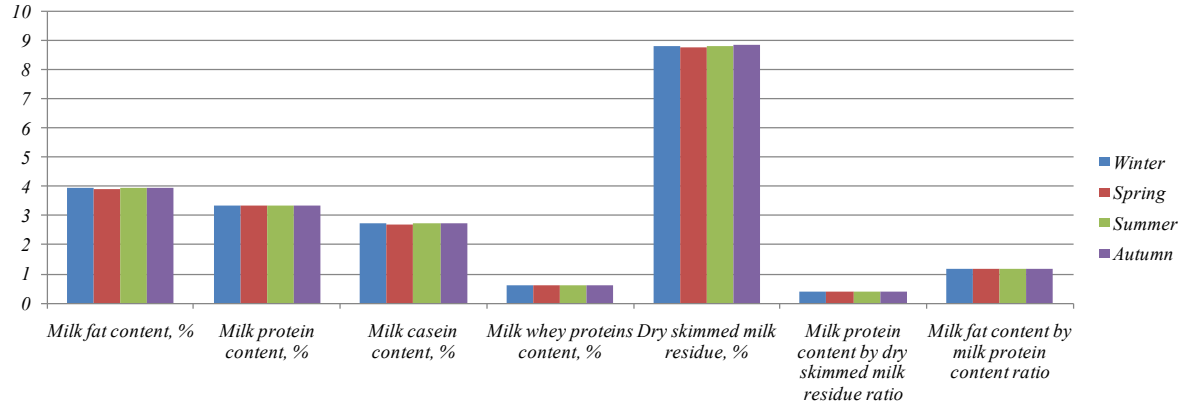


Fig. 2. Milk quality indicators by seasons, %

При анализе минерального состава молока отмечено, что содержание кальция в течение года изменялось несущественно и составляло 132,1–132,8 мг/дм^3. Наиболее низкое его содержание установлено весной, наивысшее (132,8 мг/дм^3) – осенью. Аналогичная ситуация прослеживается и с макроэлементом – фосфором, значения которого в течение года находились в пределах от 521,0 мг / 100 г до 541,0 мг / 100 г. От количества кальция и фосфора зависят солевое равновесие в полидисперсной системе молока и прохождение сычужного свертывания.

Показатели плотности и кислотности являясь основными технологическими характеристиками сырья, определенным образом влияют на качество готового продукта и на технологию процесса производства. От них зависят скорость свертывания молока, режимы тепловой обработки и структурно-механические свойства получаемого сгустка. Эти показатели особенно важны в производстве кисломолочных продуктов и сыров. В наших исследованиях кислотность в течение года находилась на уровне 16,6–17,9 °Т; плотность – 1028,0–1030 кг/м^3.

В тесной связи с данными показателями находится сычужная свертываемость молока, зависящая от содержания в нем казеина, солей кальция и фосфора. Чем оно больше, тем выше скорость свертывания сырья и возможность получения требуемых по размеру и прочности казеиновых мицелл при образовании казеинаткальцийфосфатных мостиков. Согласно полученным результатам, следует отметить прямую зависимость данного показателя от состава молока. По показателю «сычужная свертываемость» молоко всех сезонов относится ко II классу. Наименьшей сычужной свертываемостью (21 мин. 19 с) отличалось молоко летнего периода.

По органолептическим показателям образцы молока во все временные периоды года имели стабильные показатели. Молоко характеризовалось чистым вкусом и запахом, однородной консистенцией и белым цветом с кремовым оттенком. Органолептические показатели молока не только являются характеристикой его качества, но и определенным образом участвуют в формировании показателей готового продукта, предотвращая развитие различных пороков в процессе производства и хранения. Сенсорная оценка молока имеет особое значение при изготовлении ферментированных продуктов, в процессе производства которых отмечаются глубокие изменения всех составных частей. Результаты наших исследований показали, что молоко во все сезонные периоды полностью отвечает нормативным требованиям и пригодно для последующей переработки.

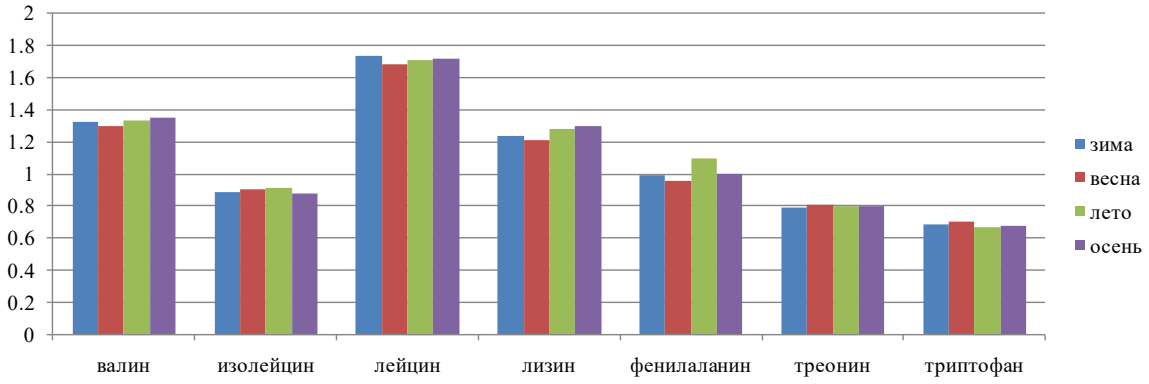


Рис. 3. Содержание незаменимых аминокислот в образцах сыра, г / 100 г

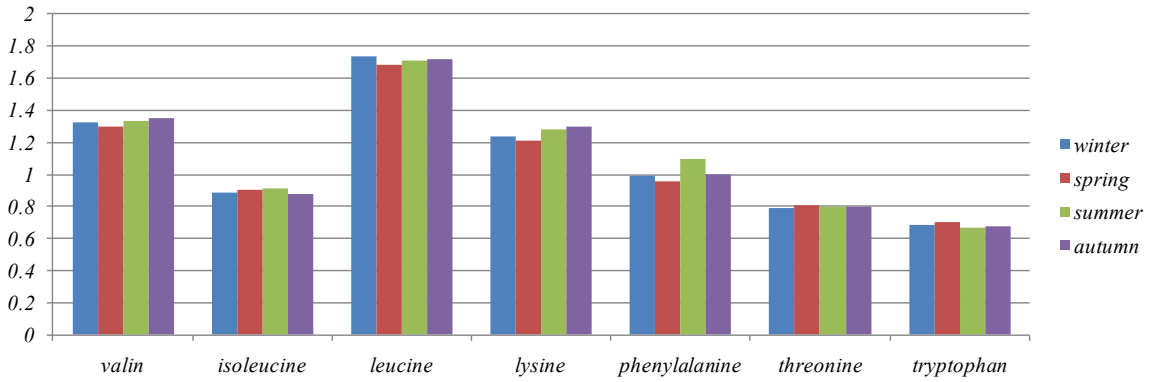


Fig. 3. Content of essential amino acids in cheese samples, g / 100 g

Согласно проведенной оценке, качественные характеристики молока в течение года имели стабильные значения и соответствовали стандарту ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия». Это является следствием высокой культуры производства на предприятии и организации сбалансированного полноценного рациона кормления животных.

Полученные результаты изучения качественных показателей молока-сырья являются свидетельством его применимости для производства сыров.

В опытно-экспериментальных условиях проведены выработки образцов сыра из молока различной сезонности.

При выполнении данного этапа исследований условия и параметры технологического процесса были аналогичными на всех стадиях обработки сырья. Используемая заквасочная культура с оптимальным соотношением в ней микроорганизмов обладает липолитической активностью, способностью не образовывать горькие полипептиды в молоке и сыре и антагонизмом к бактериям группы кишечной палочки. Однако различия в составе и характеристиках используемого сырья определенным образом повлияли на ход выполнения отдельных стадий технологического процесса. Так, при осуществлении процесса сквашивания молока весеннего периода наблюдалось замедление развития молочнокислых бактерий и получение сгустка менее плотной консистенции. Данный факт, возможно, объясняется более высоким содержанием сывороточных белков и наименьшим количеством кальция и фосфора в сырье в данный период года. При дальнейшей обработке зерна недостаточной прочности несформировавшаяся структура претерпевает изменения, в результате которых происходит его разбивка и образуется так называемая «сырная пыль». Это, в свою очередь, привело к незначительным потерям жира и белка с отделяемой сывороткой. Установленные негативные проявления в технологической цепочке производства образца сыра способствовали снижению общего восприятия готового продукта, обладающего более низкими показателями при его оценке.

В полученных образцах продукта определяли органолептические и физико-химические показатели.

Для большинства выработанных образцов сыра были характерны выраженный вкус и запах, в меру пластичная консистенция, наличие характерных глазков, равномерный по всей поверхности цвет. Самую высокую оценку получили образцы сыра, выработанного из молока летнего периода (96 баллов), в том числе вкус и запах – 43, консистенция – 24, рисунок – 9,5, цвет – 4,8 балла. Сыры, выработанные из молока весеннего и зимнего периода, характеризовались менее выраженным вкусом и запахом и получили, по мнению дегустаторов, 41 балл за данный показатель и 22 балла – за показатель «консистенция».

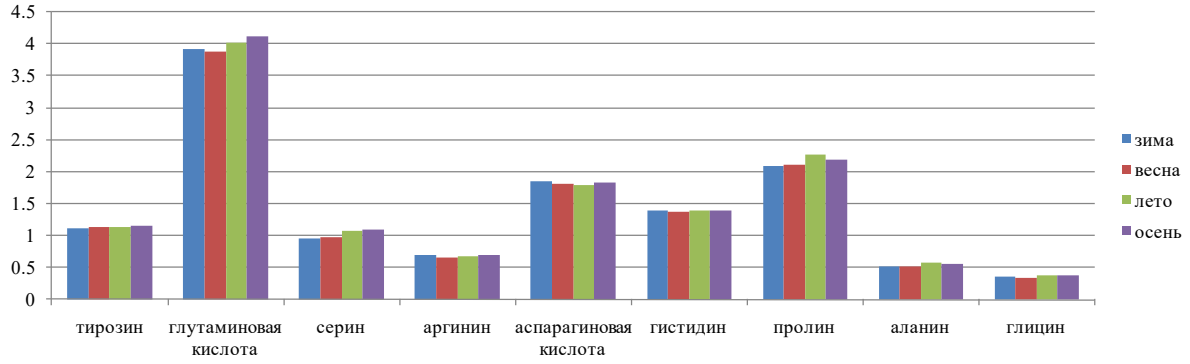


Рис. 4. Содержание заменимых аминокислот в образцах сыра, г / 100 г

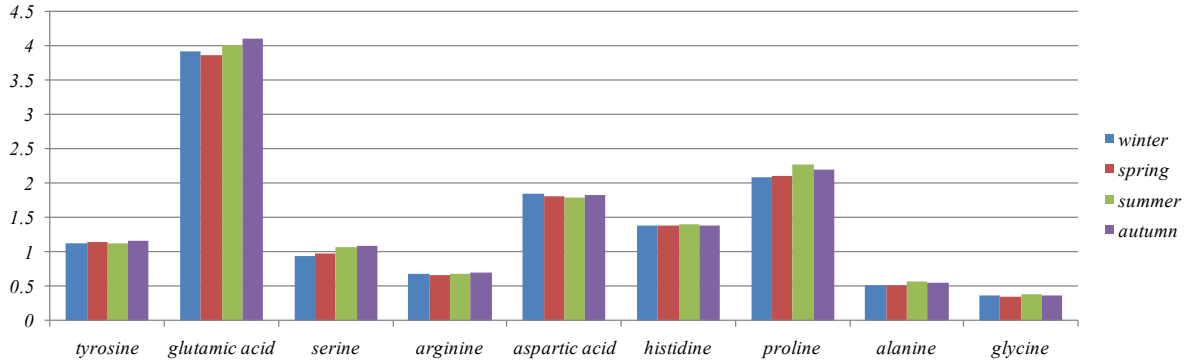


Fig. 4. Content of replaceable amino acids in cheese samples, g / 100 g

Органолептические показатели сформированы в процессе созревания сыра под действием микробных липаз с образованием таких летучих жирных кислот, как масляная, каприловая, капроновая, придающих продукту специфический сырный аромат и вкус. Незначительный кисловатый привкус обусловлен присутствием уксусной кислоты, что характерно для сыров с низкой температурой второго нагревания. Наличие мелких глазков в составе рисунка сыра обусловлено развитием ароматообразующих молочнокислых бактерий. Светло-желтый цвет продукта связан с высокой концентраций молочного жира в его составе.

Пищевая ценность сыра характеризуется содержанием жира и белка, а также присутствием минеральных солей, водо- и жирорастворимых витаминов. В выработанных образцах сыра содержание жира и белка находились в пределах 29,1–29,8 % и 25,6–26,1 % соответственно; массовая доля влаги была на уровне 39,0–41,5 %. Массовые доли кальция и фосфора в образцах сыра колебались от 976,0 мг / 100 г до 984,0 мг / 100 г и от 521,0 мг / 100 г до 541,0 мг / 100 г соответственно. Наиболее низкие показатели массовой доли жира и белка (29,1 % и 25,6 %), а также кальция и фосфора (976,0 мг / 100 г и 521,0 мг / 100 г) установлены в образцах сыра, выработанного из молока зимнего и весеннего периодов года. Калорийность сыра довольно высока и составляет в среднем 363 ккал / 100 г, что объясняется его насыщенностью жирами и белками.

Формирование структуры сыра происходит под действием двух взаимосвязанных факторов: повышения уровня кислотности и ферментативного гидролиза белков. Образующиеся в результате данного процесса аминокислоты являются ключевыми компонентами, определяющими вкусоароматический профиль сыра. Для его оценки проведены исследования аминокислотного состава образцов сыра. Результаты представлены на рис. 3 и 4.

При анализе полученных данных следует отметить, что изменчивость показателей аминокислотного состава незначительна по периодам года. Наиболее стабильными являлись значения таких аминокислот как изолейцин, треонин, гистидин, триптофан, изменения которых в течение года составили не более 2,8 %. Более заметным изменениям были подвержены фенилаланин, глутаминовая кислота, аланин и пролин. Самые низкие значения аминокислот (особенно аргинина, лейцина, валина и лизина) установлены в сырах весеннего периода, что определенным образом повлияло на процесс сквашивания молочной смеси и снижение вкусовых характеристик готового продукта. В сырах летнего периода преобладали глицин, аланин, пролин, фенилаланин и изолейцин, подчеркивающие выраженность вкуса, что положительно сказалось на органолептических показателях готового продукта. Общая сумма аминокислот в готовом продукте в течение года колебалась от 24,0 г / 100 г до 25,6 г / 100 г.

По органолептическим и физико-химическим показателям выработанные образцы сыра соответствовали требованиям ГОСТ 52686-2023 «Сыры. Общие технические условия».

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Исследования продуктивности и качественных показателей молока в зависимости от сезона года показали их вариабельность в течение года. Наибольшей изменчивостью обладал показатель среднесуточного удоя, диапазон колебания которого составил 35,0–36,6 кг. К числу относительно стабильных показателей следует отнести содержание жира, белка и СОМО, различия в значениях которых составили около 0,07 %. Содержание кальция и фосфора в течение года изменялось несущественно и составляло 132,1–132,8 мг/дм^3 и 91,5–93,4 мг/дм^3 соответственно. Наиболее низкое их содержание установлено весной, наивысшее – осенью. От количества кальция и фосфора зависят солевое равновесие в полидисперсной системе молока и процесс сычужного свертывания. Основные технологические параметры сырья, определяющие скорость свертывания молока, режимы тепловой обработки и структурно-механические свойства получаемого сгустка, кислотность и плотность, находились в пределах установленных значений и соответствовали 16,6–17,9 °Т и 1028,0–1030 кг/м^3 соответственно. По сычужной свертываемости все образцы молока отнесены ко II классу вне зависимости от сезонности.

Выработанные образцы сыра характеризовались следующими показателями: содержание жира и белка – 29,1–29,8 % и 25,6–26,1 % соответственно; массовая доля влаги – 39,0–41,5 %. Массовые доли кальция и фосфора – 976,0–984,0 мг / 100 г; 521,0–541,0 мг / 100 г соответственно.

Анализ аминокислотного состава показал незначительную изменчивость по периодам года. Наиболее стабильными являлись значения таких аминокислот, как изолейцин, треонин, гистидин, триптофан, изменения которых в течение года составили не более 2,8 %. Большим изменениям были подвержены фенилаланин, глутаминовая кислота, аланин и пролин. Самые низкие значения аминокислот установлены в сырах весеннего периода, особенно аргинина, лейцина, валина и лизина, что определенным образом повлияло на процесс сквашивания молочной смеси и снижение вкусовых характеристик готового продукта. В сырах летнего периода преобладали глицин, аланин, пролин, фенилаланин и изолейцин, что положительно сказалось на органолептических показателях готового продукта. Общая сумма аминокислот в готовом продукте в течение года колебалась от 24,0 г / 100 г до 25,6 г / 100 г.

По органолептическим показателям образцы сыра характеризовались выраженным вкусом и запахом, в меру пластичной консистенцией. Наивысший балл получили образцы сыра, выработанного из молока летнего периода: 96 баллов, в том числе вкус и запах – 43 балла.

Оптимальные значения показателей пищевой ценности молока позволили получить стандартный по составу и без пороков готовый продукт (сыр), характеризующийся высокими физико-химическими и органолептическими параметрами, что свидетельствует о его биологической полноценности как пищевого продукта. В условиях индустриальной технологии производства пищевых продуктов стабильность показателей используемого молока позволяет минимизировать влияние сезонности, что важно для планирования заготовок сырья и организации стабильной работы предприятия.

Библиографический список

1. Холодова М. А., Холодов О. А. Перспективы развития отечественной отрасли молочного животноводства: прогнозы и тренды // Вестник Балтийского федерального университета имени И. Канта. 2020. № 1. С. 30–42.

2. Ryumkina I. N., Aleschenko V. V., Aleschenko O. A., Rudoy E. V., Petukhova M. S., Ryumkin S. V. Agro-industrial and fishery complex of the Russian Far East: data on investment projects and transport connectivity // Data in Brief. 2022. Vol. 44. Article number 108522. DOI: 10.1016/j.dib.2022.108522.

3. Дубровицкий А. Р., Козубов А. С. Взаимосвязь показателей молочной продуктивности с породностью крупного рогатого скота // Научный журнал КубГАУ. 2022. Т. 184, № 10. DOI: 10.21515/1990-4665-184-007.

4. Van De Grift D., Kim E., Yang S. M., Thibodeau A., Cruickshank J., Goddik L., Park S. H. Investigation of seasonal microbiome changes in raw milk between conventional and organic farming practices // Journal of Dairy Science. 2025. Vol. 108, No. 12: 13165–13178. DOI: 10.3168/jds.2025-26743.

5. Зимняков В. М., Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Зимняков А. М. Состояние, проблемы и перспективы производства молока в России // Техника и технологии в животноводстве. 2023. № 49. С. 4–10. DOI: 10.22314/27132064-2023-1-4.

6. Горбова Н. А. Динамика изменения качества молока в зависимости от сезона года // Научный лидер. 2025. № 24 (225). С. 149–151.

7. Kocsis R., Süle J., Nagy P., Gál J., Tardy E., Császár G., Rácz B. Annual and seasonal trends in cow's milk quality determined by FT-MIR spectroscopy in Hungary between 2011 and 2020 // Acta Veterinaria Hungarica. 2022. Vol. 70, No. 3. Pp. 207–214. DOI: 10.1556/004.2022.00019.

8. Долгошева Е. В., Романова Т. Н., Коростелева Л. А., Баймишев Р. Х. Влияние сезона года на технологические свойства молока и качество сладкосливочного масла // Пищевая промышленность. 2021. № 4. С. 12–15. DOI: 10.24412/0235-2486-2021-4-0034.

9. Малышкина В. М. Качество молока, как один из инструментов повышения конкурентоспособности предприятий молочной промышленности // Экономический вектор. 2022. № 3 (30). С. 57–61. DOI: 10.36807/2411-7269-2022-3-30-57-61.

10. Витушкина М. А., Дулепова М. А. Сыропригодность молока при производстве сыров // Вестник науки. 2020. Т. 5, № 8. С. 59–63.

11. Панасенко С. В., Сурай Н. М., Таточенко А. Л., Родинова Н. П., Остроухов В. М. Устойчивая сырьевая база как фактор конкурентоспособности предприятий сыроделия // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 4. С. 706–717. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2400.

12. Сурай Н. М., Черкасский А. И., Таточенко А. Л., Теплая Н. А., Корнева Г. В., Терехова А. А. «Сырная проблема»: попытка объективного количественного анализа в региональном аспекте // Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 54, № 2. С. 226–243. DOI: 10.21603/2074-9414-2025-2-2568.

13. Лепилкина О. В., Григорьева А. И. Ферментативный протеолиз при преобразовании молока в сыр // Пищевые системы. 2023. № 6 (1). 36–45. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-36-45.

14. Сорокина Н. П., Кучеренко И. В., Бруцкая А. Л. Лактобациллы как дополнительные культуры в сыроделии // Пищевые системы. 2024. № 7 (3). С. 410–419. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-3-410-419.

15. Бережная Е. А. Рынок молока и молочной продукции // Вестник науки. 2021. Т. 3, № 1. С. 364–68.

16. Зубкова А. А. Пищевая ценность сыра // Актуальные исследования. 2023. № 5 (135). С. 36–38.

17. Панасенко С. В., Таточенко А. Л., Сурай Н. М., Терехова А. А., Белова Ю. Н. Рациональные нормы потребления сыра в аспекте долголетия // Сыроделие и маслоделие. 2022. № 3. С. 42–45. DOI: 10.31515/2073-418-2022-3-42-45.

Об авторах:

Иван Федорович Горлов, доктор сельскохозяйственных наук, академик Российской академии наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия; ORCID 0000-0002-8683-8159, AuthorID 581959. *E-mail: niimmp@mail.ru*

Татьяна Алексеевна Антипова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия; ORCID 0000-0002-0365-4806, AuthorID 260967. *E-mail: niimmp@mail.ru*

Ольга Владимировна Кудряшова, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия; ORCID 0000-0002-6634-3685, AuthorID 894372. *E-mail: niimmp@mail.ru*

Елена Юрьевна Анисимова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия; ORCID 0000-0002-7508-3897, AuthorID 631821. *E-mail: niimmp@mail.ru*

Наталья Ивановна Мосолова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия; ORCID 0000-0001-6559-6595, AuthorID 388579. *E-mail: niimmp@mail.ru*

Елизавета Александровна Мосолова, лаборант-исследователь, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия, ORCID 0009-0003-3898-4439, AuthorID 1259093. *E-mail: niimmp@mail.ru*

References

1. Kholodova M. A., Kholodov O. A. The development of dairy farming: Forecasts and trends. *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Humanities and Social Sciences*. 2020; 1: 30–42. (In Russ.)

2. Ryumkina I. N., Aleschenko V. V., Aleschenko O. A., Rudoy E. V., Petukhova M. S., Ryumkin S. V. Agro-industrial and fishery complex of the Russian Far East: Data on investment projects and transport connectivity. *Data in Brief*. 2022; 44: 108522. DOI: 10.1016/j.dib.2022.108522.

3. Dubrovitsky A. R., Kozubov A. S. Relationship of dairy productivity indicators with cattle breed. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2022; 184 (10). DOI: 10.21515/1990-4665-184-007. (In Russ.)

4. Van De Grift D., Kim E., Yang S. M., Thibodeau A., Cruickshank J., Goddik L., Park S. H. Investigation of seasonal microbiome changes in raw milk between conventional and organic farming practices. *Journal of Dairy Science*. 2025; 108 (12): 13165–13178. DOI: 10.3168/jds.2025-26743.

5. Zimnyakov V. M., Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Zimnyakov A. M. The state, problems and prospects of milk production in Russia. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2023; 49: 4–10. DOI: 10.22314/27132064-2023-1-4. (In Russ.)

6. Gorbova N. Dynamics of milk quality changes depending on the season of the year. *Scientific Leader*. 2025; 24 (225): 149–151. (In Russ.)

7. Kocsis R., Süle J., Nagy P., Gál J., Tardy E., Császár G., Rácz B. Annual and seasonal trends in cow's milk quality determined by FT-MIR spectroscopy in Hungary between 2011 and 2020. *Acta Veterinaria Hungarica*. 2022; 70 (3): 207–214. DOI: 10.1556/004.2022.00019.

8. Dolgosheva E. V., Romanova T. N., Korosteleva L. A., Baimishev R. H. Influence of the season on the technological properties of milk and quality of sweet-cream butter. *Food Industry*. 2021; 4: 12–15. DOI: 10.24412/0235-2486-2021-4-0034. (In Russ.)

9. Malyshkina V. M. Using milk quality as a competitive advantage for companies in the dairy industry. *Economic Vector*. 2022; 3 (30): 57–61. DOI: 10.36807/2411-7269-2022-3-30-57-61. (In Russ.)

10. Vitushkina M. A., Dulepova M. A. The cheese suitability of milk in cheese production. *Science Bulletin*. 2020; 5-8 (29): 59–63. (In Russ.)

11. Panasenko S. V., Suray N. M., Tatochenko A. L., Rodinova N. P., Ostrouhov V. M. Sustainable raw material base as a factor of competitiveness of cheese-making enterprises. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022; 52 (4): 706–717. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2400. (In Russ.)

12. Suray N. M., Cherkassky A. I., Tatochenko A. L., Teplaya N. A., Korneva G. V., Terekhova A. A. "The cheese issue": an attempt at an objective quantitative analysis in the regional perspective. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025; 54 (2): 226–243. DOI: 10.21603/2074-9414-2025-2-2568. (In Russ.)

13. Lepilkina O. V., Grigoryeva A. I. Enzymatic proteolysis during the conversion of milk into cheese. *Food Systems*. 2023; 6 (1): 36–45. DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-1-36-45. (In Russ.)

14. Sorokina N. P., Kucherenko I. V., Brutskaya A. L. Lactobacilli as additional cultures in cheese making. *Food Systems*. 2024; 7 (3): 410–419. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-3-410-419. (In Russ.)

15. Berezhnaya E. A. The market of milk and dairy products. *Science Bulletin*. 2021; 3-1 (34): 364–368. (In Russ.)

16. Zubkova A. A. Nutritional value of cheese. *Current Research*. 2023; 5 (135): 36–38. (In Russ.)

17. Panasenko S. V., Tatochenko A. L., Suray N. M., Terekhova A. A., Belova Y. N. Rational norms of cheese consumption in the aspect of longevity. *Cheese- and Buttermaking*. 2022; 3: 42–45. DOI: 10.31515/2073-418-2022-3-42-45. (In Russ.)

Authors' information:

Ivan F. Gorlov, doctor of agricultural sciences, academician of the russian academy of sciences; chief researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia; ORCID 0000-0002-8683-8159, AuthorID 581959. *E-mail: niimmp@mail.ru.*

Tatyana A. Antipova, doctor of biological sciences, chief researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia; ORCID 0000-0002-0365-4806, AuthorID 260967. *E-mail: niimmp@mail.ru*

Olga V. Kudryashova, candidate of biological sciences, researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia; ORCID 0000-0002-6634-3685, AuthorID 894372. *E-mail: niimmp@mail.ru*

Elena Yu. Anisimova, candidate of biological sciences, leading researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia; ORCID 0000-0002-7508-3897, AuthorID 631821. *E-mail: niimmp@mail.ru*

Natalya I. Mosolova, doctor of biological sciences, chief researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia; ORCID 0000-0001-6559-6595, AuthorID 388579. *E-mail: niimmp@mail.ru*

Elizaveta A. Mosolova, laboratory researcher, Volga Region Research Institute of Manufacture and Processing of Meat-and-Milk Production, Volgograd, Russia; ORCID 0009-0003-3898-4439, AuthorID 1259093. *E-mail: niimmp@mail.ru*

УДК 619.2:612.015-616.07
Код ВАК 4.2.1
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1969-1978

Применение мочевых тест-полосок в скрининг-диагностике функционального состояния крупного рогатого скота

Н. П. Здюмаева[1]✉, **Н. М. Виноградова**[2]
[1] Костромская государственная сельскохозяйственная академия, п. Караваево, Костромская область, Россия
[2] ООО «Шуваловское молоко», п. Шувалово, Костромская область, Россия
✉*E-mail: ztb_znp@mail.ru*

Аннотация. **Цель** исследования – определение эффективности применения многофункциональных мочевых тест-полосок для скрининговой оценки функционального состояния высокопродуктивных коров в условиях промышленного животноводческого комплекса. **Методы.** Исследование проведено на клинически здоровых коровах (2–3-й лактации) трех технологических групп: новотельные, в середине лактации и сухостойные. Пробы мочи отбирались неинвазивно в утренние часы. Анализ проводился с помощью полифункциональных тест-полосок URIT 11V (Китай) для визуального полуколичественного определения 11 показателей (лейкоциты, кетоны, нитриты, уробилиноген, билирубин, белок, глюкоза, удельный вес, кровь (по продуктам лизиса эритроцитов), pH, аскорбиновая кислота). Статистическая обработка данных выполнена с использованием непараметрических критериев (тесты Краскела – Уоллиса и Манна – Уитни) в программе Statistica 6.0. **Научная новизна.** Впервые комплексно оценена эффективность применения полифункциональных мочевых тест-полосок для скрининговой диагностики функционального состояния высокопродуктивных коров. Установлены специфические для каждой физиологической группы особенности мочевого профиля, выявлены ограничения метода, связанные с физиологией жвачных, что позволяет усовершенствовать систему раннего выявления метаболических патологий в молочном скотоводстве. **Результаты.** В моче всех групп животных отсутствовали глюкоза, нитриты и лейкоциты, что с большой долей вероятности позволяет исключить ряд патологий (сахарный диабет, значительную бактериурию, активный воспалительный процесс). Протеинурия разной степени выраженности выявлена у 40 % животных, причем более высокие показатели белка отмечены у коров в середине лактации и сухостойных. Установлено достоверное различие в относительной плотности мочи между всеми группами. Реакция мочи в основном была щелочной, однако у новотельных коров значения pH были достоверно ниже, а у 6 из них была зафиксирована кислая реакция. Наиболее важным результатом стало выявление кетонурии у значительной части новотельных коров, что свидетельствует об отрицательном энергетическом балансе. Наличие билирубина в моче этой же группы может указывать на развитие сопутствующих осложнений со стороны печени.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, скрининг, моча, тест-полоски, метаболические нарушения, кетоз, протеинурия, pH мочи

Для цитирования: Здюмаева Н. П., Виноградова Н. М. Применение мочевых тест-полосок в скрининг-диагностике функционального состояния крупного рогатого скота // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1969–1978. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1969-1978.

Дата поступления статьи: 16.01.2026, ***дата рецензирования:*** 08.07.2026, ***дата принятия:*** 31.08.2026.

© Zdyumaeva N. P., Vinogradova N. M., 2026

The use of urine test strips in screening diagnostics of the functional state of cattle

N. P. Zdyumaeva[1]✉, **N. M. Vinogradova**[2]
[1] Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo settlement, Kostroma region, Russia
[2] Shuvalovskoe moloko LLC, Shuvalovo settlement, Kostroma region, Russia
E-mail: ztb_znp@mail.ru

Abstract. **The purpose** of the study was to determine the effectiveness of multifunctional urine test strips for screening the functional state of highly productive cows in an industrial livestock complex. **Methods.** The study was conducted on clinically healthy cows (2–3 lactations) of three technological groups: freshly calved, mid-lactation, and dry. Urine samples were collected non-invasively in the morning. The analysis was carried out using multifunctional test strips URIT 11V (China) for visual semi-quantitative determination of 11 parameters (leukocytes, ketones, nitrites, urobilinogen, bilirubin, protein, glucose, specific gravity, blood (based on erythrocyte lysis products), pH, ascorbic acid). Statistical data processing was performed using nonparametric criteria (Kruskal – Wallis and Mann – Whitney) in the Statistica 6.0 program. **Scientific novelty**. For the first time, the effectiveness of multifunctional urine test strips for screening the functional status of high-yielding cows was comprehensively assessed. Specific urinary profile characteristics for each physiological group were identified, and limitations of the method related to ruminant physiology were revealed, allowing for improved early detection of metabolic pathologies in dairy cattle. **Results.** Glucose, nitrites, and leukocytes were absent from the urine of all animal groups, which allows for the high probability of ruling out a number of pathologies (diabetes mellitus, significant bacteriuria, and active inflammatory processes). Proteinuria of varying severity was detected in 40 % of animals, with higher protein levels noted in mid-lactation and dry cows. A significant difference in the relative density of urine was found between all groups. Urine reaction was generally alkaline, however, fresh cows had significantly lower pH values, and 6 of them had an acidic reaction. The most significant result was the detection of ketonuria in a significant proportion of fresh cows, indicating a negative energy balance. The presence of bilirubin in the urine of this same group may indicate the development of concomitant liver complications.

Keywords: cattle, screening, urine, test strips, metabolic disorders, ketosis, proteinuria, urine pH

For citation: Zdyumaeva N. P., Vinogradova N. M. The use of urine test strips in screening diagnostics of the functional state of cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1969–1978. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1969-1978. (In Russ.)

Date of paper submission: 16.01.2026, ***date of review:*** 08.07.2026, ***date of acceptance:*** 31.08.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Известно, что в условиях интенсификации молочного скотоводства нагрузка на организм высокопродуктивных коров достигает пределов физиологической адаптации. Критически уязвимым при этом является переходный (транзитный) период, когда из-за резкой смены гормонального и метаболического статуса и начала лактации на фоне отрицательного энергетического баланса могут стремительно развиваться метаболические нарушения: кетоз, жировая дистрофия печени, ацидоз. Эти состояния часто протекают субклинически, не имеют явных внешних признаков, но наносят колоссальный экономический ущерб за счет снижения продуктивности, ухудшения воспроизводительной функции, преждевременной выбраковки и затрат на лечение запущенных форм. В этой связи необходимым элементом экономически эффективного молочного скотоводства на сегодняшний день является проведение ветеринарных мероприятий, направленных на профилактику и раннее выявление патологий высокопродуктивных коров. Своевременно принятые меры помогают снизить затраты на лечение и потери молока, увеличить продолжительность продуктивного использования животных [1–3].

Традиционные методы лабораторной диагностики, такие как биохимический анализ крови, являются высокоинформативными, но требуют забора венозной крови, временных и финансовых затрат на транспортировку и проведение анализа в специализированной лаборатории, что затрудняет их использование для массового регулярного скрининга всего поголовья [4; 5]. Таким образом, возникает острая необходимость в доступном, быстром и достаточно точном инструменте для доклинической диагностики, который мог бы применяться непосредственно на производстве персоналом фермы.

В этом плане особого внимании заслуживает анализ мочи – важный диагностический инстру-

© Здюмаева Н. П., Виноградова Н. М., 2026

мент в ветеринарии, позволяющий оценить состояние здоровья животного, выявить нарушения в работе ряда внутренних органов и обменных процессах [6]. В практике молочных комплексов уже давно нашли применение отдельные экспресс-тесты, такие как определение pH и кетоновых тел, которые служат качественными скрининговыми маркерами метаболического статуса. Основными преимуществами анализа мочи традиционно считаются возможность неинвазивного отбора проб, его оперативность и низкая стоимость.

Новый аспект в исследованиях мочи животных связан с широким внедрением в ветеринарную практику усовершенствованных и адаптированных многофункциональных тест-полосок, позволяющих получить полуколичественные результаты анализа основных биохимических показателей, относительной плотности мочи, а также отдельных клеточных элементов по продуктам их лизиса одновременно [7]. Применение таких полосок основано на принципах метода «сухой химии», а именно цветных реакциях, протекающих при взаимодействии химических веществ, которыми пропитаны подушечки особых реагентных зон полосок, с присутствующими в моче веществами.

Однако, несмотря на очевидную доступность в рутинной работе, мочевые тест-полоски на сегодняшний день редко применяются для анализа мочи продуктивных животных. В литературе имеются лишь немногочисленные описания результатов такого рода исследований [8]. Для их успешного внедрения в практику промышленных комплексов необходимы научно обоснованные данные об информативности и, что особенно важно, о специфических ограничениях интерпретации результатов у жвачных животных, чья моча в норме имеет щелочную реакцию, способную искажать отдельные показатели [9]. Проведение подобных прикладных исследований в целом является насущной задачей, решение которой позволит осуществить постепенный переход к современной наукоемкой системе управления здоровьем животных, основанной на оценке рисков и профилактике.

Целью данной работы стало определение эффективности использования мочевых тест-полосок в ходе скрининга физиологического состояния высокопродуктивных коров в условиях животноводческого предприятия.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование проводилось в условиях крупного животноводческого комплекса с беспривязной технологией содержания животных ООО «Шуваловское молоко» Костромской области. Рацион всех технологических групп был сбалансирован в соответствии с физиологическим статусом и продуктивностью и контролировался зоотехнической службой предприятия.

Для исследования методом случайной выборки были отобраны клинически здоровые коровы голштинской породы 2–3-й лактации. Критериями включения являлись отсутствие лечения в течение предыдущих четырех недель, удовлетворительные показатели общего клинического осмотра (температура тела, состояние слизистых оболочек, руминация, аппетит), а также отсутствие диагностированных хронических заболеваний в анамнезе. Всего в исследование было включено 48 животных, разделенных на три технологические группы в соответствии с физиологическим состоянием:

1 – группа новотельных коров (n = 21) – животные в периоде 1–3 недель после отела. Данный интервал выбран как пиковый для развития ранних послеродовых метаболических расстройств.

2 – группа коров в середине лактации (в нашем исследовании животные на 4–5-м месяце лактации) (n = 11), характеризующиеся стабилизацией обменных процессов.

3 – группа сухостойных коров (n = 16) – животные в период за 1–3 недели до отела, находящиеся в фазе активной подготовки к следующей лактации.

Забор мочи проводили в утренние часы до раздачи корма с целью минимизации влияния алиментарного фактора на биохимический состав мочи. Для получения образца применяли легкую стимуляцию мочеиспускания путем массажа промежности. Среднюю порцию мочи собирали в стерильные одноразовые контейнеры с крышкой непосредственно в момент мочеиспускания, избегая контаминации частицами подстилки или выделениями из влагалища. Пробы анализировали в течение 30 минут после сбора.

Для экспресс-анализа использовали полифункциональные реагентные тест-полоски URIT 11V (URIT Medical Electronic Co., Ltd., Китай), предназначенные для визуального полуколичественного определения 11 показателей: лейкоциты, кетоны, нитриты, уробилиноген, билирубин, белок, глюкоза, удельный вес (плотность), кровь (гемоглобин и миоглобин), pH и аскорбиновая кислота. Полоску полностью погружали в пробу мочи на 1–2 секунды, затем извлекали и удаляли избыток жидкости, проводя ребром полоски о край контейнера. Результаты считывали визуально путем сравнения окрашенных зон с цветовой шкалой на упаковке строго в регламентированные временные интервалы для каждого показателя и разделяли их на категории в зависимости от интенсивности окрашивания (–, ±, +, ++, +++ и т. д.), соответствующей определенным диапазонам концентраций аналита. Данные в таблицах представлены как количество и процент животных в каждой категории.

Статистический анализ полученных результатов был проведен с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США). Ввиду

отсутствия нормального распределения данных по критерию Шапиро – Уилка и их полуколичественного характера для сравнения показателей между тремя независимыми группами применяли непараметрический критерий Краскела – Уоллиса (Kruskal – Wallis H-test). При выявлении статистически значимых межгрупповых различий ($p < 0,05$) проводили попарное сравнение с использованием U-критерия Манна – Уитни (Mann – Whitney U-test) с поправкой Бонферрони для множественных сравнений.

Результаты (Results)

Результаты анализа 48 проб мочи выявили как физиологическую норму по ряду показателей для данного вида животных, так и статистически значимые различия, связанные с физиологическим состоянием, что требует дифференцированной интерпретации данных.

Нормативные показатели и их диагностическое значение. Из определяемых показателей в моче коров всех групп стабильно отсутствовали глюкоза, нитриты и лейкоциты. Поскольку тест-полоски предназначены главным образом для обнаружения «сигнальных» патологических компонентов, то есть аналитов, которые в моче здоровых животных не должны определяться (отсутствовать или присутствовать в концентрациях ниже уровня чувствительности реагентной зоны), отрицательный результат в ходе скрининга не исключает патологию, но при отсутствии клинических симптомов значительно снижает ее вероятность. В частности, отсутствие глюкозурии у коров в первую очередь свидетельствует против развития выраженной стресс-гипергликемии с превышением почечного порога. Отрицательный результат на нитриты, являющиеся продуктом метаболизма нитрат-редуцирующих бактерий, при отсутствии лейкоцитурии снижает вероятность бактериальной инфекции нижних мочевыводящих путей и активного воспалительного процесса [10–11]. В целом полученные отрицательные результаты соответствуют физиологической норме у крупного рогатого скота, что дополнительно указывает на отсутствие явных патологических процессов у включенных в исследование животных

Гематурия как маркер острого патологического процесса. Был обнаружен один положительный результат теста на кровь в группе новотельных коров. Данный результат является серьезным клиническим признаком ряда опасных состояний, в первую очередь послеродовой гемоглобинурии, связанной с острой гипофосфатемией. Наличие крови в моче также может указывать на травмы родовых путей, острый пиелонефрит или цистит и др., но вне зависимости от причины этот показатель является абсолютным показанием для углубленного клинико-лабораторного обследования животного [12].

Аскорбиновая кислота: контрольный аналит и потенциальный маркер. Высокой стабильностью отличались результаты анализа на содержание аскорбиновой кислоты (таблица 1). Причиной включения в тест данного аналита является необходимость контроля его уровня в моче в связи со значимым влиянием его высоких концентраций (выше 2,8 ммоль/л) на ложноотрицательные или заниженные результаты определения других показателей (глюкозы, нитритов и крови) [13]. В нашем случае во всех 48 исследованных образцах содержание аскорбиновой кислоты не превышало минимально определяемой концентрации – 0,6 ммоль/л, что подтверждает техническую корректность выполнения остальных тестов.

Вместе с тем в литературе имеются сведения, что аскорбиновая кислота в моче в определенной степени также может быть использована в качестве биомаркера состояния здоровья и окислительного стресса животных [14]. Несмотря на способность крупного рогатого скота синтезировать данный микронутриент, коровы и особенно телята при определенных условиях могут испытывать его значительный дефицит. Полное отсутствие почечной экскреции витамина С может косвенно отражать повышенную утилизацию этого значимого антиоксиданта, что согласуется с данными литературы о его роли как маркера оксидативного стресса у продуктивных животных [15].

Протеинурия: распространенность, интенсивность и вопросы интерпретации. Протеинурия была зафиксирована у 40 % (19 из 48) всех обследованных коров. Количественное содержание белка варьировало в диапазоне от следовых количеств (15 мг/дл) до 100 мг/дл. Статистический анализ выявил достоверные межгрупповые различия ($p < 0,05$). Наиболее высокая частота и интенсивность протеинурии наблюдались у коров середины лактации (протеинурия у 7 из 11 животных (64 %) с максимальным значением 100 мг/дл) и сухостойных коров (у 8 из 16, то есть у 50 %). В группе новотельных животных протеинурия была наименее выражена и встречалась реже (у 4 из 21, или у 19 %) (таблица 1). За исключением отдельных физиологических состояний и некоторых системных заболеваний, появление белка в моче чаще всего связывают с нарушением почечной функции: увеличением проницаемости клубочкового фильтра для альбумина или снижением реабсорбции низкомолекулярных белков в проксимальных канальцах [16]. Однако высокая распространенность протеинурии у клинически здоровых животных, особенно на фоне щелочной реакции мочи, требует критического подхода к интерпретации [17]. Возможным объяснением данного факта, особенно в случаях, когда отсутствуют другие отклонения в анализе или клинические симптомы, могли явиться ложнополо-

жительные результаты теста на белок, обусловленные щелочной реакцией мочи. Известно, что при pH > 7,5 большинство коммерческих тест-полосок, основанных на реакции с тетрабромфеноловым синим, могут давать ложное окрашивание при отсутствии белка. В подобных случаях для подтверждения требуется дополнительно использовать сульфосалициловую пробу или количественные методы анализа [18].

Оценка плотности мочи и влияние метода измерения на результаты. Относительная плотность – простой, но информативный показатель, который помогает оценить концентрационную функцию почек. При этом его нормальные значения у крупного рогатого скота имеют довольно широкий диапазон, который сильно зависит от водного баланса, типа кормления и физиологического состояния. При анализе полученных результатов наименьшие значения показателя были зарегистрированы в группе коров середины лактации (у 55 % животных плотность составляла 1,000–1,005). У сухостойных и новотельных животных плотность была достоверно выше, составляя у большинства новотельных коров значения 1,020 и выше (67 %), однако в целом практически все исследованные образцы имели плотность ниже физиологического референсного диапазона для КРС. Столь низкие показатели, полученные с помощью тест-полосок, требуют осторожной интерпретации. Учитывая, что щелочная реакция мочи у жвачных является известной причиной занижения значений, полученных данным методом, эти результаты, скорее всего, отражают методический артефакт. Для корректной оценки концентрационной функции почек у коров (выявления гипостенурии при ХПН или полиурии) предпочтительнее использовать рефрактометрию [19].

Кислотность мочи: видовая норма и выявленные сдвиги. Значение pH мочи является важным показателем, отражающим кислотно-основное состояние организма в целом. Считается, что в норме реакция мочи жвачных животных щелочная, но диапазон значений pH сильно зависит от рациона и особенно введения солевых добавок [20]. Снижение значения pH мочи до 7 и ниже может указывать на различные проблемы со здоровьем, включая метаболический и респираторный ацидоз, обезвоживание, гипокалиемию, голодание, кетоз, хроническую почечную недостаточность и др. В нашем исследовании в 75 % образцов отмечали щелочную реакцию, что согласуется с ранее опубликованными результатами других авторов. Достоверно более низкие значения pH регистрировали в группе коров после отела ($p < 0,05$). (таблица 1). У шести коров (29 %) этой группы реакция мочи была кислой, что является важным метаболическим маркером и требует пристального внимания и дополнительных обследований из-за возможной угрозы развития ацидоза, который у КРС чаще всего связан с нарушением рубцового пищеварения или общими нарушениями метаболизма [21; 22].

Кетонурия как метаболический маркер периода новотельности. Как следует из данных таблицы 2, наиболее выраженные сдвиги по этому показателю были характерны для группы новотельных коров ($p < 0,05$).

В образцах мочи 29 % (6 из 21) животных этой группы содержание кетоновых тел составило выше 1,5 ммоль/л. Данный результат имеет высокую клиническую значимость, так как прямо указывает на субклинический (при умеренном повышении) или клинический (при высоких значениях) кетоз. Это состояние является прямым следствием отрицательного энергетического баланса в период новотельности и массовой мобилизации жирных кислот с последующим кетогенезом в печени [23]. Обнаруженная кетонурия хорошо согласуется с выявленным снижением pH мочи в этой же группе.

Билирубин в моче: частота обнаружения и диагностическая значимость. Билирубинурия с высокой частотой была выявлена во всех группах: у 73 % коров середины лактации, 50 % сухостойных и 57 % новотельных коров. У всех животных регистрировали минимальный уровень положительной реакции («+», 0,5 мг/дл). У жвачных и плотоядных интерпретация незначительной билирубинурии достаточно сложна и имеет свою специфику. Кроме того, несмотря на то что влияние щелочной мочи на ложноположительный результат по билирубину менее выражено, чем на белок, полностью исключать его нельзя. Однако в контексте исследования стойкое обнаружение билирубина в группе новотельных животных в сочетании с кетонурией приобретает диагностическую значимость. Такая комбинация может указывать на повышенную нагрузку на печень и начало внутрипеченочного холестаза на фоне жировой инфильтрации – классического осложнения отрицательного энергетического баланса, а также является сигналом для углубленной оценки функции печени [24; 25].

Уробилиноген был обнаружен в незначительных количествах у части животных во всех группах (от 24 % до 45 %), что считается физиологической нормой и отражает нормальный кишечно-печеночный цикл метаболизма билирубина.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенное исследование подтвердило целесообразность и высокий потенциал применения полифункциональных мочевых тест-полосок в качестве удобного, быстрого и неинвазивного инструмента для скрининг-диагностики функционального состояния высокопродуктивных коров в условиях промышленного животноводческого комплекса.

Таблица 1

Результаты анализа мочи коров на аскорбиновую кислоту, белок, удельный вес и pH

Аскорбиновая кислота, ммоль/л	**– (0)**	**± (0,6)**	**+ (1,4)**	**++ (2,8)**	**+++ (5,6)**	**–**
Середина лактации, количество животных (%)	–	11 (100)	–	–	–	
Сухостойные, количество животных (%)	–	16 (100)	–	–	–	
Новотельные, количество животных (%)	–	21 (100)	–	–	–	
Белок, мг/дл (г/л)	**– (0)**	**± 15 (0,15)**	**+3 0 (0,3)**	**++ 100 (1,0)**	**+++ 300 (3,0)**	**++++ ≥ 5000 (≥ 5,0)**
Середина лактации, количество животных (%)	4 (36)	–	6 (55)	1 (9)	–	–
Сухостойные, количество животных (%)	8 (50)	1 (6)	7 (44)	–	–	–
Новотельные, количество животных (%)	17 (81)	3 (14)	1 (5)	–	–	–
Относительная плотность	**1,000**	**1,005**	**1,010**	**1,015**	**1,020**	**≥ 1,025**
Середина лактации, количество животных (%)	6 (55)	2 (18)	3 (27)	–	–	–
Сухостойные, кол-во животных (%)	–	4 (25)	8 (50)	2 (12,5)	2 (12,5)	–
Новотельные, количество животных (%)	–	–	3 (14)	4 (19)	14 (67)	–
pH	**5,0**	**6,0**	**6,5**	**7,0**	**7,5**	**8,0–8.5**
Середина лактации, количество животных (%)	–	–	–	–	–	11 (100)
Сухостойные, количество животных (%)	–	–	–	–	–	16 (100)
Новотельные, количество животных (%)	–	3 (14)	3 (14)	6 (29)	8 (38)	1 (5)

Table 1

Results of cow urine analysis for ascorbic acid, protein, specific gravity, and pH

Ascorbic acid, mmol/L	***– (0)***	***± (0.6)***	***+ (1.4)***	***++ (2.8)***	***+++ (5.6)***	**–**
Lactating cows, number of animals (%)	–	*11 (100)*	–	–	–	
Non-lactating cows (dry cows), number of animals (%)	–	*16 (100)*	–	–	–	
Postpartum cows (transition cows), number of animals (%)	–	*21 (100)*	–	–	–	
Protein, mg/dL (g/L)	***– (0)***	***±15 (0.15)***	***+30 (0.3)***	***++100 (1.0)***	***+++300 (3.0)***	***++++ ≥ 5000 (≥ 5.0)***
Lactating cows, number of animals (%)	*4 (36)*	–	*6 (55)*	*1 (9)*	–	–
Non-lactating cows (dry cows), number of animals (%)	*8 (50)*	*1 (6)*	*7 (44)*	–	–	–
Postpartum cows (transition cows), number of animals (%)	*17 (81)*	*3 (14)*	*1 (5)*	–	–	–
Specific gravity	***1.000***	***1.005***	***1.010***	***1.015***	***1.020***	***≥1.025***
Lactating cows, number of animals (%)	*6 (55)*	*2 (18)*	*3 (27)*	–	–	–
Non-lactating cows (dry cows), number of animals (%)	–	*4 (25)*	*8 (50)*	*2 (12.5)*	*2 (12.5)*	–
Postpartum cows (transition cows), number of animals (%)	–	–	*3 (14)*	*4 (19)*	*14 (67)*	–
pH	***5.0***	***6.0***	***6.5***	***7.0***	***7.5***	***8.0–8.5***
Lactating cows, number of animals (%)	–	–	–	–	–	*11 (100)*
Non-lactating cows (dry cows), number of animals (%)	–	–	–	–	–	*16 (100)*
Postpartum cows (transition cows), number of animals (%)	–	*3 (14)*	*3 (14)*	*6 (29)*	*8 (38)*	*1 (5)*

Было установлено, что биохимический профиль мочи у высокопродуктивных коров существенно варьирует в зависимости от физиологической стадии (новотельность, середина лактации, сухостой). Наиболее клинически значимые изменения были зафиксированы в группе новотельных животных. Комплекс выявленных отклонений (повышенная частота кетонурии (29 %), стабильное присутствие билирубина (57 %) и единичный, но критически важный случай гематурии) формирует характерную картину метаболического напряжения в ранний послеродовый период. Сочетание кетонурии со сдвигом pH мочи в кислую сторону является прямым лабораторным подтверждением развития субклинического или клинического кетоза и сопутствующего метаболического ацидоза. Билирубинурия у животных этой группы, особенно на фоне кетоновых тел, с высокой вероятностью указывает на начальные

признаки нарушения функции печени вследствие ее жировой инфильтрации, что является классическим осложнением отрицательного энергетического баланса. Таким образом, использование мочевых тест-полосок обеспечивает возможность оперативного выявления коров с субклиническими формами патологии, что создает условия для своевременной коррекции рациона или раннего начала терапии, существенно повышая ее эффективность.

Вместе с тем полученные данные также подчеркивают важность видового подхода в лабораторной диагностике. Результаты исследования выявили необходимость критической интерпретации некоторых показателей, полученных с помощью тест-полосок, в частности белка, билирубина и относительной плотности. Высокая частота регистрации протеинурии (40 % от общего поголовья), особенно у клинически здоровых сухостойных коров и коров в середине лактации, с высокой долей вероятности является артефактом, обусловленным щелочной реакцией мочи (pH ≥ 7,5), характерной для жвачных. Положительный результат на белок у коровы, особенно при отсутствии других отклонений в анализе или клинических симптомов, не должен служить основанием для диагноза почечная патология без подтверждения сульфосалициловой пробой или количественными методами анализа. Аналогичная осторожность требуется при интерпретации низких значений относительной плотности, полученных с применением полосок, так как щелочная среда также может их искажать. Для точной оценки концентрационной функции почек предпочтительна рефрактометрия. Эти методические особенности имеют большое значение для внедрения метода в практику: персонал фермы должен быть обучен не просто механизму проведения теста, но и правилам отсева результатов, требующих верификации.

Таблица 2

Результаты анализа мочи коров на кетоновые тела, билирубин и уробилиноген

Кетоны, мг/дл (моль/л)	**– (0)**	**±5 (0,5)**	**+15 (1,5)**	**++40 (4,0)**	**+++80 (8,0)**	**++++160 (16,0)**
Середина лактации, количество животных (%)	11 (100)	–	–	–	–	–
Сухостойные, количество животных (%)	14 (87)	2 (13)	–	–	–	–
Новотельные, количество животных (%)*	15 (71)	–	4 (19)	1 (5)	–	1 (5)
Билирубин, мг/дл (мкмоль/л)	**– (0)**	**+0,5 (8,6)**	**++2 (34)**	**+++6 (100)**		
Середина лактации, количество животных (%)	3 (27)	8 (73)	–	–		
Сухостойные, количество животных (%)	8 (50)	8 (50)	–	–		
Новотельные, количество животных (%)	9 (43)	12 (57)	–	–		
Уробилиноген, мг/дл (мкмоль/л)	**Норма**	**+2 (33)**	**++4 (66)**	**+++8 (≥ 131)**		
Середина лактации, количество животных (%)	6 (55)	5 (45)	–	–		
Сухостойные, количество животных (%)	9 (56)	7 (44)	–	–		
Новотельные, количество животных (%)	16 (76)	5 (24)	–	–		

Table 2

Results of cow urine analysis for ketone, bilirubin, and urobilinogen

Ketone, mg/dL (mmol/L)	***– (0)***	***±5 (0.5)***	***+15 (1.5)***	***++40 (4.0)***	***+++80 (8.0)***	***++++160 (16.0)***
Lactating cows, number of animals (%)	*11 (100)*	–	–	–	–	–
Non-lactating cows (dry cows), number of animals (%)	*14 (87)*	*2 (13)*	–	–	–	–
Postpartum cows (transition cows), number of animals (%)	*15 (71)*	–	*4 (19)*	*1 (5)*	–	*1 (5)*
Bilirubin, mg/dL (µmol/L)	***– (0)***	***+0.5 (8.6)***	***++2 (34)***	***+++6 (100)***		
Lactating cows, number of animals (%)	*3 (27)*	*8 (73)*	–	–		
Non-lactating cows (dry cows), number of animals (%)	*8 (50)*	*8 (50)*	–	–		
Postpartum cows (transition cows), number of animals (%)	*9 (43)*	*12 (57)*	–	–		
Urobilinogen, mg/dL (µmol/L)	***Normal***	***+2 (33)***	***++4 (66)***	***+++8 (≥ 131)***		
Lactating cows, number of animals (%)	*6 (55)*	*5 (45)*	–	–		
Non-lactating cows (dry cows), number of animals (%)	*9 (56)*	*7 (44)*	–	–		
Postpartum cows (transition cows), number of animals (%)	*16 (76)*	*5 (24)*	–	–		

Таким образом, в условиях промышленного животноводческого комплекса мочевые тест-полоски не заменяют развернутую лабораторную диагностику или клинический осмотр, но эффективно их дополняют, выполняя функцию высокочувствительного «сита». Их основная практическая ценность заключается в возможности быстрой сортировки всего поголовья или целевых групп (например, всех новотельных коров) для выявления особей с отклонениями. Животные, попавшие в группу риска по результатам скрининга (положительные тесты на кровь, выраженная кетонурия, стойкое закисление мочи), нуждаются в проведении углубленного и, что немаловажно, более затратного обследования (биохимического анализа крови, ультразвуковой диагностики печени, исследования состава рубцовой жидкости). Такой двухэтапный алгоритм является экономически оправданным и позволяет оптимизировать трудозатраты ветеринарных специалистов, сконцентрировав ресурсы на животных с объективными признаками неблагополучия.

Библиографический список

1. Коник Н. В., Калиниченко Э. Б., Каиров В. Р., Кубатиева З. А., Капитонова Е. А. Эффективность производственного использования коров молочных пород // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 01. С. 51–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-01-51-60.

2. LeBlanc S. J. Review: relationships between metabolic disorders and reproductive performance in dairy cows // Animal. 2020. No. 14 (S1). Pp. s44–s54. DOI: 10.1017/S1751731119003227.

3. Белоусов А. И., Шкуратова И. А., Красноперов А. С., Малков С. В., Черницкий А. Е. Динамика и распространенность заболеваний печени у коров голштинской породы в Свердловской области // Ветеринария. 2024. № 9. С. 43–47. DOI: 10.30896/0042-4846.2024.27.9.43-47.

4. Нохрин Д. Ю., Соколова О. В., Белоусов А. И., Исаева А. Г., Мокерова Е. В., Герасимова Ю. С. Нелинейные главные компоненты биохимического профиля молочного скота пяти пород // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 08. С. 1056–1070. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-08-1056-1070.

5. Кузьминова Е. В., Рудь Е. Н., Семененко М. П., Абрамов А. А. Состояние биохимического профиля крови и уровня эндогенной интоксикации у коров с гепатопатиями в условиях теплового стресса // Ветеринария сегодня. 2022. Т. 11, № 2. С. 135–141. DOI: 10.29326/2304-196X-2022-11-2-135-141.

6. Parrah J. D., Moulvi B. A., Gazi M. A., Makhdoomi D. M., Athar H., Din M. U., Dar S., Mir A. Q. Importance of urinalysis in veterinary practice – a review // Veterinary World. 2013. Vol. 6, No. 9. Pp. 640–646. DOI: 10.14202/vetworld.2013.640-646.

7. Smyroglou E. D., Athanasiou L. V., Baka R. D., Polizopoulou Z. S. Comparative evaluation between visual and automated dipstick urinalyses in dogs // Veterinary Sciences. 2023. Vol. 10, No. 4. Pp. 284–291. DOI: 10.3390/vetsci10040284.

8. Цагареишвили М. Р., Калюжный И. И. Исследование параметров мочи с помощью экспресс-методов в рамках скрининговой диагностики поголовья крупного рогатого скота // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 03. С. 473–483. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-03-473-483.

9. Ihedioha J. I., Ukachukwu C. V., Ugochukwu I. C. I., Anyogu D. C. Evaluation of kidney function and urinary analytes in Nigerian trade cattle // Tropical Animal Health and Production. 2019. Vol. 51, No. 7. Pp. 1867–1875. DOI: 10.1007/s11250-019-01879-1.

10. Jacob J. Urinalysis in animals: a review // Journal of Entomology and Zoology Studies. 2020. Vol. 8, No. 6. Pp. 1650–1653.

11. Issi M., Gül Y., Basbug O. Evaluation of renal and hepatic functions in cattle with subclinical and clinical ketosis // Turkey Journal of Veterinary and Animal Sciences. 2016. Vol. 40, No. 1. Pp. 47–52. DOI: 10.3906/vet-1505-16.

12. Rahmati S., Aziz A., Tawfeeq M., Zabuli J., Nazhat S. Clinical features of post-parturient hemoglobinuria in dairy cattle and buffaloes: a review // Open Journal of Veterinary Medicine. 2021. Vol. 11, No. 4. Pp. 143–155. DOI: 10.4236/ojvm.2021.114010.

13. Lee W., Kim Y., Chang S., Lee A. J., Jeon C. H. The influence of vitamin C on the urine dipstick tests in the clinical specimens: a multicenter study // Journal of Clinical Laboratory Analysis. 2017. Vol. 31, No. 5. Pp. 22080–22085. DOI: 10.1002/jcla.22080.

14. Виноградова Н. М., Автаева Т., Прохоров М. А., Горностаев Н. Е., Здюмаева Н. П. Особенности сезонной динамики отдельных биохимических и гематологических показателей коровы // Аграрный вестник Нечерноземья. 2024. № 1 (13). С. 49–53. DOI: 10.52025/2712-8679-2024-01-49.

15. Matsui T. Vitamin C nutrition in cattle // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2012. Vol. 25, No. 5. Pp. 597–605. DOI: 10.5713/ajas.2012.r.01.

16. Ferlizza E., Fasoli S., Cavallini D., Bolcato M., Andreani G., Isani G. Preliminary study on urine chemistry and protein profile in cows and heifers // Pakistan Veterinary Journal. 2020. Vol. 40, No. 4. Pp. 413–418. DOI: 10.29261/pakvetj/2020.067.

17. Herman N., Bourges-Abella N., Braun J. P., Ancel C., Schelcher F., Trumel C. Urinalysis and determination of the urine protein-to-creatinine ratio reference interval in healthy cows // Journal of Veterinary Internal Medicine. 2019. Vol. 33, No. 2. Pp. 999–1008. DOI: 10.1111/jvim.15452.

18. Barsanti J. A. Urinary disorders // In: Willard M. D., Tvedten H. (eds.) Small animal clinical diagnosis by laboratory methods. 5th ed. Saint Louis: Elsevier, 2012. Pp. 126–153.

19. Megahed A. A., Grünberg W., Constable P. D. Clinical utility of urine specific gravity, electrical conductivity, and color as on-farm methods for evaluating urine concentration in dairy cattle // Journal of Veterinary Internal Medicine. 2019. Vol. 33, No. 3. Pp. 1530–1539. DOI: 10.1111/jvim.15502.

20. Шляхова О. Г., Рядчиков В. Г. Значение водородного показателя мочи при характеристике физиологических показателей коров // Ветеринария Кубани. 2018. № 1. С. 15–17.

21. Melendez P., Redrovan D., Chelikani P. K. Urine pH as predictor of blood acid-base status in dairy cattle fed acidogenic diets // The Veterinary Journal. 2024. Vol. 306. Article number 106187. DOI: 10.1016/j.tvjl.2024.106187.

22. Кулаченко И. В. Анализ результатов определения резервной щелочности крови коров в первый период лактации и их диагностическое значение // Ветеринария Кубани. 2025. № 1. С. 16–18. DOI: 10.33861/2071-8020-2025-1-16-18.

23. Zhang G., Mandal R., Wishart D. S., Ametaj B. N. A multi-platform metabolomics approach identifies urinary metabolite signatures that differentiate ketotic from healthy dairy cows // Frontiers in Veterinary Science 2021. Vol. 8. Article number 595983. DOI: 10.3389/fvets.2021.595983.

24. Bombik E., Sokół J., Pietrzkiewicz K: Fatty liver disease in dairy cattle – risk factors, symptoms and prevention // Animal Science and Genetics. 2020. Vol. 16, No. 4. Pp. 51–58. DOI: 10.5604/01.3001.0014.6072.

25. Melendez P., Pinedo P. Update on fatty liver in dairy cattle with major emphasis on epidemiological patterns, pathophysiology in relationship to abdominal adiposity, and early diagnosis // Dairy. 2024. Vol. 5, No. 4. Pp. 672–687. DOI: 10.3390/dairy5040050.

Об авторах:

Наталья Петровна Здюмаева, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры анатомии, физиологии и биохимии животных, Костромская государственная сельскохозяйственная академия, п. Караваево, Костромская область, Россия; ORCID 0009-0000-0495-5072, AuthorID 167832. *E-mail: ztb_znp@mail.ru*

Надежда Михайловна Виноградова, ветеринарный врач, ООО «Шуваловское молоко», п. Шувалово, Костромская область, Россия; ORCID 0009-0002-5891-158X, AuthorID 1330737.
E-mail: nadyav181@yandex.ru

References

1. Konik N. V., Kalinichenko E. B., Kairov V. R., Kubatieva Z. A., Kapitonova E. A. Efficiency of production use of dairy cows in the context of federal districts of Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2025; 25 (01): 51–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-01-51-60. (In Russ.)

2. LeBlanc S. J. Review: Relationships between metabolic disorders and reproductive performance in dairy cows. *Animal*. 2020; 14 (S1): 44–54. DOI: 10.1017/S1751731119003227.

3. Belousov A. I., Shkuratova I. A., Krasnoperov A. S., Malkov S. V., Chernitskiy A. E. Dynamics and prevalence of liver diseases in holstin cows in the Sverdlovsk region. *Veterinary Medicine Journal.* 2024; 9: 43–47. DOI: 10.30896/0042-4846.2024.27.9.43-47.

4. Nokhrin D. Yu., Sokolova O. V., Belousov A. I., Isaeva A. G., Mokerova E. V., Gerasimova Yu. S. Nonlinear main components of the biochemical profile of dairy cattle of five breeds. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2024; 24 (08): 1056–1070. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-08-1056-1070. (In Russ.)

5. Kuzminova E. V., Rud E. N., Semenenko M. P., Abramov A. A. Biochemical blood parameters and level of endogenous intoxication in cows suffering from hepatopathies under heat stress. *Veterinary Science Today.* 2022; 11 (2): 135–141. DOI: 10.29326/2304-196X-2022-11-2-135-141. (In Russ.)

6. Parrah J. D., Moulvi B. A., Gazi M. A., Makhdoomi D. M., Athar H., Din M. U., Dar S., Mir A. Q. Importance of urinalysis in veterinary practice – a review. *Veterinary World*. 2013; 6 (9): 640–646. DOI: 10.14202/vetworld.2013.640-646.

7. Smyroglou E. D., Athanasiou L. V., Baka R. D., Polizopoulou Z. S. Comparative evaluation between visual and automated dipstick urinalyses in dogs. *Veterinary Sciences.* 2023; 10 (4): 284–291. DOI: 10.3390/vetsci10040284.

8. Tsagareishvili M. R., Kalyuzhnyy I. I. Examination of urine parameters using express methods in the framework of screening diagnostics of digestive pathologies in cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2025; 25 (03): 473–483. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-03-473-483. (In Russ.)

9. Ihedioha J. I., Ukachukwu C. V., Ugochukwu I. C. I., Anyogu D. C. Evaluation of kidney function and urinary analytes in Nigerian trade cattle. *Tropical Animal Health and Production.* 2019; 51 (7): 1867–1875. DOI: 10.1007/s11250-019-01879-1.

10. Jacob J. Urinalysis in animals: a review. *Journal of Entomology and Zoology Studies.* 2020; 8 (6): 1650–1653.

11. Issi M., Gül Y., Basbug O. Evaluation of renal and hepatic functions in cattle with subclinical and clinical ketosis. *Turkey Journal of Veterinary and Animal Sciences.* 2016; 40 (1): 47–52. DOI: 10.3906/vet-1505-16.

12. Rahmati S., Aziz A., Tawfeeq M., Zabuli J., Nazhat S. Clinical features of post-parturient hemoglobinuria in dairy cattle and buffaloes: a review. *Open Journal of Veterinary Medicine.* 2021; 11 (4): 143–155. DOI: 10.4236/ojvm.2021.114010.

13. Lee W., Kim Y., Chang S., Lee A. J., Jeon C. H. The influence of vitamin C on the urine dipstick tests in the clinical specimens: a multicenter study. *Journal of Clinical Laboratory Analysis.* 2017; 31 (5): 22080–22085. DOI: 10.1002/jcla.22080.

14. Vinogradova N. M., Avtaeva T., Prokhorov M. A., Gornostaev N. E., Zdyumaeva N. P. Features of seasonal dynamics of individual biochemical and hematological parameters of a cow. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem Region.* 2024; 1 (13): 49–53. DOI: 10.52025/2712-8679-2024-01-49. (In Russ.)

15. Matsui T. Vitamin C nutrition in cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 2012; 25 (5): 597–605. DOI: 10.5713/ajas.2012.r.01.

16. Ferlizza E., Fasoli S., Cavallini D., Bolcato M., Andreani G., Isani G. Preliminary study on urine chemistry and protein profile in cows and heifers. *Pakistan Veterinary Journal.* 2020; 40 (4): 413–418. DOI: 10.29261/pakvetj/2020.067.

17. Herman N., Bourges-Abella N., Braun J. P., Ancel C., Schelcher F., Trumel C. Urinalysis and determination of the urine protein-to-creatinine ratio reference interval in healthy cows. *Journal of Veterinary Internal Medicine.* 2019; 33 (2): 999–1008. DOI: 10.1111/jvim.15452.

18. Barsanti J. A. Urinary disorders. In: Willard M. D., Tvedten H. (eds.) *Small Animal clinical diagnosis by laboratory method*. 5th ed. Saint Louis: Elsevier, 2012. Pp. 126–153.

19. Megahed A. A., Grünberg W., Constable P. D. Clinical utility of urine specific gravity, electrical conductivity, and color as on-farm methods for evaluating urine concentration in dairy cattle. *Journal of Veterinary Internal Medicine.* 2019; 33 (3): 1530–1539. DOI: 10.1111/jvim.15502.

20. Shlyakhova O. G., Ryadchikov V. G. Urine pH significante at cows' physiological parameters characteristics. *Veterinariya Kubani.* 2018; 1: 15–17. (In Russ.)

21. Melendez P., Redrovan D., Chelikani P. K. Urine pH as predictor of blood acid-base status in dairy cattle fed acidogenic diets. *The Veterinary Journal.* 2024; 306: 106187. DOI: 10.1016/j.tvjl.2024.106187.

22. Kulachenko I. V. Analysis of the results of alkalinity reserve determination of cows' blood in the first period of lactation and the diagnostic significance *Veterinariya Kubani.* 2025; 1: 16–18. DOI: 10.33861/2071-8020-2025-1-16-18. (In Russ.)

23. Zhang G., Mandal R., Wishart D. S., Ametaj B. N. A multi-platform metabolomics approach identifies urinary metabolite signatures that differentiate ketotic from healthy dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science.* 2021; 8: 595983. DOI: 10.3389/fvets.2021.595983.

24. Bombik E., Sokół J., Pietrzkiewicz K: Fatty liver disease in dairy cattle – risk factors, symptoms and prevention. *Animal Science and Genetics.* 2020; 16 (4): 51–58. DOI: 10.5604/01.3001.0014.6072.

25. Melendez P., Pinedo P. Update on fatty liver in dairy cattle with major emphasis on epidemiological patterns, pathophysiology in relationship to abdominal adiposity, and early diagnosis. *Dairy.* 2024; 5 (4): 672–687. DOI: 10.3390/dairy5040050.

Authors' information:

Natalya P. Zdyumaeva, doctor of biological sciences, associate professor, professor of the department of animal anatomy, physiology, and biochemistry, Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo settlement, Kostroma region, Russia; ORCID 0009-0000-0495-5072, AuthorID 167832. *E-mail: ztb_znp@mail.ru*

Nadezhda M. Vinogradova, Veterinarian of Shuvalovskoe moloko LLC, Shuvalovo settlement, Kostroma region, Russia; ORCID 0009-0002-5891-158X, AuthorID 1330737. *E-mail: nadyav181@yandex.ru*

УДК 636.4.636.082.11
Код ВАК 4.2.4
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1979-1992

Генетические основы стрессочувствительности свиней

М. А. Колосова✉, **Д. Г. Шичкин, Н. В. Башмакова, И. С. Антипова**
Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, п. Лесные Поляны, Московская область, Россия
✉*E-mail: m.kolosova@vniiplem.ru*

Аннотация. Современное промышленное свиноводство сопряжено с воздействием на организм животных множества стресс-факторов: технологических, физических и психологических. Длительная селекция на повышение мясности привела к накоплению в популяциях генетических вариантов, повышающих чувствительность к стрессу. **Цель** настоящего обзора – на основе анализа отечественных и зарубежных публикаций идентифицировать и обобщить генетические детерминанты стрессочувствительности свиней, включая как мажорные гены, так и новые локусы-кандидаты. **Методы.** Исследование представляет собой систематический обзор отечественных и зарубежных публикаций по генетическим основам стрессочувствительности свиней. Использовали следующие базы данных электронных библиотек: eLibrary, PubMed, Google Scholar, ScienceDirect. **Научная новизна** состоит в расширении традиционных представлений о стресс-синдроме свиней (Porcine Stress Syndrome, PSS) как о моногенном заболевании, обусловленном мутацией в рианодиновом рецепторе 1 (RYR1). Впервые на основе анализа отечественных и зарубежных публикаций проведена систематизация генетических детерминант стрессочувствительности по функциональным кластерам: гены мышечного метаболизма, терморегуляции, нейромедиаторных систем. **Результаты.** В результате множества исследований установлено, что причиной большинства потерь свиней из-за стрессочувствительности является мутация HAL-1843 в RYR1. Однако с помощью ДНК-тестирования эту мутацию удалось практически полностью исключить из коммерческих стад. В данном обзоре сделан акцент на анализе классической мутации в гене RYR1 (c.1843C>T), ее роли в формировании фенотипа (злокачественная гипертермия, PSE-мясо) и особенностях распространения среди свиней различных пород. Особое внимание уделено стресс-синдрому, ассоциированному с мутацией R1958W (c.5860C>T) в гене дистрофина (DMD), его распространению и селекционному значению. Показан плейотропный эффект мутантной аллели, который, несмотря на риск стресс-реакций, может поддерживаться в популяции благодаря положительному влиянию на некоторые продуктивные признаки. Рассмотрены гены мышечного метаболизма (*PRKAG3*, *PHKG1*, *IGF2*), определяющие энергетический обмен и гликолитический потенциал мышц, терморегуляции (семейство HSP), нейромедиаторных систем (*SLC6A4*, *MAOA*, *ADRA2A*, *DRD2*), влияющие на поведение, тревожность и агрессивность, некоторые новые локусы (например, *TMCO1*, *LRATD1*, *SLCO3A1*), ассоциированные с качеством мяса и поведенческими реакциями. Проведенный обзор показывает необходимость перехода от контроля единичных мутаций к комплексной геномной оценке для дальнейшего повышения эффективности свиноводства.

Ключевые слова: свиньи, стресс-синдром, PSE, DFD, гены, мутации

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания № 082-00066-26-00 на 2026 год от 26.01.2026. Рег. № НИОКТР 126022417922-8.

Для цитирования: Колосова М. А., Шичкин Д. Г., Башмакова Н. В., Антипова И. С. Генетические основы стрессочувствительности свиней // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1979–1992. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1979-1992.

Дата поступления статьи: 13.06.2026, ***дата рецензирования:*** 12.08.2026, ***дата принятия:*** 11.09.2026.

© Kolosova M. A., Shichkin D. G., Bashmakova N. V., Antipova I. S., 2026

Genetic basis of stress sensitivity in pigs

M. A. Kolosova✉, **D. G. Shichkin, N. V. Bashmakova, I. S. Antipova**
All-Russian Research Institute of Breeding, Lesnye Polyany settlement, Moscow region, Russia
✉*E-mail: m.kolosova@vniiplem.ru*

Abstract. Modern industrial pig farming is associated with the impact of multiple stress factors on the animal organism: technological, physical and psychological. Long-term selection for increasing meat yield has led to the accumulation of genetic variants in populations that increase sensitivity to stress. **The purpose** of this review is to identify and summarize the genetic determinants of stress sensitivity in pigs, including both major genes and new candidate loci, based on the analysis of domestic and international publications. **Methods.** The study is a systematic review of domestic and international publications on the genetic basis of stress sensitivity in pigs. The following electronic library databases were used: eLibrary, PubMed, Google Scholar, ScienceDirect. **The scientific novelty** lies in expanding the traditional understanding of porcine stress syndrome (PSS) as a monogenic disease caused by a mutation in ryanodine receptor 1 (*RYR1*). For the first time, based on an analysis of domestic and international publications, the genetic determinants of stress sensitivity were systematized into functional clusters: genes involved in muscle metabolism, thermoregulation, and neurotransmitter systems. **Results.** Numerous studies have established that the HAL-1843 mutation in *RYR1* is the cause of most pig losses due to stress sensitivity. However, DNA testing has made it possible to almost completely eliminate this mutation from commercial herds. This review focuses on the analysis of the classic mutation in the *RYR1* gene (c.1843C>T), its role in phenotype formation (malignant hyperthermia, PSE meat), and the characteristics of its distribution among pigs of various breeds. Particular attention is paid to the stress syndrome associated with the R1958W mutation (c.5860C>T) in the dystrophin gene (*DMD*), its distribution, and selection significance. The pleiotropic effect of the mutant allele is demonstrated; despite the risk of stress reactions, it can be maintained in the population due to its positive effect on some productive traits. The following genes are considered: muscle metabolism genes (*PRKAG3, PHKG1, IGF2*), which determine energy metabolism and glycolytic potential of muscles; thermoregulation (HSP family); neurotransmitter systems (*SLC6A4, MAOA, ADRA2A, DRD2*), which affect behavior, anxiety, and aggression; and some new loci (*TMCO1, LRATD1, SLCO3A1*), associated with meat quality and behavioral responses. This review shows the need to move from monitoring single mutations to comprehensive genomic assessment to further improve pig production efficiency.

Keywords: pigs, stress syndrome, PSE, DFD, genes, mutations

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of State Assignment No. 082-00066-26-00 for 2026, dated 26.01.2026. R&D Registration No. 126022417922-8.

For citation: Kolosova M. A., Shichkin D. G., Bashmakova N. V., Antipova I. S. Genetic basis of stress sensitivity in pigs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1979–1992. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1979-1992. (In Russ.)

Date of paper submission: 13.06.2026, ***date of review:*** 12.08.2026, ***date of acceptance:*** 11.09.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Современная технология содержания свиней в крупных промышленных комплексах значительно отличается от естественных условий обитания. Комплексные зоотехнические и ветеринарные мероприятия, шум, скученность, замкнутое пространство, перевозки и перегруппировки становятся источниками сильного стресса [1]. Длительная односторонняя селекция на улучшение постности мяса привела к тому, что ряд высокопродуктивных мясных пород (ландрас, пьетрен, дюрок, йоркшир) приобрел повышенную чувствительность к стрессовым факторам [2].

Стресс у свиней – это комплексная биологическая реакция организма на угрозу или сильное раздражение.

Различают физический стресс: сильная мышечная нагрузка, высокая температура, ограниченное пространство при перевозках, перегрев на откормочном комплексе.

Психологический стресс: страх, шум, резкое движение, смена обстановки, агрессия других животных, отъем от матери, работа с человеком, перегон, сортировка.

Технический (производственный) стресс: перевозка, загрузка или выгрузка на мясокомбинате, высокая плотность посадки.

© Колосова М. А., Шичкин Д. Г., Башмакова Н. В., Антипова И. С., 2026

У всех свиней стресс повышает частоту сердцебиения, температуру тела и активность мышц – это нормальная реакция. Но при стресс-синдроме свиней эта реакция становится опасной и может привести к гибели. Под влиянием стресса у свиней снижаются масса тела, воспроизводительные качества, увеличивается восприимчивость к инфекциям. Такие животные более требовательны к содержанию и кормлению. Поведенческая и физиологическая реакция организма на стресс получила название стресс-синдрома (PSS, Porcine Stress Syndrome). Характерные особенности свиней, подверженных PSS: повышенная возбудимость, нарушения в сердечно-сосудистой системе и сбои терморегуляции, что приводит к развитию синдрома злокачественной гипертермии (Malignant Hyperthermia Syndrome, MHS). Ускоренный метаболизм и анаэробный гликолиз в скелетных мышцах ведут к избыточному накоплению молочной кислоты. Высокая концентрация лактата в сочетании с гипертермией не только становится причиной гибели животных, но и вызывает биохимические изменения в мускулатуре, приводящие после убоя к формированию свинины с пороками PSE (pale, soft, exudative – бледная, мягкая, водянистая) или DFD (dark, firm, dry – темная, жесткая, сухая) [3].

Интенсификация селекции на увеличение выхода постного мяса зачастую приводит к повышению стрессочувствительности поголовья. Следствием этого являются потери качества мясной продукции, снижение энергии роста поросят, ухудшение репродуктивных качеств и иммунного статуса животных.

Зачастую фенотипическое изменение признака вызвано мутацией одного-единственного нуклеотида в последовательности ДНК (точечные мутации), приводящей к изменению или обрыву аминокислотной последовательности белка. При оценке точечных мутаций с рецессивным типом наследования по фенотипу невозможно разделение гомозиготных носителей и гетерозиготных скрытых носителей наследственных изменений. Это приводит к тому, что даже при выбраковке всех явных носителей неблагоприятная рецессивная аллель сохраняется в популяции и, хотя и с меньшей частотой, но все же проявляется в последующих поколениях. Использование молекулярно-генетических методов не только позволяет разделить популяцию на носителей и не носителей, но и делает возможной диагностику, а следовательно, и выбраковку скрытых носителей.

Частота мутантных аллелей, включая рецессивные летальные, увеличивается в популяциях в результате как дрейфа генов из-за небольшого эффективного размера популяции, так и направленного отбора. Наследственные дефекты обычно возникают в популяции вследствие распространения уникальных мутаций от «основателя», которые можно проследить до выдающихся быков-производителей, интенсивно использовавшихся для искусственного осеменения по всему миру. Описано множество летальных аллелей с высокой частотой встречаемости у крупного рогатого скота, что обусловлено высоким генетическим вкладом отдельных быков, от которых получены сотни тысяч дочерей. Однако в свиноводстве предположительно такой эффект дрейфа будет менее значимым из-за меньшей интенсивности селекции самцов.

Для ПЦР-генотипирования генов стресса были разработаны различные тесты, основанные на выявлении полиморфизма длин рестрикционных фрагментов, возникающего в результате замены оснований. За несколько лет с помощью этих тестов удалось избавиться от вредоносной аллели в большинстве популяций свиней по всему миру. Однако, несмотря на успешную селекцию против *RYR1*, проблемы стрессочувствительности и ухудшения качества мяса сохранились. У животных с нормальным генотипом по *RYR1* по-прежнему регистрируются случаи острых стресс-реакций при транспортировке, падеж, а также высокий процент туш с признаками PSE и DFD.

Это свидетельствует о полигенной природе стрессочувствительности и существовании иных генетических факторов, влияющих на устойчивость свиней к стрессу.

Цель настоящего обзора – на основе анализа отечественных и зарубежных публикаций идентифицировать и обобщить генетические детерминанты стрессочувствительности свиней, включая как мажорные гены (*RYR1*, *DMD*), так и новые локусы-кандидаты, для обоснования перехода от контроля единичных мутаций к комплексной геномной оценке в селекционных программах.

Методология и методы исследования (Methods)

Поиск литературы осуществляли с использованием следующих ключевых слов и их комбинаций: «стресс-чувствительность свиней», «PSS», «PSE», «DFD», «ген *RYR1*», «ген *DMD*», «рианодиновый рецептор», «злокачественная гипертермия свиней», «гены качества мяса свиней», «*PRKAG3*», «*PHKG1*», «геномная селекция свиней», а также «porcine stress syndrome», «pork quality», «*RYR1* gene», «dystrophin gene pigs», «malignant hyperthermia pigs», «candidate genes stress pigs», «genomic selection pigs», «GWAS meat quality pigs».

Использовали следующие базы данных электронных библиотек: eLibrary (https://www.elibrary.ru/), PubMed (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/), Google Scholar (https://scholar.google.com/), ScienceDirect (https://www.sciencedirect.com/).

Критерии включения публикаций: исследования, посвященные генетическим основам стресс-синдрома свиней (PSS) и ассоциированным с ним дефектам качества мяса (PSE, DFD); публикации в

рецензируемых научных журналах; работы, содержащие результаты молекулярно-генетического тестирования (ПЦР-ПДРФ, KASP, секвенирование), полногеномных исследований (GWAS), анализа генов-кандидатов (*RYR1*, *DMD*, *PRKAG3*, *PHKG1*, *IGF2*, *HSP*, *SLC6A4*, *MAOA*, *DRD2*), а также обзорные статьи по селекции свиней на стрессоустойчивость; исследования по частоте встречаемости мутантных аллелей в различных породах и популяциях (ландрас, крупная белая, дюрок, йоркшир, пьетрен, миргородская и др.).

Критерии исключения: статьи без полного текста; тезисы конференций без рецензирования; исследования, не связанные с генетикой стресса или качеством свинины; публикации по другим видам животных (крупный рогатый скот, птица), если они не содержат сравнительных данных со свиньями; работы, рассматривающие только физиологические (без генетического анализа) аспекты стресса.

Географический охват исследований включал работы ученых из России, Беларуси, Украины, США, Италии, Румынии, Словении, Болгарии, Китая и других стран. Особое внимание уделялось анализу частот мутантных аллелей в породах ландрас, пьетрен, крупная белая, дюрок, йоркшир, а также оценке эффективности программ элиминации мутации *RYR1* из коммерческих стад.

Всего было проанализировано 40 научных публикаций.

Результаты (Results)

Классический стресс-синдром: роль гена *RYR1*

Прорывом в понимании природы PSS стало определение однонуклеотидного полиморфизма (SNP) 1843C>T (rs344435545) в 17-м экзоне гена рианодинового рецептора (*RYR1*). Этот ген, локализованный на хромосоме SSC6 (NC_010448.4:47,339,759-47,458,457), кодирует белок кальциевого канала саркоплазматического ретикулума в скелетных мышцах. Замена цитозина тимином приводит к миссенс-мутации – замене аргинина цистеином в кодоне 615 (R615C). В результате нарушается структура кальциевого канала, что ведет к неконтролируемому выбросу ионов кальция в миоплазму в ответ на стресс-стимулы. Этот процесс является причиной возникновения гиперметаболизма и создает избыточное количество тепла в организме животного. Ускоренный метаболизм богатых энергией фосфатов и анаэробный гликолиз в скелетных мышцах с образованием избыточного количества молочной кислоты, с утилизацией которой организму животного трудно справиться, приводят к наблюдаемым клиническим признакам MHS и появлению животных с плохим качеством мяса.

Эта мутация наследуется по аутосомно-рецессивному типу. Гомозиготные животные (T/T) обладают ярко выраженным синдромом злокачественной гипертермии (MHS). Согласно ранним исследованиям, до 12 % таких животных погибают от PSS, а до 50 % их туш имеют порок PSE.

В исследованиях румынских ученых на выборке из 195 животных четырех пород (ландрас, дюрок, пьетрен, крупная белая) частота аллели *n* гена *RYR1*, связанного с восприимчивостью к синдрому стресса свиней (PSS), составила 7 %. Аллель N (устойчивая) доминировала у 93 % особей. Генотипы распределились следующим образом: *NN* – 86 %, *Nn* – 14 %, *nn* не выявлено. Эти данные свидетельствуют о наличии потенциального влияния аллели *n* на восприимчивость к стресс-синдрому у румынской популяции свиней [4].

Исследования, проведенные в Словении по гену *RYR1* у гибридных свиней (ландрас × крупная белая порода и пьетрен × ландрас, пьетрен × гемпшир) в условиях товарного поголовья показали низкую частоту мутантной аллели. Генотипы были распределены следующим образом: *NN* – 91.8 %, *Nn* – 8.2 %, *nn* – 0 % с частотами аллелей *N* = 0,959 и *n* = 0,041 [5].

E. A. Snegin с соавторами провели скрининг аллельного пула популяций свиней различных пород в Белгородской и Воронежской областях России по гену *RYR1*, используя метод PCR-RFLP. В выборке из 400 хряков (крупная белая, ландрас, йоркшир, дюрок) гомозигот по мутантной аллели T/T не выявлено, а носители мутации C/T составили всего 0,75 % (3 особи: 1 ландрас, 2 крупные белые). Низкая частота мутантной аллели отражает эффективность систематической работы по ее выявлению и элиминации из племенных хозяйств РФ [6].

В недавних исследованиях были изучены 26 свиней помесной породы йона × пьетрен болгарского происхождения. В этой популяции локус *RYR1* также показал низкий уровень полиморфизма. Частоты аллелей составили 0,98 для аллели *N* и 0,02 для аллели *n*. Частоты генотипов составили 0,96 для гомозиготного доминантного генотипа *NN* и 0,04 для гетерозиготного генотипа *Nn*. Гомозиготный рецессивный генотип *nn* не был обнаружен [7].

В недавних исследованиях белорусских ученых частота встречаемости животных – носителей злокачественной гипертермии у крупной белой породы составила 6 %, дюрока – 4 %, белорусской мясной – 20,5 %, черно-пестрой – 26,0 %, и 0,5 % поголовья белорусской мясной породы оказалось предрасположенным к стрессам с генотипом *nn* [8; 9].

Исследование Т. В. Карпушкиной показало, что носителем стрессочувствительной аллели *n* (ген *RYR1*) среди промышленных пород свиней чаще всего является пьетрен (средняя частота аллели – 0,190). Для сравнения: у пород ландрас, дюрок и крупная белая эта аллель встречается в популяциях гораздо реже, с частотами 0,011, 0,015 и 0,011 соответственно [10].

Результаты более поздних исследований подтвердили устойчивую тенденцию к отсутствию мутантной аллели. Анализ белорусской популяции свиней пород йоркшир и ландрас показал высокую концентрацию стресс-устойчивых генотипов. Доля особей *RYR1*/NN составляла 0,78–0,91, а доля скрытых носителей (*Nn*) – 0,09–0,22. При этом чувствительные к стрессу животные (генотип *nn*) выявлены не были. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии необходимости в тотальном молекулярно-генетическом скрининге маточного поголовья данных пород. Для предотвращения появления стрессочувствительного потомства достаточно диагностировать используемых и ремонтных хряков [11–13].

В этом же году другой коллектив белорусских ученых, используя метод конкурентной аллель-специфической ПЦР (KASP) для анализа полиморфизма 1843C>T в гене *RYR1* (rs344435545), также не выявил мутантных аллелей *n* в исследованной выборке. И. П. Шейко в 2025 году по ДНК-тестированию свиней породы ландрас показали стопроцентную частоту встречаемости предпочтительного генотипа NN [14]. Таким образом, внедрение обязательного генотипирования племенных животных по гену *RYR1* в Беларуси позволило выявить и элиминировать из популяции скрытых носителей злокачественной гипертермии.

Систематическая работа по элиминации мутантного аллеля дает свои плоды, однако исследования демонстрируют выраженную породную специфичность и необходимость постоянного мониторинга.

В миргородской породе украинского происхождения частота рецессивной аллели T в маркере *RYR1* (SNP g.1843C>T) составляла всего 4 %, а оставшаяся популяция по состоянию на 2023 год полностью свободна от мутантной аллели T. Однако в породе пьетрен 100 % животных являются носителями аллели T *RYR1* [15]. Для улучшения критического состояния эффективной популяции миргородской породы после вспышки африканской чумы свиней было проведено однократное скрещивание с хряками породы пьетрен. Тот факт, что после применения этого скрещивания удалось восстановить 100-процентную частоту аллели C в миргородской породе, которая была присуща оригинальной миргородской породе, объясняется регулярным тестированием и строгим отбором полученных помесей по этому конкретному гену. Большое внимание этой работе было уделено именно потому, что одной из особенностей миргородской породы была ее устойчивость к стрессу, обусловленная почти 100-процентной частотой аллели C [16].

Недавние исследования итальянских ученых при изучении автохтонной породы неро-сицилиано в выборке из 87 голов, представляющих 5 субпопуляций, выявлено 7 гетерозиготных животных – носителей аллели T (общая частота q = 0,04). Примечательно, что в одном из хозяйств частота достигала 0,29, что подчеркивает необходимость постоянного мониторинга даже в локальных популяциях, разводимых in situ, для сохранения высокого качества мяса, характерного для этой породы [17].

Эти данные подтверждают общемировой тренд на снижение частоты мутантной аллели *RYR1* в коммерческих стадах, но указывают на ее сохранение в специализированных мясных линиях и локальных породах, что требует дифференцированного подхода к селекции.

Однако объяснить все случаи PSS с помощью только одного полиморфизма в гене *RYR1* не удалось, и сегодня мы понимаем, что PSS связан не только с *RYR1*. Поэтому поиск других полиморфизмов в геноме свиней остается актуальной задачей.

Новый стресс-синдром: мутация в гене дистрофина (DMD)

Даже после двух десятилетий интенсивной селекции, направленной на исключение аллелей стрессочувствительности, в странах с развитым свиноводством при контрольных убоях регистрируют только 16 % свиных туш с мясом «идеального» качества, а около 30 % животных проявляют черты синдромов PSE и DFD, что свидетельствует о возможном влиянии технологических факторов предубойного содержания, способа убоя животных и, вероятно, о полигенном характере детерминации признаков качества мяса [18].

Даже у NN-животных (норма по *RYR1*) все равно встречаются случаи резкой стрессовой реакции, ухудшенного качества мяса, падежа при транспортировке, мышечной слабости, нарушения терморегуляции. Это связано с тем, что механизм реакции на стресс многофакторный.

Современные исследования выявили еще один важный генетический маркер стрессочувствительности у свиней – ген *DMD* (дистрофин). Мутации в этом гене приводят к развитию иного по механизму, но сходного по внешним проявлениям стресс-синдрома, что требует отдельного и детального рассмотрения.

Молекулярно-клеточные механизмы действия дистрофина и патогенез DMD-ассоциированного стресс-синдрома

Миссенс-мутация R1958W (c.5860C>T) в 41-м экзоне гена *DMD*, локализованного на X-хромосоме у свиней, приводит к аминокислотной замене аргинина триптофаном, нарушая пространственную конформацию C-концевого домена дистрофина и его взаимодействие с белками ДАГ-комплекса [19].

Дистрофин представляет крупный цитоскелетный белок (427 кДа), локализованный на цитоплазматической поверхности сарколеммы. Он является компонентом дистрофин-ассоциированного гликопротеинового комплекса (ДАГ-комплекса), вы-

полняющего как структурную, так и сигнальную функции в мышечных волокнах. Ген *DMD* у свиней (Sus scrofa, SSCX: 51,4–53,6 Мб) – один из крупнейших в геноме (~ 2,3 Мб, 79 экзонов), кодирует дистрофин.

Физиологическая роль дистрофина заключается в стабилизации сарколеммы при мышечных сокращениях и расслаблениях. Выступая в роли молекулярного амортизатора, дистрофин поглощает механическое напряжение, предотвращая разрывы мембраны и обеспечивая целостность мышечных волокон при интенсивных нагрузках. Помимо механической защиты, ДАГ-комплекс участвует в компартментализации сигнальных молекул, включая нейрональную синтазу оксида азота (nNOS), что связывает дистрофин с регуляцией мышечного кровотока и метаболизма.

Согласно базе OMIA, данная мутация классифицируется как потенциально повреждающая с оценкой SIFT 0,01. В отличие от нонсенс-мутаций, вызывающих полное отсутствие белка при дистрофии Дюшенна, вариант R1958W относится к гипоморфным аллелям, что соответствует фенотипу более легкой дистрофинопатии Беккера как у человека, так и у свиней. При исследовании фенотипа скелетных мышц у свиней с этим вариантом его классифицируют как соответствующий фенотипу Беккера [20]. Исследования туш свиней с мутациями в гене *DMD* выявили специфические патологии. Например, при ветеринарно-санитарной экспертизе в Австрии и Японии находили мясо с признаками жировой дистрофии мышц, где до 20–40 % мышечной ткани было замещено жиром [21]. Это состояние связывают с дистрофинопатией Беккера – более легкой формой мышечной дистрофии у свиней. Такое мясо, очевидно, будет иметь низкую пищевую ценность и нестандартный товарный вид [22].

Патогенез *DMD*-ассоциированного стресс-синдрома реализуется через несколько взаимосвязанных механизмов. Во-первых, ослабление механической связи между цитоскелетом и внеклеточным матриксом снижает порог повреждения сарколеммы при физической нагрузке. Во-вторых, нарушение компартментализации сигнальных комплексов может влиять на кальциевый гомеостаз и стресс-ответ. При воздействии стресс-факторов у животных – носителей мутантной аллели развиваются микроразрывы мембран, выход внутриклеточных ферментов (креатинфосфокиназы) в кровоток, неконтролируемый вход ионов кальция и, как следствие, некроз мышечных волокон (рабдомиолиз) [23].

Клинически это проявляется одышкой, мышечной слабостью, потерей подвижности и внезапной смертью вследствие сердечных аритмий, ассоциированных с поражением кардиомиоцитов. Патоморфологические исследования выявляют миофибриллярную дегенерацию, некроз тканей левого желудочка сердца и потерю поперечной исчерченности кардиомиоцитов. У части животных хроническое повреждение мышц приводит к замещению мышечной ткани жировой (до 20–40 %), образуется фиброз, что значительно снижает качество мясной продукции [24].

Описанный патогенез отличается от классического PSS, однако клинические проявления могут быть внешне сходны. Сегодня DMD считается новым важным маркером стрессочувствительности, особенно у мясных линий.

В исследовательском центре мясных животных США (USMARC) обнаружили новый стресс-синдром у свиней, независимый от классической мутации *RYR1*. Поводом послужила внезапная гибель двух поросят во время транспортировки. Генотипирование с использованием чипа Illumina PorcineSNP60 BeadChip выявило единственную значимую область на SSCX (25,1–27,7 Мб) в гене дистрофина *DMD*. Наиболее ассоциированные SNP (ALGA0099513, ALGA0099514) расположены в интроне 44 *DMD*. Скрининг показал носительство мутантной аллели T у хряков пород ландрас и гемпшир, тогда как у дюрока и йоркшира особей с этой аллелью не выявлено [25].

Исследования из разных стран продолжают указывать на преимущественное распространение мутантной аллели T у породы ландрас, а также ее наличие у гемпширов и следовые количества у дюроков и йоркширов [26].

Исследование, проведенное не только на хряках, но и на свиноматках, показывает наличие мутантной аллели с наибольшей частотой встречаемости в выборке животных породы ландрас (14,2 %) и дюрок (1,3 %), наименьшей – у йоркширов (0,8 %). Частота мутантных аллелей, включая рецессивные летальные аллели, увеличивается в популяциях как в результате дрейфа генов из-за небольшого эффективного размера численности популяции, так и в результате направления отбора [27].

В исследовании О. С. Романенковой полиморфизм гена *DMD* изучали в популяциях свиней пород крупная белая и йоркшир (1346 и 498 голов соответственно), ландрас (1131 и 1248 голов соответственно), дюрок (408 и 178 голов) и пьетрен (155 и 80 голов соответственно). Носители аллели T, ассоциированной со стрессом, были зафиксированы только у свиней породы ландрас. Частота встречаемости составила в среднем по выборке 0,118 [28].

В Республике Беларусь в 2021 году с помощью метода конкурентной аллель-специфической ПЦР (KASP) установлено, что частота животных – носителей стресс-синдрома, связанного с полиморфизмом гена DMD (генотипы TO/TT), в породе ландрас составила 2,8 %. Мутантная аллель T выявлена в выборке животных породы ландрас с частотой 14,2 %, дюрок – 1,3 %, йоркшир – 0,8 % [13].

В исследовании A. A. Sychev с соавторами с помощью метода ACRS-ПЦР был проведен анализ мутации в гене *DMD* у 215 хряков пород дюрок, крупная белая, ландрас и йоркшир из Белгородской области. Мутантная аллель T была обнаружена исключительно у представителей породы ландрас, причем с частотой 0,405, что оказалось выше показателей для данной породы в других регионах. У свиней с аллелью T наблюдались снижение среднесуточного прироста, итоговой живой массы, а также уменьшение толщины шпика и глубины мышечного слоя [26].

Как и в случае с *RYR1*, мутация *DMD* имеет плейотропный эффект. Исследования О. С. Романенковой показали, что носители мутантной аллели T демонстрируют селекционные преимущества: повышенное многоплодие, большую массу гнезда при рождении, а также более высокую живую массу и среднесуточный прирост у потомков. Эти эффекты указывают на балансирующий отбор, поддерживающий сохранение нежелательной аллели в популяции за счет улучшения продуктивности. Селекционное давление на мясные формы продолжает поддерживать в популяциях аллели, повышающие стрессочувствительность, но дающие при этом выигрыш в продуктивности [28].

Исследования, проведенные ВНИИплем в 2026 году, подтвердили наличие дефектной аллели A гена *DMD* только у свиней породы ландрас, что согласуется с данными других авторов. В ходе работы были проанализированы выборки хряков и свиноматок ландрас ($n = 41$ и $n = 121$), а также хряков пород дюрок ($n = 40$) и крупная белая ($n = 80$). Генотипирование на чипах GeneSeek® GGP SNP80x1_XT выявило у дюроков и крупной белой только референсную аллель G. В популяции ландрас частота аллели A составила 11 % у хряков (генотип X^AY) и 28 % у свиноматок, что свидетельствует о ее устойчивой передаче и накоплении в стаде [29]. Применение геномного тестирования в данном случае открывает возможность для целенаправленной выбраковки носителей и оптимизации подбора пар с целью снижения стрессочувствительности поголовья.

Расширение спектра генов-кандидатов стрессочувствительности и качества мяса

Накопленные к настоящему времени данные убедительно свидетельствуют о том, что генетическая архитектура стрессочувствительности свиней и ассоциированных с ней признаков качества мяса не может быть сведена к двум мажорным генам – *RYR1* и *DMD*. Исследования последних лет, выполненные с использованием полногеномных подходов (GWAS) и анализа генов-кандидатов, позволили идентифицировать широкий спектр генетических локусов, вовлеченных в регуляцию метаболических процессов в мышечной ткани, терморегуляции и поведенческих реакций. Систематизация этих данных позволяет выделить три основные функциональные группы генов, определяющих интегральную стрессоустойчивость организма:

1. Гены мышечного метаболизма и энергетического обмена

Данная группа включает гены, контролирующие ключевые звенья энергетического обмена в скелетной мускулатуре, связанные с регуляцией гликолиза и запасов гликогена, кальциевого гомеостаза и чувствительности мышечных волокон к нагрузкам.

Наибольшее внимание в контексте качества мяса традиционно уделяется гену *PRKAG3*, кодирующему γ3-субъединицу AMP-активируемой протеинкиназы (AMPK) – ключевого энергетического сенсора клетки, регулирующего метаболизм гликогена и глюкозы в мышцах. Данный ген локализован на хромосоме SSC15 и характеризуется наличием нескольких функционально значимых полиморфизмов. Четыре миссенс-замены (T30N, G52S, V199I и R200Q) в гене *PRKAG3* рассматриваются как вероятные локусы, влияющие на качество мяса. Наиболее изучена мутация R200Q, ассоциированная с RN-фенотипом (Rendement Napole – «мясо Наполеона»). Данная мутация, распространенная преимущественно у свиней породы гемпшир и ее кроссов, приводит к конститутивной активации AMP-активируемой протеинкиназы (AMPK), что вызывает сверхэкспрессию гликогена в мышцах (так называемый «гликогеновый галоп»). Высокое содержание гликогена в постмортальный период служит субстратом для интенсивного гликолиза, следствием чего являются резкое падение pH после убоя и формирование тяжелого PSE-порока. Кодоны 199 (V199I, валин-изолейцин) и 200 играют ключевую роль в регуляции гликогена в мышцах и, соответственно, влияют на цвет мяса у свиней. Вариант Ile199Val и связанные с ним мутации ассоциированы с более высоким конечным pH, повышенным содержанием гликогена и улучшенными параметрами цвета мяса (L, a, b*), что снижает риск PSE-дефекта. Напротив, генотип Ile/Ile по кодону 199 коррелирует с худшими цветовыми характеристиками и более низким значением pH24, тогда как генотип Val/Val улучшает качественные показатели. Установлено, что для породы дюрок особое значение имеют варианты rs45432517 и rs45432518, связанные с изменением реакции на нагрузку и стрессовую устойчивость [30].

Другим значимым регулятором постмортального гликолиза выступает ген *PHKG1*, локализованный на хромосоме SSC3 и кодирующий каталитическую γ1-субъединицу фосфорилазы b-киназы – фермента, активирующего фосфорилазу, ключевой фермент распада гликогена (гликогенолиза) [30]. Мутация g.8283C>A (rs330928088) в данном гене нарушает процесс сплайсинга, что ведет к снижению активности фосфорилазы киназы. Следствием этого являются повышение гликолитического потенциала мышц, ускоренное падение pH и увеличе-

ние потери влаги в мясе. Как показывают исследования M. Zappaterra с соавторами, рассматриваемый полиморфизм играет значительную роль в развитии PSE-дефектов мяса. Распространение мутантной аллели A характеризуется ярко выраженной породной спецификой – от полного отсутствия у многих пород до 50 % в популяции итальянской крупной белой и 70 % у белого дюрока [31].

Важную роль в регуляции мышечного роста и метаболизма играет ген *IGF2* (инсулиноподобный фактор роста 2), локализованный на хромосоме SSC2. Мутация G3072A в интроне 3 данного гена, наследуемая по типу отцовского импринтинга, приводит к усилению экспрессии гена и, как следствие, гипертрофии мышечных волокон. Повышение гликолитического метаболизма и снижение жировых отложений, обусловленные данной мутацией, являются селекционно ценными признаками, однако они косвенно повышают чувствительность организма к стрессовым факторам за счет изменения энергетического баланса мышц. Мутация *IGF2* G3072A широко закрепилась в коммерческих мясных линиях в результате длительной селекции на мясность [32].

Ген *MC4R* (меланокортиновый рецептор 4), локализованный на хромосоме SSC1, кодирует рецептор в гипоталамусе, являющийся ключевым регулятором аппетита и энергетического баланса. Полиморфизм Asp298Asn (замена аспарагиновой кислоты аспарагином) ассоциирован с энергоэффективностью, толщиной шпика и скоростью набора мышечной массы. Косвенно, через регуляцию общего метаболизма, данный ген влияет на устойчивость к стрессовым нагрузкам.

Ген *LEP* (лептин), локализованный на хромосоме SSC18, кодирует гормон жировой ткани, участвующий в регуляции аппетита и энергетического обмена, а также в модуляции иммунного ответа и стресс-реакции через гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковую ось. Различные SNP в промоторной области гена, влияющие на уровень экспрессии, выявлены у многих пород и ассоциированы с особенностями жироотложения и потребления корма [32].

Помимо указанных генов-кандидатов, исследования на основе GWAS позволили идентифицировать новые локусы, вовлеченные в регуляцию качества мяса. Y. Liu с соавторами выявили два новых кандидата: *LRATD1* на хромосоме SSC3 и *TMCO1* на хромосоме SSC4. Ген *TMCO1* кодирует трансмембранный белок эндоплазматического ретикулума, формирующий Ca^{2+}-селективный канал и регулирующий внутриклеточные запасы кальция [33]. SNP rs319599168 (g.84976996C>T), локализованный в интроне данного гена, ассоциирован с уровнем остаточного гликогена в мышцах и конечным pH мяса, что позволяет рассматривать *TMCO1* как потенциально новый регулятор мышечного метаболизма. Функция гена *LRATD1* окончательно не установлена, однако предполагается его связь с метаболизмом ретиноевой кислоты, выявленный в нем SNP ассоциирован с конечным pH мяса у коммерческих гибридов [34; 35].

2. Гены терморегуляции и клеточного стресс-ответа

Способность организма поддерживать температурный гомеостаз в условиях теплового стресса является критически важной для свиней ввиду ограниченного количества функциональных потовых желез и, как следствие, низкой эффективности испарительного охлаждения. Как отмечают J. L. Gourdine с соавторами, механизмы терморегуляции свиней часто не справляются с поддержанием температуры тела в условиях теплового стресса, что делает генетические различия в термотолерантности предметом пристального изучения [36].

Ключевая роль в защите клеток от повреждающего действия гипертермии и других стрессоров принадлежит белкам теплового шока (heat shock proteins, HSP). Семейство HSP включает четыре основных класса, выделяемых по молекулярной массе: малые HSP, Hsp60, Hsp70 и Hsp90. Наиболее изученным является белок Hsp70, представляющий собой молекулярный шаперон, участвующий в сворачивании вновь синтезированных и неправильно конфигурированных белков в физиологических условиях и обеспечивающий защиту клеток при различных видах стресса. Полиморфизмы в генах HSP70 и HSP90, снижающие уровень экспрессии или функциональную активность соответствующих белков, ведут к ухудшению переносимости теплового стресса и более выраженному повреждению тканей при транспортировке [37].

Существуют убедительные данные о наличии породных различий в термотолерантности. В исследованиях, сравнивавших свиней крупной белой породы и креольских свиней (адаптированная тропическая порода), было показано, что влияние теплового стресса на терморегуляторные реакции выражено сильнее у животных крупной белой породы. Это справедливо как для хронического теплового стресса (сезонные эффекты в помещении и на открытом воздухе), так и для краткосрочного воздействия высоких температур. Данные наблюдения свидетельствуют о существовании пород с более высокими значениями критических температур. Например, в тропических условиях Гваделупы верхний критический индекс температуры и влажности (THI) для свиноматок крупной белой породы составляет около 24,5 °C, тогда как для свиноматок креольской породы этот показатель превышает 24,5 °C [38].

3. Гены нейромедиаторных систем и поведения

Реакция организма на стресс неразрывно связана с функционированием центральной нервной систе-

мы, в частности с активностью нейромедиаторных систем, регулирующих поведенческие реакции, тревожность и агрессивность. Как показано в обзоре A. Kazantseva с соавторами, агрессивное поведение свиней подразделяется на социальную, материнскую, вызванную страхом, игровую и перенаправленную агрессию, при этом решающую роль в его реализации играют формирование ранней иерархии и стрессовые факторы окружающей среды. Физиологические маркеры, такие как повышенный уровень кортизола и пониженный уровень серотонина, тесно коррелируют с агрессивным поведением [39].

Полногеномный анализ позволил выявить специфические полиморфизмы в генах нейромедиаторных систем, выступающих значимыми предикторами агрессивного поведения и стрессочувствительности. К числу таких генов относятся *SLC6A4* (локализован на SSC2) – ген серотонинового транспортера (5-HTT), обеспечивающего обратный захват серотонина из синаптической щели. Полиморфизмы в промоторной области данного гена (аналогичные 5-HTTLPR у человека) ассоциированы с уровнем тревожности, реакцией на стресс-факторы (транспортировка, обработка, социальные конфликты) и уровнем кортизола в ответ на стресс.

MAOA (локализован на Х-хромосоме) – ген моноаминоксидазы А, фермента, осуществляющего деградацию нейромедиаторов (серотонина, норадреналина, дофамина). Полиморфизмы, влияющие на активность фермента (в том числе в промоторной области), связаны с агрессивным поведением и импульсивностью. Низкая активность *MAOA* может коррелировать с повышенной агрессивностью.

ADRA2A (локализован на SSC4) – ген α2А-адренорецептора, участвующего в регуляции симпатической нервной системы по механизму отрицательной обратной связи (ингибирование высвобождения норадреналина). Данный рецептор играет ключевую роль в реализации реакции «бей или беги», влияя на уровень возбудимости и страха. Полиморфизмы *ADRA2A*, такие как rs1800544 (–1291C>G) в промоторной области и rs553668 (427C>G), изученные преимущественно в моделях человека, имеют ортологи у свиней [36]. Данные варианты модулируют экспрессию рецептора, влияя на симпатическую регуляцию, уровень глюкозы и липидный обмен. В контексте свиноводства полиморфизмы *ADRA2A* могут ассоциироваться с вариабельностью мышечной утомляемости и мясных качеств, поскольку α2А-адренорецепторы тормозят нейротрансмиттерный выброс при высокой стимуляции, влияя на адаптацию мышц к нагрузке и потенциально на стресс-индуцированные изменения pH и потери влаги в мясе.

DRD2 – ген дофаминового рецептора 2, вовлеченный в регуляцию поведенческих реакций и упоминаемый в контексте полногеномных исследований агрессивности [38].

Кроме того, исследования C. Zhang с соавторами с использованием комплексного геномного и транскриптомного анализа позволили идентифицировать ген *SLCO3A1*, ассоциированный с агрессивным поведением у свиней, что расширяет список потенциальных кандидатов для маркер-связанной селекции на снижение агрессивности [40].

Таким образом, представленные данные демонстрируют, что стрессочувствительность свиней и ассоциированные с ней признаки качества мяса детерминируются сложным взаимодействием множества генов, контролирующих различные уровни адаптации организма. Переход от контроля единичных мутаций к комплексной оценке полигенной архитектуры этих признаков является необходимым условием дальнейшего прогресса в селекции на стрессоустойчивость и высокое качество продукции.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

История изучения гена *RYR1* показала, как мутация, дающая преимущество в мясности, может одновременно нести серьезные риски. Благодаря систематической работе частота этой аллели в большинстве коммерческих стад сведена к минимуму, однако она продолжает циркулировать в специализированных мясных линиях и локальных породах, где требуется постоянный мониторинг.

Современная стратегия повышения стрессоустойчивости и качества мяса должна основываться на комплексной геномной оценке. Обязательное тестирование племенного поголовья по генам *RYR1* и *DMD* является важным, но лишь первым шагом. Следующим этапом должно быть внедрение полногеномного анализа (GWAS) для выявления новых локусов и уточнения генетической архитектуры количественных признаков. Целесообразным является расширение панели генов-кандидатов для включения маркеров, влияющих на метаболизм (*PRKAG3*, *PHKG1*, *LEP*), аппетит и рост (*MC4R*), а также на поведение и нейромедиаторные системы (*DRD2*, *SLC6A4*, *MAOA*).

Кроме того, важен учет породных и популяционных особенностей, поскольку частоты аллелей могут кардинально различаться не только между породами, но и между линиями внутри породы и даже под влиянием недавних событий (восстановление после эпизоотий, импорт генетики).

Сегодня мы можем оценивать эти риски комплексно, используя геномную селекцию. Это позволяет вести отбор не по одному признаку, а по интегральному индексу, включающему стрессоустойчивость и качество мяса. Такой подход позволит вести селекцию на устойчивость к стрессу, качество мяса и улучшенное благополучие животных, не теряя при этом высокого генетического потенциала продуктивности современных пород свиней.

Библиографический список

1. Романенкова О. С., Волкова В. В., Белоус А. А., Решетникова А. А. Ассоциация полиморфизма генов TNFAIP3 и CDS1 с толщиной шпика у свиней // Свиноводство. 2024. № 5. С. 32–34. DOI: 10.37925/0039-713X-2024-5-32-34

2. Molinero E., Pena R. N., Estany J., Ros-Freixedes R. A novel QTL region for pH and meat color in Duroc pigs // Animal Genetics. 2024. Vol. 55, No. 3. Pp. 465–470. DOI: 10.1111/age.13426.

3. Nicholas F. W., Tammen I. OMIA:000822-9823: Online Mendelian Inheritance in Animals (OMIA) [Электронный ресурс]. Sydney: Sydney Informatics Hub, The University of Sydney, 2024. URL: https://omia.org/ (дата обращения: 13.03.2026).

4. Ilie D. E., Băcilă V., Cean A., Cziszter L. T., Neo S. Screening of RYR1 genotypes in swine population by a rapid and sensitive method // Romanian Biotechnological Letters. 2014. Vol. 19, No. 2. Pp. 9170–9178.

5. Škrlep M., Kavar T., Čandek-Potokar M. Comparison of PRKAG3 and RYR1 gene effect on carcass traits and meat quality in Slovenian commercial pigs // Czech Journal of Animal Science. 2010. Vol. 55, No. 4. Pp. 159–171. DOI: 10.17221/51/2009-CJAS.

6. Snegin E. A., Snegina E. A., Barkhatov A. S., Artemchuk O. Yu., Yusupov S. R. Screening of the allele pool of the pig populations of various breeds in the Belgorod and Voronezh regions of Russia by the gene of the estrogen receptor gene ESR1 // EurAsian Journal of BioSciences. 2019. Vol. 13, No. 2. Pp. 2023–2026.

7. Stoykova-Grigorova R., Stefanova K., Bozhilova-Sakova M. Genetic variability in myostatin (MSTN) and ryanodine (RYR1) receptor genes in crossbred pigs Youna × Pietrain // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2023. Vol. 29, No. 2. Pp. 378–383.

8. Шейко И. П., Шейко Р. А., Казаровец И. А. ДНК-технологии в селекции // Животноводство России. 2025. № 12. С. 25–27. DOI: 10.25701/ZZR.2025.12.004.

9. Шейко И. П., Приступа Н. В., Янович Е. А., Тимошенко Т. Н. Генетическая структура стад животных в породе ландрас по маркерным генам RYR1, ECR F18/FUT1, MUC4 в племенных предприятиях // Научное обеспечение животноводства Сибири: материалы VI международной научно-практической конференции. Красноярск, 2022. С. 355–359.

10. Карпушкина Т. В., Свеженцева Н. А., Форнара М. С., Бардуков Н. В., Бакоев Н. Ф., Костюнина О. В. Оценка влияния ДНК-маркера ESR1 на репродуктивные качества свиней пород крупная белая и ландрас // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии: сборник тезисов докладов 21-й Всероссийской молодежной научной конференции. Москва, 2021. С. 43–44.

11. Бальников А. А., Гридюшко И. Ф., Казутова Ю. С., Михайлова М. Е., Романишко Е. Л. Оценка продуктивных качеств свиней пород йоркшир и ландрас по генам PRKAG3, MC4R и MYOD1 // Генетика и разведение животных. 2021. № 2. С. 28–35. DOI: 10.31043/2410-2733-2021-2-28-35.

12. Шейко Р. А., Казаровец И. А. Гены RYR1, ESR и H-FABP в селекции свиней // Животноводство России. 2021. № 2. С. 35–37. DOI: 10.25701/ZZR.2020.61.63.018.

13. Романишко Е. Л., Михайлова М. Е., Шейко Р. И. Выявление полиморфизмов 1843C>T в гене RYR1 и 5860C>T в гене DMD, ассоциированных со стрессочувствительностью свиней, с использованием технологии KASP // Молекулярная и прикладная генетика. 2021. Т. 30. С. 61–67. DOI: 10.47612/1999-9127-2021-30-61-67.

14. Шейко И. П., Шейко Р. И., Приступа Н. В., Янович Е. А., Портная Т. В., Бурнос А. Ч., Каскасиан М. А. Селекционно-генетические параметры свиней породы ландрас в племенных предприятиях Республики Беларусь // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2025. Т. 69, № 4. С. 342–352. DOI: 10.29235/1561-8323-2025-69-4-342-352.

15. Balatsky V. N., Saienko A. M., Pena R. N., Buslyk T. V., Gibolenko O. S. Genetic diversity of pig breeds on ten production quantitative traits loci // Cytology and Genetics. 2015. Vol. 49, No. 5. Pp. 299–307. DOI: 10.3103/S0095452715050023.

16. Tsereniuk O. M., Vashchenko P. A., Khokhlov A. M., Tsybenko V. H., Shostia G. M., Saenko A. M., Peka M. Y., Zhukorskyi O. M. Comparative characteristics of polymorphisms of melanocortin 4 and ryanodine 1 receptor genes of Myrhorod pigs before and after the African swine fever outbreak // Agricultural Science and Practice. 2023. Vol. 6, No. 2. Pp. 47–57. DOI: 10.15421/022387.

17. Tumino S., Carlentini M., Chessari G., Criscione A., Antoci A., Marletta D., Bordonaro S. Genetic variability of loci affecting meat quality and production in Nero Siciliano pig breed // Animals. 2025. Vol. 15, No. 14. Article number 2143. DOI: 10.3390/ani15142143.

18. Xu J., Jiang A., Zhang C., Zheng Y., Zhang T., Zhou L. Potential of eight mutations for marker-assisted breeding in Chinese Lulai black pigs // Canadian Journal of Animal Science. 2022. Vol. 102, No. 3. Pp. 431–439. DOI: 10.1139/cjas-2021-0108.

19. Xie X., Huang C., Huang Y., Zou X., Zhou R., Ai H., Huang L., Ma J. Genetic architecture for skeletal muscle glycolytic potential in Chinese Erhualian pigs revealed by a genome-wide association study using 1.4M SNP array // Frontiers in Genetics. 2023. Vol. 14. Article number 1141411. DOI: 10.3389/fgene.2023.1141411.

20. Čobanović N., Stanković S.D., Dimitrijević M., Suvajdžić B., Grković N., Vasilev D., Karabašić N. Identifying physiological stress biomarkers for prediction of pork quality variation // Animals. 2020. Vol. 10, No. 4. Article number 614. DOI: 10.3390/ani10040614.

21. Corrigan J., Mares J., Hutzler J., Nonneman D., Burmeister D.M. The incidence of volatile anesthesia porcine stress syndrome in pigs (Sus scrofa domesticus) gives implications for physiology during anesthesia // Journal of the American Association for Laboratory Animal Science. 2025. Vol. 64, No. 1. Pp. 179–188. DOI: 10.30802/AALAS-JAALAS-24-077.

22. Хайруллина О. И. Тенденции производства и потребления основных видов мяса в России // Креативная экономика. 2021. Т. 15, № 5. С. 2245–2260. DOI: 10.18334/ce.15.5.112098.

23. Сыса Л. В., Сыса С. А. Основные факторы, негативно влияющие на состояние животных в условиях ряда свиноводческих хозяйств // Животноводство и ветеринарная медицина. 2022. № 3 (46). С. 26–29.

24. Успешный А. В., Гладких Л. П., Семенов В. Г., Никитин Д. А. Профилактика транспортного стресса свиней комплексными иммунотропными препаратами серии PigStim // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2021. № 23. С. 488–492.

25. Derks M. F. L., Megens H.-J., Frentiu F. D., Schraiber J. G., Evans Z. P., Megens M.-H., Crooijmans R. P. M. A., Groenen M. A. M. Balancing selection on a recessive lethal deletion with pleiotropic effects on two neighboring genes in the porcine genome // PLoS Genetics. 2018. Vol. 14, No. 9. Article number e1007662. DOI: 10.1371/journal.pgen.1007662.

26. Sychev A. A., Snegin E. A., Artemchuk O. Yu., Barkhatov A. S., Yusupov S. R., Snegina E. A., Kazmin A. V., Yashkov A. A., Abramov A. P., Zavgorodniy V. V., Solovjov A. A., Kovalchuk I. V. The polymorphism in the dystrophin gene (DMD) of pigs belonging to commercial breeds in Russia and its impact on meat quality and carcass characteristics // International Journal of Experimental and Environmental Science (IJEEES). 2021. Vol. 11, No. 4. DOI: 10.31407/ijees11.4.49.

27. Wu Q., Han Y., Wu X., Wang Y., Su Q., Shen Y., Guan K., Michal J. J., Jiang Z., Liu B., Zhou X. Integrated time-series transcriptomic and metabolomic analyses reveal different inflammatory and adaptive immune responses contributing to host resistance to PRRSV // Frontiers in Immunology. 2022. Vol. 13. Article number 960709. DOI: 10.3389/fimmu.2022.960709.

28. Романенкова О. С., Костюнина О. В. Распространение LOF-мутаций у сельскохозяйственных животных на примере HH6 и BBS9 // Современные тенденции развития аграрной науки: сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Брянск, 2022. С. 527–529.

29. Бакоева Г. М., Луконин Н. В. Полиморфизм гена DMD у свиней как потенциальный маркер стресс-чувствительности и объект геномного контроля в селекции // Тезисы докладов 38-й студенческой научной школы. Москва, 2026. С. 31.

30. Романенкова О. С., Костюнина О. В. Диагностика мутации в гене PHKG1, детерминирующей PSE-синдром у свиней // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 4. С. 68–79. DOI: 10.33284/2658-3135-106-4-68.

31. Zappaterra M., Dalal Sami D., Davoli R. Association between the splice mutation g.8283C>A of the PHKG1 gene and meat quality traits in Large White pigs // Meat Science. 2019. Vol. 148. Pp. 38–40. DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.10.003.

32. Karpushkina T. V., Svezhentseva N. A., Fornara M. S., Bardukov N. V., Kostyunina O. V. Assessment of the influence of IGF2 gene polymorphism in boars on economically significant traits // Journal of Animal Science. 2021. Vol. 99, No. S3. Article number 499. DOI: 10.1093/jas/skab235.879.

33. Liu Y., Li H., Wang Y., Zhang Y., Li X., Wang J., Zhang Q. Heat shock protein 90 and prolyl hydroxylase 2 co-regulate hypoxia-inducible factor-1α expression in porcine small intestinal epithelial cells under heat stress // Journal of Thermal Biology. 2024. Vol. 122. Article number 103881. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2024.103881.

34. Виноградова И. В., Романенкова О. С., Костюнина О. В. LOF-мутации свиней (обзор) // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 3 (43). С. 39–44. DOI: 10.52463/22274227_2022_43_39.

35. Быкова А. А., Швагер О. В. Влияние антистрессового препарата Фоспасим на ветеринарно-санитарные характеристики свинины // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6 (92). С. 269–273. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-269-273.

36. Gourdine J. L., Rauw W. M., Gilbert H., Poullet N. The genetics of thermoregulation in pigs: a review // Frontiers in Veterinary Science. 2021. Vol. 8. Article number 770480. DOI: 10.3389/fvets.2021.770480.

37. Yong Y., Wang X., He J., Liu Y., Zhang Q. Overexpression of heat shock protein 70 induces apoptosis of intestinal epithelial cells in heat-stressed pigs: a proteomics approach // Journal of Thermal Biology. 2022. Vol. 101. Article number 103103. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2021.103103.

38. Kazantseva A., Bilyalov A., Filatov N., Perepechenov S., Gusev O. Genetic contributions to aggressive behaviour in pigs: a comprehensive review // Genes. 2025. Vol. 16, No. 5. Article number 534. DOI: 10.3390/genes16050534.

39. Eken B. F., Savci A. A., Polat T., Yilmaz O. O., Aslan Tacal B., Oktay S., Ulucan K. Preliminary findings of the distribution of alpha-2-adrenergic receptor (ADRA2A) rs1800544 polymorphisms in kickboxing players // Clinical and Experimental Health Sciences. 2021. Vol. 11, No. 4. Pp. 742–745. DOI: 10.33808/clinexphealthsci.863591.

40. Zhang C., Yang H., Xu Q., Wang Y., Li X., Liu Y. Comprehensive genome and transcriptome analysis identifies SLCO3A1 associated with aggressive behavior in pigs // Biomolecules. 2023. Vol. 13, No. 9. Article number 1381. DOI: 10.3390/biom13091381.

Об авторах:

Мария Анатольевна Колосова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела разведения и селекции свиней, Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, п. Лесные Поляны, Московская область, Россия; ORCID 0000-0003-2979-7108, AuthorID 695089. *E-mail: m.leonovaa@mail.ru*

Дмитрий Геннадьевич Шичкин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела разведения и селекции свиней, Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, п. Лесные Поляны, Московская область, Россия; ORCID 0009-0007-6223-4135, AuthorID 1207957. *E-mail: vnplem.dshichkin@mail.ru*

Наталия Владимировна Башмакова, научный сотрудник отдела разведения и селекции свиней, Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, п. Лесные Поляны, Московская область, Россия; ORCID 0009-0001-4475-4205, AuthorID 1018559. *E-mail: n.bashmakova@vniiplem.ru*

Ирина Сергеевна Антипова, инженер-программист отдела разведения и селекции свиней, Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, п. Лесные Поляны, Московская область, Россия; ORCID 0009-0002-3604-1237, AuthorID 1258246. *E-mail: antipovais@mail.ru*

References

1. Romanenkova O. S., Volkova V. V., Belous A. A., Reshetnikova A. A. Association of TNFAIP3 and CDS1 gene polymorphism with backfat thickness in pigs. *Swine Production*. 2024; 5: 32–34. DOI: 10.37925/0039-713X-2024-5-32-34. (In Russ.)

2. Molinero E., Pena R. N., Estany J., Ros-Freixedes R. A novel QTL region for pH and meat color in Duroc pigs. *Animal Genetics*. 2024; 55 (3): 465–470. DOI: 10.1111/age.13426.

3. Nicholas F. W., Tammen I. *OMIA:001685-9823: Online Mendelian Inheritance in Animals (OMIA)* [Internet] [cited 2026 Mar 13]. Sydney: Sydney Informatics Hub, The University of Sydney, 2024. Available from: https://omia.org/.

4. Ilie D. E., Băcilă V., Cean A., Cziszter L. T., Neo S. Screening of RYR1 genotypes in swine population by a rapid and sensitive method. *Romanian Biotechnological Letters*. 2014; 19 (2): 9170–9178.

5. Škrlep M., Kavar T., Čandek-Potokar M. Comparison of PRKAG3 and RYR1 gene effect on carcass traits and meat quality in Slovenian commercial pigs. *Czech Journal of Animal Science*. 2010; 55 (4): 159–171. DOI: 10.17221/51/2009-CJAS.

6. Snegin E. A., Snegina E. A., Barkhatov A. S., Artemchuk O. Yu., Yusupov S. R. Screening of the allele pool of the pig populations of various breeds in the Belgorod and Voronezh regions of Russia by the gene of the estrogen receptor gene ESR1. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2019; 13 (2): 2023–2026.

7. Stoykova-Grigorova R., Stefanova K., Bozhilova-Sakova M. Genetic variability in myostatin (MSTN) and ryanodine (RYR1) receptor genes in crossbred pigs Youna × Pietrain. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2023; 29 (2): 378–383.

8. Sheiko I. P., Sheiko R. A., Kazarovets I. A. DNA technologies in breeding. *Animal Husbandry of Russia*. 2025; 12: 25–27. DOI: 10.25701/ZZR.2025.12.004. (In Russ.)

9. Sheyko I. P., Pristupa N. V., Yanovich E. A., Timoshenko T. N. Genetic structure of animal herds in Landrace breed by marker genes RYR1, ECR F18/FUT1, MUC4 in breeding enterprises. *Scientific support of animal husbandry in Siberia: Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*. Krasnoyarsk, 2022. Pp. 355–359. (In Russ.)

10. Karpushkina T. V., Svezhentseva N. A., Fornara M. S., Bardukov N. V., Bakoev N. F., Kostyunina O. V. Assessment of the influence of ESR1 DNA marker on reproductive traits of Large White and Landrace pigs.

Biotechnology in plant growing, animal husbandry and agricultural microbiology: collection of abstracts of the 21st All-Russian Youth Scientific Conference. Moscow, 2021. Pp. 43–44. (In Russ.)

11. Balnikov A. A., Gridyushko I. F., Kazutova Yu. S., Mikhaylova M. E., Romanishko E. L. Evaluation Yorkshire and Landrace breeds of pigs according to PRKAG3, MC4R and MYOD1 marker genes. *Genetics and Breeding of Animals.* 2021; 2: 28–35. DOI: 10.31043/2410-2733-2021-2-28-35. (In Russ.)

12. Sheyko R. A., Kazarovets I. A. RYR1, ESR and H-FABP genes in pig breeding. *Animal Husbandry of Russia*. 2021; 2: 35–37. DOI: 10.25701/ZZR.2020.61.63.018. (In Russ.)

13. Romanishko E. L., Mikhaylova M. E., Sheyko R. I. Identification of 1843C>T polymorphism in RYR1 gene and 5860C>T polymorphism in DMD gene associated with stress sensitivity in pigs using KASP technology. *Molecular and Applied Genetics*. 2021; 30: 61–67. DOI: 10.47612/1999-9127-2021-30-61-67. (In Russ.)

14. Sheyko I. P., Sheyko R. I., Pristupa N. V., Yanovich E. A., Portnaya T. V., Burnos A. Ch., Kaskasian M. A. Breeding and genetic parameters of Landrace pigs in breeding enterprises of the Republic of Belarus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2025; 69 (4): 342–352. DOI: 10.29235/1561-8323-2025-69-4-342-352. (In Russ.)

15. Balatsky V. N., Saienko A. M., Pena R. N., Buslyk T. V., Gibolenko O. S. Genetic diversity of pig breeds on ten production quantitative traits Loci. *Cytology and Genetics.* 2015; 49 (5): 299–307. DOI: 10.3103/S0095452715050023.

16. Tsereniuk O. M., Vashchenko P. A., Khokhlov A. M., Tsybenko V. H., Shostia G. M., Saenko A. M., Peka M. Y., Zhukorskyi O. M. Comparative characteristics of polymorphisms of melanocortin 4 and ryanodine 1 receptor genes of Myrhorod pigs before and after the African swine fever outbreak. *Agricultural Science and Practice*. 2023; 6 (2): 47–57. DOI: 10.15421/022387.

17. Tumino S., Carlentini M., Chessari G., Criscione A., Antoci A., Marletta D., Bordonaro S. Genetic variability of loci affecting meat quality and production in Nero Siciliano pig breed. *Animals*. 2025; 15 (14): 2143. DOI: 10.3390/ani15142143.

18. Xu J., Jiang A., Zhang C., Zheng Y., Zhang T., Zhou L. Potential of eight mutations for marker-assisted breeding in Chinese Lulai black pigs. *Canadian Journal of Animal Science*. 2022; 102 (3): 431–439. DOI: 10.1139/cjas-2021-0108.

19. Xie X., Huang C., Huang Y., Zou X., Zhou R., Ai H., Huang L., Ma J. Genetic architecture for skeletal muscle glycolytic potential in Chinese Erhualian pigs revealed by a genome-wide association study using 1.4M SNP array. *Frontiers in Genetics*. 2023; 14: 1141411. DOI: 10.3389/fgene.2023.1141411.

20. Čobanović N., Stanković S. D., Dimitrijević M., Suvajdžić B., Grković N., Vasilev D., Karabašić N. Identifying physiological stress biomarkers for prediction of pork quality variation. *Animals*. 2020; 10 (4): 614. DOI: 10.3390/ani10040614.

21. Corrigan J., Mares J., Hutzler J., Nonneman D., Burmeister D.M. The incidence of volatile anesthesia porcine stress syndrome in pigs (Sus scrofa domesticus) gives implications for physiology during anesthesia. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*. 2025; 64 (1): 179–188. DOI: 10.30802/AALAS-JAALAS-24-077.

22. Khayrullina O. I. Trends in production and consumption of major meat types in Russia. *Creative Economy*. 2021; 15 (5): 2245–2260. DOI: 10.18334/ce.15.5.112098. (In Russ.)

23. Sysa L. V., Sysa S. A. Main factors negatively affecting the condition of animals in a number of pig farms. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*. 2022; 3: 26–29. (In Russ.)

24. Uspeshnyy A. V., Gladkikh L. P., Semenov V. G., Nikitin D. A. Prevention of transport stress in pigs with PigStim complex immunotropic drugs. *Current Issues of Improving the Technology of Production and Processing of Agricultural Products*. 2021; 23: 488–492. (In Russ.)

25. Derks M. F. L., Megens H.-J., Frentiu F. D., Schraiber J. G., Evans Z. P., Megens M.-H., Crooijmans R. P. M. A., Groenen M. A. M. Balancing selection on a recessive lethal deletion with pleiotropic effects on two neighboring genes in the porcine genome. *PLoS Genetics*. 2018; 14 (9): e1007662. DOI: 10.1371/journal.pgen.1007662.

26. Sychev A. A., Snegin E. A., Artemchuk O.Yu., Barkhatov A. S., Yusupov S. R., Snegina E. A., Kazmin A. V., Yashkov A. A., Abramov A. P., Zavgorodniy V. V., Solovjov A. A., Kovalchuk I. V. The polymorphism in the dystrophin gene (DMD) of pigs belonging to commercial breeds in Russia and its impact on meat quality and carcass characteristics. *International Journal of Experimental and Environmental Science (IJEEES)*. 2021; 11 (4). DOI: 10.31407/ijees11.4.49.

27. Wu Q., Han Y., Wu X., Wang Y., Su Q., Shen Y., Guan K., Michal J. J., Jiang Z., Liu B., Zhou X. Integrated time-series transcriptomic and metabolomic analyses reveal different inflammatory and adaptive immune responses contributing to host resistance to PRRSV. *Frontiers in Immunology*. 2022; 13: 960709. DOI: 10.3389/fimmu.2022.960709.

28. Romanenkova O. S., Kostyunina O. V. Distribution of LOF mutations in farm animals on the example of HH6 and BBS9. *Current trends in the development of agricultural science: collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference*. Bryansk, 2022. Pp. 527–529. (In Russ.)

29. Bakoeva G. M., Lukonin N. V. Polymorphism of the DMD gene in pigs as a potential marker of stress sensitivity and an object of genomic control in breeding. *Abstracts of the 38th Student Scientific School*. Moscow, 2026. P. 30. (In Russ.)

30. Romanenkova O. S., Kostyunina O. V. Diagnostics of mutation in PHKG1 gene determining PSE syndrome in pigs. *Animal Husbandry and Feed Production*. 2023; 106 (4): 68–79. DOI: 10.33284/2658-3135-106-4-68. (In Russ.)

31. Zappaterra M., Dalal Sami D., Davoli R. Association between the splice mutation g.8283C>A of the PHKG1 gene and meat quality traits in Large White pigs. *Meat Science*. 2019; 148: 38–40. DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.10.003.

32. Karpushkina T. V., Svezhentseva N. A., Fornara M. S., Bardukov N. V., Kostyunina O. V. Assessment of the influence of IGF2 gene polymorphism in boars on economically significant traits. *Journal of Animal Science*. 2021; 99 (S3): 499. DOI: 10.1093/jas/skab235.879.

33. Liu Y., Li H., Wang Y., Zhang Y., Li X., Wang J., Zhang Q. Heat shock protein 90 and prolyl hydroxylase 2 co-regulate hypoxia-inducible factor-1α expression in porcine small intestinal epithelial cells under heat stress. *Journal of Thermal Biology*. 2024; 122: 103881. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2024.103881.

34. Vinogradova I. V., Romanenkova O. S., Kostyunina O. V. LOF mutations in pigs (review). *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*. 2022; 3: 39–44. DOI: 10.52463/22274227_2022_43_39. (In Russ.)

35. Bykova A. A., Shvager O. V. Effect of the anti-stress drug Phospasim on veterinary and sanitary characteristics of pork. *Izvestia of Orenburg State Agrarian University*. 2021; 6: 269–273. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-92-6-269-273. (In Russ.)

36. Gourdine J. L., Rauw W. M., Gilbert H., Poullet N. The genetics of thermoregulation in pigs: a review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021; 8: 770480. DOI: 10.3389/fvets.2021.770480.

37. Yong Y., Wang X., He J., Liu Y., Zhang Q. Overexpression of heat shock protein 70 induces apoptosis of intestinal epithelial cells in heat-stressed pigs: a proteomics approach. *Journal of Thermal Biology*. 2022; 101: 103103. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2021.103103.

38. Kazantseva A., Bilyalov A., Filatov N., Perepechenov S., Gusev O. Genetic contributions to aggressive behaviour in pigs: a comprehensive review. *Genes*. 2025; 16 (5): 534. DOI: 10.3390/genes16050534.

39. Eken B. F., Savci A. A., Polat T., Yilmaz O. O., Aslan Tacal B., Oktay S., Ulucan K. Preliminary findings of the distribution of alpha-2-adrenergic receptor (ADRA2A) rs1800544 polymorphisms in kickboxing players. *Clinical and Experimental Health Sciences*. 2021; 11 (4): 742–745. DOI: 10.33808/clinexphealthsci.863591.

40. Zhang C., Yang H., Xu Q., Wang Y., Li X., Liu Y. Comprehensive genome and transcriptome analysis identifies SLCO3A1 associated with aggressive behavior in pigs. *Biomolecules*. 2023; 13 (9): 1381. DOI: 10.3390/biom13091381.

Authors information:

Mariya A. Kolosova, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the pig breeding and selection department, All-Russian Research Institute for Breeding, Lesnye Polyany settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0000-0003-2979-7108, AuthorID 695089. *E-mail: m.leonovaa@mail.ru*

Dmitry G. Shichkin, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the pig breeding and selection department, All-Russian Research Institute for Breeding, Lesnye Polyany settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0009-0007-6223-4135, AuthorID 1207957. *E-mail: vnplem.dshichkin@mail.ru*

Nataliya V. Bashmakova, researcher at the pig breeding and selection department, All-Russian Research Institute for Breeding, Lesnye Polyany settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0009-0001-4475-4205, AuthorID 1018559. *E-mail: n.bashmakova@vniiplem.ru*

Irina S. Antipova, software engineer at the pig breeding and selection department, All-Russian Research Institute for Breeding, Lesnye Polyany settlement, Moscow region, Russia; ORCID 0009-0002-3604-1237, AuthorID 1258246. *E-mail: antipovais@mail.ru*

УДК 634.723.1:575.113.2
Код ВАК 4.1.2
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1993-2008

Совершенствование инструментов генетической идентификации смородины черной с использованием микросателлитных маркеров

М. В. Модоров[1]✉, О. А. Киселева[1], Е. М. Чеботок[1], А. О. Савина[1], М. А. Полежаева[2]
[1] Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
[2] Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
✉*E-mail: mmodorov@gmail.com*

Аннотация. Генетические тесты активно используют для индивидуальной идентификации особей, а также подтверждения и восстановления родословных. Для ягодных культур генетическая идентификация необходима для обеспечения сортовой чистоты и защиты прав оригинатора, позволяет устанавливать родителей в случае свободного опыления культуры либо при использовании оригинатором смеси пыльцы. **Цель** работы – совершенствование технологии мультиплексной ПЦР для генетической идентификации сортообразцов смородины черной. **Методы** работы опираются на использование выложенных в открытый доступ данных о полных последовательностях ядерного генома *Ribes nigrum* и применение мультиплексной ПЦР с последующим анализом размеров продуктов амплификации. Дана оценка показателей генетического разнообразия 48 сортообразцов смородины черной, а именно количества аллелей в локусе (*N*), эффективного количества аллелей на локус (*Ne*), ожидаемой гетерозиготности (*He*), индексов индивидуальной идентификации *PI*, PI_{sibs} и индексов исключения родителей *P1*, *P2* и *P3*. **Научная новизна.** Дана характеристика 51 микросателлитного локуса, ранее предложенного для популяционно-генетических исследований смородины, с учетом новых сведений о прочтенных геномах, уточнена локализация локусов, описаны вырожденные праймеры и мотивы микросателлитов; отобрано 8 локусов (*g2-B20*, *e4-D03*, *e3-B02*, *g1-L12*, *g1-K04*, *g2-J08*, *g2-H21*, *g2-G12*), которые могут быть проанализированы с использованием мультиплексной реакции «в одной пробирке», подобраны условия этой реакции. **Результаты.** Проанализирована изменчивость 48 сортообразцов смородины черной из коллекции Свердловской селекционной станции садоводства, приведены генетические профили этих сортов. Индексы индивидуальной идентификации для всей панели маркеров составляют $PI = 3{,}6 \times 10^{-6}$, $PI_{sibs} = 4{,}9 \times 10^{-3}$, индексы исключения родителей: *P1* = 0,977, *P2* = 0,870, *P3* = 0,998. Предложенный мультиплекс может быть использован для индивидуальной идентификации особей смородины черной, отобранных в панмиксной популяции. Для генетической идентификации сиблингов необходимо использовать дополнительные локусы. Мультиплекс можно использовать для подтверждения достоверности происхождения сортообразцов от двух родителей.

Ключевые слова: *Ribes nigrum*, SSR, индекс индивидуальной идентификации, индекс исключения, мультиплекс, генетический профиль, микросателлит, геном

Благодарности. Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания НИОКР по теме № 0532-2026-0017 «Мобилизация генетических ресурсов плодовых и ягодных культур с внедрением молекулярно-генетических технологий для развития продовольственной безопасности и формирования технологического суверенитета в регионах с суровыми климатическими условиями».

Для цитирования: Модоров М. В., Киселева О. А., Чеботок Е. М., Савина А. О., Полежаева М. А. Совершенствование инструментов генетической идентификации смородины черной с использованием микросателлитных маркеров // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 1993–2008. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1993-2008.

Дата поступления статьи: 08.08.2026, ***дата рецензирования:*** 10.09.2026, ***дата принятия:*** 24.09.2026.

© Modorov M. V., Kiseleva O. A., Chebotok M. A., Savina A. O., Polezhaeva M. A., 2026

Improvement of genetic identification tools for black currant using microsatellite markers

M. V. Modorov[1]✉, O. A. Kiseleva[1], E. M. Chebotok[1], A. O. Savina[1], M. A. Polezhaeva[2]
[1] Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Science, Ekaterinburg, Russia
[2] Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia
✉*E-mail: mmodorov@gmail.com*

Abstract. Genetic tests are widely employed for individual identification, as well as for pedigree reconstruction and confirmation. For berry crops, it is necessary to ensure cultivar purity and protect the rights of the originator, and to be able to establish parentage in the case of open pollination of the crop or when the originator uses a pollen mixture. **The purpose** of the study is to improve the PCR multiplex for the genetic identification of blackcurrant cultivars (*Ribes nigrum* L.). **Methods.** Using open-access data on the complete nuclear genome sequences of *R. nigrum*, we improved the PCR multiplex. Genetic diversity parameters and indices were calculated for the sample, including the number of alleles per locus (*N*), the effective number of alleles per locus (*Ne*), expected heterozygosity (*He*), individual identification indices (*PI*, PI_{sibs}), and parentage exclusion indices (P1, P2, and P3). **Scientific novelty.** We characterized 51 microsatellite loci previously proposed for population genetic studies of currant, refined locus localization, and described degenerate primers and microsatellite motifs; additionally, we selected eight loci (*g2-B20*, *e4-D03*, *e3-B02*, *g1-L12*, *g1-K04*, *g2-J08*, *g2-H21*, *g2-G12*) suitable for one-tube multiplex analysis and optimized the reaction conditions. **Results.** The article describes the variability of 48 blackcurrant cultivars from the collection of the Sverdlovsk Breeding Station of Horticulture and provides genetic profiles of these cultivars. Individual identification indices for the entire marker panel are $PI = 3.6 \times 10^{-6}$ and $PI_{sibs} = 4.9 \times 10^{-3}$; parentage exclusion indices are $P1 = 0.977$, $P2 = 0.870$, and $P3 = 0.998$. The PCR multiplex is proposed for individual identification of blackcurrant selected in a panmictic population. Additional loci should be used for genetic identification of siblings. The multiplex is suitable for confirming the authenticity of the parentage of cultivar samples from two parents.

Keywords: *Ribes nigrum,* SSR, individual identification index, exclusion index, multiplex, genetic profile, microsatellite, genome

Acknowledgments. The study was conducted as part of the State Assignment on the topic No. 0532-2026-0017, “Mobilization of genetic resources of fruit and berry crops using molecular-genetic technologies to enhance food security and establish technological sovereignty in regions with harsh climatic conditions”.

For citation: Modorov M. V., Kiseleva O. A., Chebotok M. A., Savina A. O., Polezhaeva M. A. Improvement of genetic identification tools for blackcurrant using microsatellite markers. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 1993–2008. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-1993-2008. (In Russ.)

Date of paper submission: 08.08.2026, ***date of review:*** 10.09.2026, ***date of acceptance:*** 24.09.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Смородина – одна из самых популярных ягодных культур [1]. Среди представителей различных видов смородин наиболее востребованными как для промышленного, так и любительского садоводства являются сорта, полученные на основе смородины черной (*Ribes nigrum* L.) [2; 3]. Как и для других культур, для нее важно обеспечение сортовой чистоты. Современным методом быстрого и точного определения сортовой принадлежности растений является генетическая идентификация, для проведения которой хорошо подходят микросателлитные маркеры ядерного генома (simple sequence repeat, SSR-маркеры или микросателлиты) [4–8].

Число исследований, посвященных анализу изменчивости микросателлитных локусов смородины черной, не очень велико [3; 9–16]. Почти во всех них были использованы маркеры, предложенные в двух работах Р. Бреннана с соавторами, в которых был описан 51 SSR-локус [2; 10]. Для большинства этих локусов в 2008 и 2014 годах была определена позиция на генетических картах [10; 17].

В 2024 году для решения задачи генетической идентификации смородины черной нами была разработана мультиплексная реакция, включающая 8 SSR-маркеров [16]. Мультиплекс имел недостатки, затрудняющие интерпретацию фореграмм в одном из локусов. За непродолжительный период, про-

©Модоров М. В., Киселева О. А., Чеботок Е. М., Савина А. О., Полежаева М. А., 2026

шедший с выполнения этой работы, в свободный доступ на сайте Национального центра биотехнологической информации США (NCBI) было выложено три прочтенных ядерных генома *R. nigrum*. Новые данные существенно расширяют возможности популяционно-генетических исследований черной смородины. С их помощью можно дать более детальное описание ранее разработанных локусов, а именно определить их позицию и мотивы, сравнить последовательности в области «посадки» праймеров, обнаружить выпадения или вставки нуклеотидов, влияющих на длину фрагментов, помимо мутаций в числе мотивов, а также разработать более специфичные праймеры. Кроме решения задач индивидуальной или сортовой идентификации, микросателлитные локусы хорошо подходят для решения вопросов, связанных с подтверждением и восстановлением родословных [18; 19].

Цель работы – совершенствование технологии мультиплексной реакции-для генетической идентификации сортообразцов смородины черной.

Методология и методы исследования (Methods)

Характеристика исследуемых локусов

В настоящее время в NCBI выложены три ядерных генома *R. nigrum*. Один собран до уровня хромосом (GCA_965278215.1), два – до уровня скаффолд (GCA_965278195.1, GCA_965236665.1). Мы провели определение мест «посадки» прямого и обратного праймеров для каждого из 51 локуса, предложенных в работах Р. Бреннана [2; 10], с использованием приложения BLAST внутри базы данных NCBI (https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi). В качестве референса для выявления комплементарной локализации последовательностей праймеров использовали ядерный геном со сборкой до уровня хромосом. Оценили число таких «посадочных» мест для каждого праймера и выявляли межпраймерные области размером от 100 до 400 пар нуклеотидов (п. н.). Далее с использованием BLAST определяли комплементарные данным межпраймерным областям последовательности в двух оставшихся геномах, после чего проводили выравнивание последовательностей, включающих места «посадки» праймеров и межпраймерные области во всех трех геномах, используя алгоритм ClustalO в программе Unipro UGEN v.40.0 [20]. Отмечали наличие генетической изменчивости в местах «посадки» праймеров, размер фрагментов межпраймерных областей и характер тандемных повторов в них, опираясь на геном более полной сборки GCA_965278215.1 (таблица 1).

Получение новых данных об изменчивости микросателлитных локусов. Место проведения исследований – Свердловская селекционная станция садоводства УНУ «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале» (Свердловская ССС ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Екатеринбург), Лаборатория молекулярной генетики плодовых и ягодных культур.

Объекты – 48 сортообразцов, у которых была проанализирована изменчивость 12 микросателлитных локусов: *g2-B20*, *g1-D11*, *g2-H21*, *g1-P21*, *g3-A17*, *g1-L12*, *g1-B02*, *g2-J11*, *g1-P08*, *g1-F04*, *g1-H09*, *g1-G11*. По результатам тестов для мультиплексной реакции было отобрано 8 маркеров, включая локусы, протестированные нами ранее, а именно *g1-K04*, *g2-J08*, *e4-D03*, *e3-B02*, *g2-G12* (таблица 2) [16].

ДНК выделяли CTAB-методом с модификацией в виде двойной очистки смесью с изоамилхлороформом [21]. ПЦР проводили в реакционной смеси объемом 10 мкл: 1X Tersus Plus буфер и 1X смеси Tersus полимераз (Евроген, РФ), 0.2 мМ каждого dNTP, 1,75 мМ $MgCl_2$, 10-100 нг ДНК. Финальный состав и концентрации 8 пар праймеров приведены в таблице 2. 5’-конец каждого прямого (F) праймера был помечен одним из четырех флуорофоров: FAM, R6G, TAMRA или ROX. Термоциклирование с использованием прибора CFX96 Touch (Bio-Rad, USA) вели по следующему протоколу: 98 °C – 3 мин., затем 4 цикла [98 °C – 30 с, 60 °C – 90 с, 72 °C – 60 с], затем 31 цикл [95 °C – 30 с, 60 °C – 90 с, 72 °C – 60 с], финальная элонгация в течение 30 минут при 68 °C. Длины амплифицированных фрагментов определяли на генетическом анализаторе «Нанофор-05» («Синтол», РФ) в присутствии размерного стандарта S-550 («Гордиз», РФ). Электрофореграммы расшифровывали в программе GeneMapper® Software Version 4.0 (Applied Biosystems, USA).

Статистическая обработка данных

Для определения величины генетического разнообразия выборки оценивали количество аллелей в локусе (*N*), эффективное количество аллелей на локус (*Ne*) и ожидаемую гетерозиготность (*He*). Определяли вероятность случайного совпадения генотипов растений как по каждому локусу, так и для всей панели маркеров: рассчитали индекс *PI* (вероятность обнаружения особей с идентичным генотипом в панмиксной популяции) и индекс PI_{sibs} (характеризует эту вероятность в группе сиблингов) [22]. Рассчитывали индексы исключения родителей *P1*, *P2* и *P3* [18; 19]. Индекс *P1* описывает ситуацию, в которой точно известен один из родителей (например, материнское растение) и тестируется растение, от которого предположительно была получена пыльца. В случае если у потенциального отца и потомка в локусе есть сходная аллель, индекс покажет вероятность того, что подобное совпадение случайно. Индекс *P2* – тестируется один из родителей, а информация о втором родителе отсутствует. Индекс *P3* при одновременном тестировании двух родителей. Все расчеты проведены в программе GenAlEx v. 6.51b2 [23].

Таблица 1

Характеристика микросателлитных локусов черной смородины, предложенных в работах Р. Бреннана с соавторами, с учетом информации о трех прочтенных геномах *R. nigrum*

№	Название локуса и его позиция согласно (Brennan, et al., 2002; Brennan, et al., 2008; Russell, et al., 2014)		Позиция и мотив локуса, характеристика праймеров в геноме *R. nigrum* GCA_965278215.1			Длина фрагментов в трех прочтенных геномах, п. н.	LG**
			Хромосома: позиция	Мотив	Число мест «посадки» *F*/*R* праймеров в геноме*		
1	*e3-M04*	3: 63.68	1: 10 611 913 – 10 612 243	$(AT)_4(GA)_4(AG)_{16}(GA)_5$	0 (1, 0) / 1	331, 337	Ia
2	*RJL-1*		1: 16 725 571 – 16 725 734	$(TCA)_4$	1 / 0 (1)	167	Ia
3	*g2-B20*	3: 59.86	1: 81 663 731 – 81 663 885	$(TG)_6(AG)_{11}$	1/ 1	155, 157	Ib
4	*g1-O17*	1: 39.28	1: 95 887 479 – 95 887 689	$(TC)_{16}$	33 / 1	201, 211	Ib/Ic
5	*e4-D03*	3: 0.50	1: 127 778 764 – 127 778 966	$(CT)_7$	1 / 1	203, 209	Ic
6	*e3-B02*	5: 6.70	2: 7 051 726 – 7 051 892	$(CTT)_6$	3 / 1	167	IIa
7	*RJL-4*		2: 35 537 737 – 35 537 934	$(GAA)_4$	1 / 1	198	IIa
8	*g2-N20*	5: 35.55	2: 42 247 337 – 42 247 570	$(TC)_{10}(GCATA)_2(GCAGA)_1$	1 / 1	234, 249	IIa
9a	*g1-A01 (= RJL-2)*	5: 40.68	2: 100 027 065 – 100 027 275	$(AG)_9$	1 / 0 (1)	211	IIb
9b	*g1-L12 (= RJL-11)*	5: 40.75	2: 100 027 065 – 100 027 283	$(AG)_9$	1 / 1	219	IIb
10	*gr2-J05*	1: 46.62	2: 115 731 986 – 115 732 165	(CT)8	1 / 1	180	IIb
11	*g1-E03*	1: 45*	3: 28 656 595 – 28 656 833	$(CT)_{15}$	1 / 1	237, 239	IIIa
12	*g1-K04 (= RJL-6)*	1: 39.78	3: 79 423 584 – 79 423 876	$(GA)_6(GA)_{14}$	1 / 1	291, 293, 297	IIIb
13	*e1-O20*	1: 45.62	3: 86 880 056 – 86 880 249	$(AT)_7$	1 / 1	194	IIIb
14	*g2-D05*	1: 51.1	3: 99 008 096 – 99 008 277	$(GA)_{14}(TGG)_3$	1 (0, 0) / 0 (1)	177, 182, 183	IIIb
15a	*RJL-5*		3: 100 283 791 – 100 284 056	$(CT)_{13}(CTTT)_2(TA)_4$	1 / 1	266, 276, 288	IIIb
15b	*g1-P05*	1: 53.54	3: 100 283 853 – 100 284 056	$(CT)_{13}(CTTT)_2(TA)_4$	1 / 1	204, 214, 226	IIIb
16	*g1-M07 (= RJL-7)*	1: 55.91	3: 102 033 053 – 102 033 268	$(CT)_{13}(CT)_{12}$	0 (1) / 1	216, 222	IIIb
17	*g1-P08 (= RJL-10)*	4: 61.35	5: 16 170 398 – 16 170 666	$(TC)_6(TC)_4$	4 / 0 (1)	269	Va
18	*gr1-F07*	2: 55.08	5: 64 301 024 – 64 301 196	$(TC)_8(TC)_8(CT)_6(TC)_8$	1 / 1 (5)	173	Vb
19	*g1-P01*	2: 54.47	5: 72 211 104 – 72 211 358	$(CT)_{18}(CT)_6(TC)_4(TC)_4$	4 / 1	239, 249, 255	Vb
20	*g2-J08*	2: 55.04	5: 84 748 755 – 84 748 912	$(AG)_9(CATCTT)_5$	1/ 1	158	Vb
21	*e2-L15*	5: 53*	5: 88 578 006 – 88 578 164	$(AAG)_4$	1 / 2	159	Vb
22	*g1-G06*	2: 51.5 2: 54.13	5: 95 665 033 – 95 665 265	$(TC)_4(TC)_4(CGT)_4$	77 / 1	196	Vb
23	*g2-H21*	4: 64.01	6: 4 922 672 – 4 922 916	$(AG)_6(AG)_7(TA)_6$	9 / 1	243, 245	VIa
24	*g2-L17*	4: 62.30	6: 6 226 494 – 6 226 651	$(CT)_9(CT)_4(CT)_4(AG)_4$	1/1	145, 158	VIa
25	*gr2-N15*	4: 61.47	6: 10 699 962 – 10 700 201	$(CAA)_4(CAT)_4$	2 / 5	232, 235, 240	VIa
26	*e1-O21*	4: 61.56	6: 12 326 100 – 12 326 393	$(TG)_5(TA)_6(CTT)_8$	1/1	291, 294	VIa
27	*gr2-N24*	4: 61.40	6: 73 246 917 – 73 247 130	$(TGA)_4(TGA)_5$	1 / 1	214	VIb

28	*g2-J11*	7: 69.60	7: 17 107 002 – 17 107 167	$(CT)_{21}$	1 / 0 (11)	168, 185	VIIa
29	*g2-G12*	7: 69.44	7: 23 588 027 – 23 588 212	$(AG)_{12}$	1 / 1	174, 186	VIIa
30	*RJL-3*		7: 41 385 816 – 41 385 953	$(AG)_{15}$	1 / 0 (1)	138	VIIa
31	*g1-I02*	6: 16.60	7: 53 183 087 – 53 183 292	$(TC)_6(CT)_{10}$	0 (1) / 1	206	VIIa
32	*g1-G11*	7: 69.58	7: 53 685 102 – 53 685 331	$(CTG)_5$	1 / 4	230	VIIa
33	*g3-A17*	7: 69.51	7: 58 389 514 – 58 389 651	$(AG)_{12}$	1 (0) / 2	132, 138	VIIa
34	*g1-D11*	6: 15.15	8: 38 212 761 – 38 212 996	$(TC)_{10}$	1 / 2	234, 236	VIIIa
35	*e1-O01*	6: 16.61	8: 51 959 935 – 51 960 076	$(AG)_9$	1 / 1	142, 148	VIIIa
36	*g1-P21*	6: 37.02 6: 39.84	8: 77 947 003 – 77 947 174	$(CT)_{12}(CT)_4$	0 (1) / 1	143, 172	VIIIa
37	*g2-M19*	3: 60.09 3: 61.08	1: 81 583 025 – 81 583 251 1: 81 588 524 – 81 588 786 1: 81 592 631 – 81 592 919		3 / 0 (7)		
38	*g1-O02*	5: 54.95	2: 103 952 050 – 103 952 219 6: 99 805 254 – 99 805 382	$(CT)_8(CT)_8$ $(CT)_{10}$	0 (4)/ 2	173 132, 133, 134	
39	*g2-P03*	1: 41.46 1: 43.29	3: 87 733 807 – 87 734 099 3: 87 987 811 – 87 988 040	$(TC)_4(TC)_{11}$ $(TC)_4(TC)_8$	13 / 2 (0)		
40	*RJL-8*		1: 5 226 459 – 5 226 651 1: 111 826 033 – 111 826 225 3: 110 155 106 – 110 155 292 3: 110 208 513 – 110 208 705 8: 72 882 613 – 72 882 805				
41	*RJL-9*		1: 14 964 291 – 14 964 495 1: 18 811 126 – 18 811 328 2: 8 880 784 – 8 880 986 2: 29 101 646 – 29 101 848 4: 3 334 710 – 3 334 914 4: 96 639 257 – 96 639 461 5: 60 419 138 – 60 419 342 8: 45 530 468 – 45 530 670				
42	*g1-B02*	2: 54.44	5: 61 029 800 – 61 032 558 5: 61 051 106 – 61 053 864		6 / 2	2758 2758	
43	*g1-F04*	4: 60.89 4: 61.43			144 / 57		
44	*g1-H09*	5: 38.99			184 / 7		

*Примечание. * В скобках указано число мест в геноме, комплементарных последовательностям праймеров, приведенным в таблице 3. ** Группы сцепления выделены нами (см. текст).*

Table 1

Characterization of microsatellite loci of blackcurrant proposed in the works of R. Brennan, et al. (2002, 2008), taking into account information from three sequenced R. nigrum genomes

No.	Locus name and its position according to (Brennan, et al., 2008; Brennan, et al., 2008; Russell, et al., 2014)		Position and motif of the locus, characterization of primers in the R. nigrum genome GCA_965278215.1			Fragment length in three sequenced genomes, bp	LG**
			Ch: position	Microsatellite repeat units	Number of F/R primer binding sites in the genome*		
1	e3-M04	3: 63.68	1: 10 611 913 – 10 612 243	$(AT)_4(GA)_4(AG)_{16}(GA)_5$	0 (1, 0) / 1	331, 337	Ia
2	RJL-1		1: 16 725 571 – 16 725 734	$(TCA)_4$	1 / 0 (1)	167	Ia
3	g2-B20	3: 59.86	1: 81 663 731 – 81 663 885	$(TG)_6(AG)_{11}$	1/ 1	155, 157	Ib
4	g1-O17	1: 39.28	1: 95 887 479 – 95 887 689	$(TC)_{16}$	33 / 1	201, 211	Ib/ Ic
5	e4-D03	3: 0.50	1: 127 778 764 – 127 778 966	$(CT)_7$	1 / 1	203, 209	Ic
6	e3-B02	5: 6.70	2: 7 051 726 – 7 051 892	$(CTT)_6$	3 / 1	167	IIa
7	RJL-4		2: 35 537 737 – 35 537 934	$(GAA)_4$	1 / 1	198	IIa
8	g2-N20	5: 35.55	2: 42 247 337 – 42 247 570	$(TC)_{10}(GCATA)_2(GCAGA)_1$	1 / 1	234, 249	IIa
9a	g1-A01 (= RJL-2)	5: 40.68	2: 100 027 065 – 100 027 275	$(AG)_9$	1 / 0 (1)	211	IIb
9b	g1-L12 (= RJL-11)	5: 40.75	2: 100 027 065 – 100 027 283	$(AG)_9$	1 / 1	219	IIb
10	gr2-J05	1: 46.62	2: 115 731 986 – 115 732 165	(CT)8	1 / 1	180	IIb
11	g1-E03	1: 45*	3: 28 656 595 – 28 656 833	$(CT)_{15}$	1 / 1	237, 239	IIIa
12	g1-K04 (= RJL-6)	1: 39.78	3: 79 423 584 – 79 423 876	$(GA)_6(GA)_{14}$	1 / 1	291, 293, 297	IIIb
13	e1-O20	1: 45.62	3: 86 880 056 – 86 880 249	$(AT)_7$	1 / 1	194	IIIb
14	g2-D05	1: 51.1	3: 99 008 096 – 99 008 277	$(GA)_{14}(TGG)_3$	1 (0, 0) / 0 (1)	177, 182, 183	IIIb
15a	RJL-5		3: 100 283 791 – 100 284 056	$(CT)_{13}(CTTT)_2(TA)_4$	1 / 1	266, 276, 288	IIIb
15b	g1-P05	1: 53.54	3: 100 283 853 – 100 284 056	$(CT)_{13}(CTTT)_2(TA)_4$	1 / 1	204, 214, 226	IIIb
16	g1-M07 (= RJL-7)	1: 55.91	3: 102 033 053 – 102 033 268	$(CT)_{13}(CT)_{12}$	0 (1) / 1	216, 222	IIIb
17	g1-P08 (= RJL-10)	4: 61.35	5: 16 170 398 – 16 170 666	$(TC)_6(TC)_4$	4 / 0 (1)	269	Va
18	gr1-F07	2: 55.08	5: 64 301 024 – 64 301 196	$(TC)_8(TC)_8(CT)_6(TC)_8$	1 / 1 (5)	173	Vb
19	g1-P01	2: 54.47	5: 72 211 104 – 72 211 358	$(CT)_{18}(CT)_6(TC)_4(TC)_4$	4 / 1	239, 249, 255	Vb
20	g2-J08	2: 55.04	5: 84 748 755 – 84 748 912	$(AG)_9(CATCTT)_5$	1/ 1	158	Vb
21	e2-L15	5: 53*	5: 88 578 006 – 88 578 164	$(AAG)_4$	1 / 2	159	Vb
22	g1-G06	2: 51.5 2: 54.13	5: 95 665 033 – 95 665 265	$(TC)_4(TC)_4(CGT)_4$	77 / 1	196	Vb
23	g2-H21	4: 64.01	6: 4 922 672 – 4 922 916	$(AG)_6(AG)_7(TA)_6$	9 / 1	243, 245	VIa
24	g2-L17	4: 62.30	6: 6 226 494 – 6 226 651	$(CT)_9(CT)_4(CT)_4(AG)_4$	1/1	145, 158	VIa
25	gr2-N15	4: 61.47	6: 10 699 962 – 10 700 201	$(CAA)_4(CAT)_4$	2 / 5	232, 235, 240	VIa
26	e1-O21	4: 61.56	6: 12 326 100 – 12 326 393	$(TG)_5(TA)_6(CTT)_8$	1/1	291, 294	VIa

27	gr2-N24	4: 61.40	6: 73 246 917 – 73 247 130	$(TGA)_4(TGA)_5$	1 / 1	214	VIb
28	g2-J11	7: 69.60	7: 17 107 002 – 17 107 167	$(CT)_{21}$	1 / 0 (11)	168, 185	VIIa
29	g2-G12	7: 69.44	7: 23 588 027 – 23 588 212	$(AG)_{12}$	1 / 1	174, 186	VIIa
30	RJL-3		7: 41 385 816 – 41 385 953	$(AG)_{15}$	1 / 0 (1)	138	VIIa
31	g1-I02	6: 16.60	7: 53 183 087 – 53 183 292	$(TC)_6(CT)_{10}$	0 (1) / 1	206	VIIa
32	g1-G11	7: 69.58	7: 53 685 102 – 53 685 331	$(CTG)_5$	1 / 4	230	VIIa
33	g3-A17	7: 69.51	7: 58 389 514 – 58 389 651	$(AG)_{12}$	1 (0) / 2	132, 138	VIIa
34	g1-D11	6: 15.15	8: 38 212 761 – 38 212 996	$(TC)_{10}$	1 / 2	234, 236	VIIIa
35	e1-O01	6: 16.61	8: 51 959 935 – 51 960 076	$(AG)_9$	1 / 1	142, 148	VIIIa
36	g1-P21	6: 37.02 6: 39.84	8: 77 947 003 – 77 947 174	$(CT)_{12}(CT)_4$	0 (1) / 1	143, 172	VIIIa
37	g2-M19	3: 60.09 3: 61.08	1: 81 583 025 – 81 583 251 1: 81 588 524 – 81 588 786 1: 81 592 631 – 81 592 919		3 / 0 (7)		
38	g1-O02	5: 54.95	2: 103 952 050 – 103 952 219 6: 99 805 254 – 99 805 382	$(CT)_8(CT)_8$ $(CT)_{10}$	0 (4)/ 2	173 132, 133, 134	
39	g2-P03	1: 41.46 1: 43.29	3: 87 733 807 – 87 734 099 3: 87 987 811 – 87 988 040	$(TC)_4(TC)_{11}$ $(TC)_4(TC)_8$	13 / 2 (0)		
40	RJL-8		1: 5 226 459 – 5 226 651 1: 111 826 033 – 111 826 225 3: 110 155 106 – 110 155 292 3: 110 208 513 – 110 208 705 8: 72 882 613 – 72 882 805				
41	RJL-9		1: 14 964 291 – 14 964 495 1: 18 811 126 – 18 811 328 2: 8 880 784 – 8 880 986 2: 29 101 646 – 29 101 848 4: 3 334 710 – 3 334 914 4: 96 639 257 - 96 639 461 5: 60 419 138 – 60 419 342 8: 45 530 468 – 45 530 670				
42	g1-B02	2: 54.44	5: 61 029 800 – 61 032 558 5: 61 051 106 – 61 053 864		6 / 2	2758 2758	
43	g1-F04	4: 60.89 4: 61.43			144 / 57		
44	g1-H09	5: 38.99			184 / 7		

*Note. * The number of sites in the genome complementary to the primer sequences listed in Table 3 is indicated in parentheses. ** Linkage groups were identified by us (see text).*

Таблица 2

Характеристика микросателлитных локусов мультиплексной панели маркеров

Локус	Ch	LG	Флуорофор	Диапазон длин фрагментов, п. н.	Концентрация праймеров, мкМ
g2-B20	1	Ib	FAM	126–160	0,03
e4-D03	1	Ic	R6G	198–246	0,12
e3-B02	2	IIa	ROX	164–173	0,40
g1-L12	2	IIb	ROX	217–231	0,40
g1-K04	3	IIIb	R6G	286–300	0,71
g2-J08	5	Vb	R6G	156–162	0,03
g2-H21	6	VIa	FAM	247–261	0,04
g2-G12	7	VIIa	TAMRA	172–190	0,47

Примечание. Chr. – номер хромосомы смородины черной в геноме drRibNigr1.hap1.1, LG – группы сцепления.

Table 2

Characterization of microsatellite loci of a multiplex marker panel

Loci	*Ch*	*LG*	*Fluorophore*	*Fragment length range, bp*	*Primer concentration, μM*
g2-B20	*1*	*Ib*	*FAM*	*126–160*	*0,03*
e4-D03	*1*	*Ic*	*R6G*	*198–246*	*0,12*
e3-B02	*2*	*IIa*	*ROX*	*164–173*	*0,40*
g1-L12	*2*	*IIb*	*ROX*	*217–231*	*0,40*
g1-K04	*3*	*IIIb*	*R6G*	*286–300*	*0,71*
g2-J08	*5*	*Vb*	*R6G*	*156–162*	*0,03*
g2-H21	*6*	*VIa*	*FAM*	*247–261*	*0,04*
g2-G12	*7*	*VIIa*	*TAMRA*	*172–190*	*0,47*

Note. Chr. – blackcurrant chromosome number in drRibNigr1.hap1.1 genome, LG – linkage groups.

Таблица 3

Корректировка последовательности праймеров, предложенных в работах Р. Бреннана с соавторами [2; 10], с учетом информации о последовательностях трех прочтенных геномов *Ribes nigrum*

№	Локус	Последовательность праймера, предложенная Р. Бреннаном с соавторами	Последовательность праймера, комплементарная геному
1	*e3-M04 F*	CTTACCCACCCCACCACC	CTTCCCCACCCCACCACA CTTACCCACCCCACCACA
2	*RJL-1 R*	GTGACCTGGGGTTGAGATTG	GACACCTGGGGTTGAGATTG
9a	*g1-A01 R*	CGTAGCCACGTAGTTCCACA	CGTAACCACGTAGTTCCACA
14	*g2-D05 F*	ACCACCGCACCACTTTAGTC	ACCACCGCACCACTTTAGTC ACCACCGCACCACTTTTGTC ACAACCGCACCACTTTTGTC
14	*g2-D05 R*	TGGCTGCACAATCACTTCTC	TGGCTGCACAATCACTTCTC TGGCTGCACGATCACTTCTC
16	*g1-M07 F*	TCCCGTTACTGGAGTGGTGT	TCCCGTTAGTGGAGTGGTGT
17	*g1-P08 R*	GCTCCAGATCTGCCATTAGC	GCTCCAGATCTGCCATCAGA
18	*gr1-F07 R*	TGAGGAGAAAGAGAGAGGGAGA	TGAGGAGAAAGAGAGAGGGAGA AGAGGAGAAAGAGAGAGGGAGA
28	*g2-J11 R*	GCCGACACTATGGTAAGGGA	GCCGACACCGTGGTGAGGGA
30	*RJL-3 R*	CTAGGGAAGACACGGTGGTG	CTAGAGAAGACACGGTGGTG
31	*g1-I02 F*	TGAATATCAGACCGCCATCA	TGAATATCAAACCGCCATCA
33	*g3-A17 F*	GTTCCAGATTGCCAAAGTCG	GTTCCAGATTGCCAAAGTCG GTTCCAAATTGCCAAAGTCG
36	*g1-P21 F*	ATTCGTGAGGCGTTTTCATC	ATTCGCGAGGCGTTTTCATC
37	*g2-M19 R*	CTCGGCTGCTACCTTGTTGT	TTCGGCTGCTACCTTGTTGT
38	*g1-O02 F*	ACCTGCGTCTGTCGACTTTT	ACTTGCGTCTGTCGACTTTT
39	*g2-P03 R*	AGGTGTGAAACTGGAGCCAT	AGGTGTGAAACTGGAGCCAT AGGTGTGAAACTAGAGCCAT

Примечание. Номер локуса соответствует номеру в таблице 1. Подчеркиванием показаны нуклеотиды, по которым последовательности различаются.

Table 3

Adjustment of the primer sequences proposed in the works of R. Brennan, et al. [2; 10], taking into account information on the sequences of three sequenced Ribes nigrum genomes

No.	*Loci*	*The primer sequence proposed by R. Brennan, et al.*	*The primer sequence complementary to the genome*
1	*e3-M04 F*	*CTTACCCACCCCACCACC*	*CTTCCCCACCCCACCACA* *CTTACCCACCCCACCACA*
2	*RJL-1 R*	*GTGACCTGGGGTTGAGATTG*	*GACACCTGGGGTTGAGATTG*
9a	*g1-A01 R*	*CGTAGCCACGTAGTTCCACA*	*CGTAACCACGTAGTTCCACA*
14	*g2-D05 F*	*ACCACCGCACCACTTTAGTC*	*ACCACCGCACCACTTTAGTC* *ACCACCGCACCACTTTTGTC* *ACAACCGCACCACTTTTGTC*
14	*g2-D05 R*	*TGGCTGCACAATCACTTCTC*	*TGGCTGCACAATCACTTCTC* *TGGCTGCACGATCACTTCTC*
16	*g1-M07 F*	*TCCCGTTACTGGAGTGGTGT*	*TCCCGTTAGTGGAGTGGTGT*
17	*g1-P08 R*	*GCTCCAGATCTGCCATTAGC*	*GCTCCAGATCTGCCATCAGA*
18	*gr1-F07 R*	*TGAGGAGAAAGAGAGAGGGAGA*	*TGAGGAGAAAGAGAGAGGGAGA* *AGAGGAGAAAGAGAGAGGGAGA*
28	*g2-J11 R*	*GCCGACACTATGGTAAGGGA*	*GCCGACACCGTGGTGAGGGA*
30	*RJL-3 R*	*CTAGGGAAGACACGGTGGTG*	*CTAGAGAAGACACGGTGGTG*
31	*g1-I02 F*	*TGAATATCAGACCGCCATCA*	*TGAATATCAAACCGCCATCA*
33	*g3-A17 F*	*GTTCCAGATTGCCAAAGTCG*	*GTTCCAGATTGCCAAAGTCG* *GTTCCAAATTGCCAAAGTCG*
36	*g1-P21 F*	*ATTCGTGAGGCGTTTTCATC*	*ATTCGCGAGGCGTTTTCATC*
37	*g2-M19 R*	*CTCGGCTGCTACCTTGTTGT*	*TTCGGCTGCTACCTTGTTGT*
38	*g1-O02 F*	*ACCTGCGTCTGTCGACTTTT*	*ACTTGCGTCTGTCGACTTTT*
39	*g2-P03 R*	*AGGTGTGAAACTGGAGCCAT*	*AGGTGTGAAACTGGAGCCAT* *AGGTGTGAAACTAGAGCCAT*

Note. The locus number corresponds to the number in Table 1. The nucleotides that differ between the sequences are indicated by underlining.

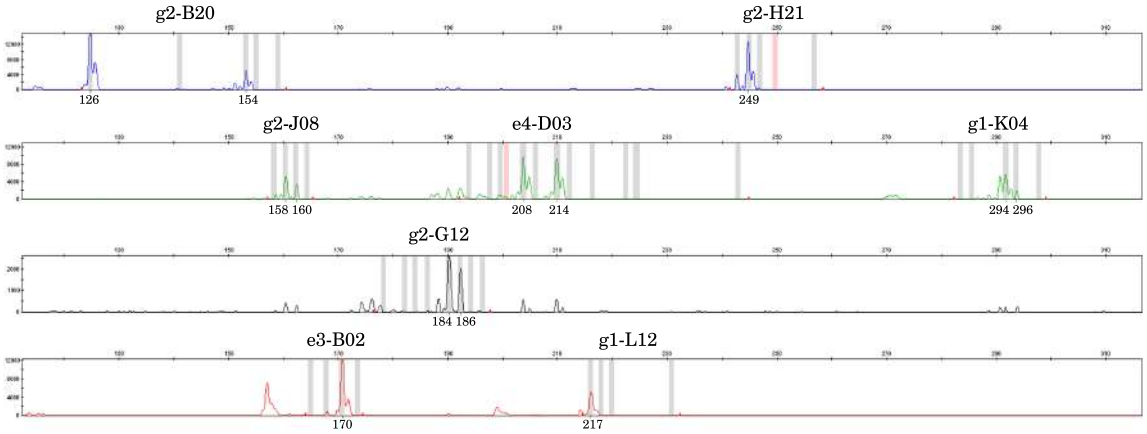


Рис. 1. Результат электрофоретического разделения ПЦР-продукта мультиплексной реакции сорта Фортуна
Fig. 1. Electrophoregram of one-tube multiplex PCR products of the cultivar Fortuna

Результаты (Results)

Биоинформатический анализ. Для двух из 51 проанализированного SSR локуса, а именно *g1-F04, g1-H09*, последовательности прямых (F) праймеров комплементарны более 140 последовательностям генома GCA_965278215.1. В связи с множественными местами «посадки» локализация данных локусов в геноме затруднительна (таблица 1). Использование этих локусов в мультиплексной реакции нецелесообразно из-за высокой вероятности появления неспецифичных фрагментов. Каждая из пар праймеров для локусов *g2-M19*, *g1-O02*, *g2-P03*, *RJL-8*, *RJL-9* ограничивает более одного фрагмента размером от 100 до 300 п. н., что затрудняет их использование в мультиплексной реакции. Пара праймеров локуса *g1-B02* ограничивает два участка генома *R. nigrum*, при этом дает фрагменты размером 2758 п. н., что, вероятно, обусловлено дупликацией фрагмента.

Генетическая изменчивость в зоне «посадки» праймеров. Для 16 проанализированных локусов отмечены различия между последовательностями праймеров, предложенными в работах Р. Бреннана с соавторами [2; 10] и соответствующими местами «посадки» в последовательностях полных ядерных геномов. При анализе этих маркеров целесообразно использовать вырожденные праймеры, иначе велика вероятность получения нуль-аллелей, т. е. отсутствие ампликона по причине неспособности «посадки» праймера на соответствующую последовательность матрицы, особенно при высоких температурах на стадии отжига. Предложенные варианты праймеров представлены в таблице 3.

Анализ локализации локусов на хромосомах. Лучшим решением для мультиплекса является включение в него локусов, локализованных на различных хромосомах. Поскольку гаплоидный геном смородины черной включает только 8 хромосом, при желании использовать в тесте более 8 маркеров возникает необходимость отбирать локусы, расположенные в пределах одной хромосомы. Мы приняли, что в одну панель маркеров могут быть включены локусы, удаленные друг от друга на расстояние более 40 миллионов п. н. При установлении подобных границ 33 кандидатных локуса делятся на 12 групп сцепления (LG) (таблица 1). Отметим, что для большинства локусов их распределение по хромосомам, описанное нами в таблице 1 и приведенное ранее в работах [10; 17], совпадает. Однако для 5 локусов, а именно *g1-O17*, *gr2-J05*, *g1-P08*, *e2-L15*, *g1-I02*, были выявлены несовпадения локализации на уровне хромосом (таблица 1).

Индели в межпраймерных областях. При сравнении локусов в трех геномах были отмечены вариации в их последовательностях. Так для локуса *g1-M07 (= RJL-7)* отмечена вставка «TT», в локусе *g1-P21* – индел «ACTTT» и в локусе *g2-L17* вставка «CCTCC» в геноме GCA_965278195.1. В локусе *g2-J11* – индел «C» в геноме GCA_965278215.1. Эти локусы могут быть использованы для решения задач индивидуальной идентификации либо подтверждения родословных. Однако при оценке генетического сходства сортообразцов они могут привести к искажению реально существующих величин генетического сходства, так как фрагменты сходной длины будут иметь различное количество мотивов.

Характеристика локусов, включенных в мультиплекс. Отбор локусов происходил исходя из распределения по группам сцепления, отсутствия полиморфизма в местах «посадки» праймеров, а также в продуктах локуса, обусловленного мутациями иного характера, чем повторы мотива. Также учитывали длины фрагментов, меченых флуорофорами для возможности использования «в одной пробирке». В итоге в мультиплекс включено восемь маркеров, расположенных на шести хромосомах (таблицы 2, 4, рис. 1).

Количество аллелей в локусах варьировало от 4 до 11, суммарно составляя 48, ожидаемая гетерозиготность 0,26–0,82. Генетические профили 48 сортообразцов по 8 локусам мультиплекса приведены в таблице 5. Индексы индивидуальной идентификации для всей панели маркеров: $PI = 3{,}6 \times 10^{-6}$, $PI_{sibs} = 4{,}9 \times 10^{-3}$, индексы исключения родителей – $P1 = 0{,}977$, $P2 = 0{,}870$, $P3 = 0{,}9984$. Значения индексов для каждого локуса приведены в таблице 4.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Предложенный нами мультиплекс для выборки 48 сортообразцов показал индекс индивидуальной идентификации $PI = 3{,}6 \times 10^{-6}$, т. е. вероятность совпадения генетического профиля у двух особей, отобранных из панмиксной популяции, составляет 36 событий на 10 млн сравнений. Для решения задачи индивидуальной идентификации 10 000 сортообразцов подобный «запас прочности» можно считать достаточным. В то же время индекс $PI_{sibs} = 4{,}9 \times 10^{-3}$, т. е. вероятность совпадения генетических профилей в выборке сиблингов составляет 49 событий на 10 тысяч сравнений (каждое двухсотое сравнение генотипов ожидаемо покажет их сходство). Следовательно, при работе с выборками, доля сиблингов в которых высока, дифференцирующей силы предложенной панели маркеров может оказаться недостаточно. В связи с этим актуально дальнейшее совершенствование SSR-мультиплекса. Потенциальными кандидатами для его расширения служат локусы, локализованные на четвертой и восьмой хромосоме *R. nigrum* согласно нумерации NCBI Genome assembly GCA_965278215.1 (на данный момент маркеры, лежащие на этих хромосомах, не представлены в сформированной нами панели).

Локусы, локализованные в четвертой хромосоме *R. nigrum*, в работах Р. Бреннана с соавторами [2; 10] не предложены. В восьмой хромосоме локализованы три локуса *g-D11*, *e1-O01*, *g1-P21*, из которых изменчивость первого низка (собственные неопубликованные данные), а размеры фрагментов двух других совпадают с размерами маркеров, включенных в предложенный мультиплекс (таблица 1). Таким образом, необходим дизайн новых маркеров либо редизайн старых, а именно подбор новых праймеров, увеличивающий размер фрагментов, для локусов *e1-O01* и *g1-P21*.

Мультиплекс, предложенный нами ранее, имел сопоставимые значения индексов индивидуальной идентификации, а именно: $PI = 1{,}6 \times 10^{-7}$ и $PI_{sibs} = 1{,}7 \times 10^{-3}$ [16]. Однако вследствие затруднений с расшифровкой ряда локусов он был более сложен для рутинной работы.

Таблица 4

Индексы генетического разнообразия, индивидуальной идентификации особей и исключения родителей в выборке 48 сортообразцов смородины черной из коллекции Свердловской селекционной станции садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН

Локус	Индексы							
	N	*Ne*	*He*	*PI*	*PIsibs*	*P1*	*P2*	*P3*
g2-B20	5	2,6	0,63	0,20	0,49	0,37	0,21	0,54
e4-D03	11	4,6	0,79	0,08	0,38	0,59	0,42	0,80
e3-B02	4	2,0	0,52	0,34	0,58	0,22	0,13	0,34
g1-L12	4	1,80	0,45	0,37	0,62	0,22	0,10	0,34
g1-K04	5	2,2	0,55	0,25	0,54	0,31	0,16	0,49
g2-J08	4	2,5	0,61	0,22	0,50	0,35	0,19	0,51
g2-H21	5	1,4	0,26	0,56	0,76	0,14	0,03	0,24
g2-G12	8	5,3	0.82	0,06	0,36	0,63	0,45	0,79

Примечание. N – число аллелей, Ne – эффективное число аллелей на локус, He – ожидаемая гетерозиготность, PI – индекс вероятности идентичности особей, PIsibs – индекс вероятности идентичности для сибсов, P1, P2, P3 – индексы исключение родителей.

Table 4

Indices of genetic diversity, individual identification, and parentage exclusion in 48 blackcurrant cultivar accessions from the collection of the Sverdlovsk Breeding Station of Horticulture (Ural Federal Agrarian Research Centre UB RAS)

Loci	*Indices*							
	N	*Ne*	*He*	*PI*	*PIsibs*	*P1*	*P2*	*P3*
g2-B20	*5*	*2.6*	*0.63*	*0.20*	*0.49*	*0.37*	*0.21*	*0.54*
e4-D03	*11*	*4.6*	*0.79*	*0.08*	*0.38*	*0.59*	*0.42*	*0.80*
e3-B02	*4*	*2.0*	*0.52*	*0.34*	*0.58*	*0.22*	*0.13*	*0.34*
g1-L12	*4*	*1.80*	*0.45*	*0.37*	*0.62*	*0.22*	*0.10*	*0.34*
g1-K04	*5*	*2.2*	*0.55*	*0.25*	*0.54*	*0.31*	*0.16*	*0.49*
g2-J08	*4*	*2.5*	*0.61*	*0.22*	*0.50*	*0.35*	*0.19*	*0.51*
g2-H21	*5*	*1.4*	*0.26*	*0.56*	*0.76*	*0.14*	*0.03*	*0.24*
g2-G12	*8*	*5.3*	*0.82*	*0.06*	*0.36*	*0.63*	*0.45*	*0.79*

Note. N – number of alleles, Ne – effective number of alleles per locus, He – expected heterozygosity, PI – probability of identity index for individuals, PIsibs – probability of identity between sibs, P1, P2, P3 – parentage exclusion indexes.

Таблица 5

Генетические профили сортообразцов черной смородины

№	Сортообразец	Локусы							
		g2-B20	*g2-H21*	*g2-J08*	*e4-D03**	*g1-K04*	*g2-G12*	*e3-B02*	*g1-L12*
1	Аккорд	154/154	247/249	158/158	205/214	294/296	172/190	167/167	217/219
2	Алтайская поздняя	126/156	247/249	156/158	210/214	288/300	172/180	167/167	221/221
3	Валовая	126/154	249/249	158/160	208/214	294/296	184/186	167/170	217/217
4	Василиса	154/154	247/249	158/162	205/214	294/296	180/190	167/167	217/219
5	Воевода	126/154	249/249	160/162	205/208	294/294	180/184	167/170	217/217
6	Вымпел	126/154	249/249	156/160	208/228	294/294	184/190	170/170	217/221
7	Дабрадзея	126/154	249/249	158/160	220/220	294/294	180/188	167/170	217/221
8	Дар Смольяниновой	126/154	249/261	160/160	204/228	294/300	186/186	167/167	217/217
9	Десертная Огольцовой	126/154	249/249	156/160	205/214	294/294	180/190	167/167	217/217
10	Доброхот	126/154	249/249	158/160	208/208	294/296	184/186	170/170	217/217
11	Добрый Джинн	154/154	249/249	158/158	214/220	294/294	184/190	167/167	217/217
12	Драгун	154/160	249/249	156/160	202/202	294/294	180/184	167/170	217/217
13	Elo	154/156	249/249	156/158	204/208	294/296	180/184	167/167	217/221
14	Казкова	154/156	247/249	156/158	208/214	294/300	172/180	167/170	217/221
15	Капель	156/160	247/249	156/158	n216/220	294/294	190/190	167/170	217/221
16	Козацька	154/160	249/249	158/158	202/220	294/294	190/190	167/170	217/221
17	Краса Львова	154/154	247/249	158/158	202/214	294/296	172/186	170/170	221/221
18	Креолка	126/154	249/249	158/158	208/208	294/294	180/186	167/170	217/221
19	Ладушка	126/156	247/249	160/160	205/208	294/300	186/190	167/173	217/217
20	Литвиновская	126/154	249/249	160/160	208/228	294/300	186/190	167/167	217/217

21	Лучия	126/154	249/249	158/158	208/214	294/300	184/186	167/167	217/219
22	Мавлади	154/160	249/249	158/158	214/214	294/294	172/190	167/167	217/221
23	Очарование	126/156	249/249	158/158	205/214	294/294	172/188	167/167	217/217
24	Память Калининой	126/126	249/249	158/160	208/214	294/296	180/184	170/173	217/221
25	Пилот	126/154	249/249	158/160	214/214	294/296	184/186	170/170	217/217
26	Подарок Астахова	126/154	249/249	160/160	208/228	294/294	180/180	167/167	217/217
27	Рада	154/154	249/254	156/158	208/210	294/296	180/186	167/170	217/219
28	Руслан	126/160	249/249	156/160	216/246	286/294	178/190	167/167	217/221
29	Сафиевська	126/154	249/249	158/158	208/214	294/300	180/190	167/170	217/221
30	Светлолистная	154/154	249/249	158/158	208/n228	294/296	186/190	167/170	217/221
31	Селеченская	126/154	249/249	160/160	202/208	294/300	180/190	167/167	217/217
32	Славянка	154/154	249/249	158/158	214/214	294/294	188/190	170/170	217/217
33	Спас	126/160	249/261	158/158	n220/246	286/294	172/180	164/167	221/221
34	Старатель	154/154	249/249	158/160	214/214	294/296	184/186	167/170	217/217
35	Тарзан	126/154	249/249	158/160	208/208	294/296	184/184	170/170	217/217
36	Удалец	126/154	249/249	158/160	214/214	294/294	186/190	167/170	217/217
37	Фортуна	126/154	249/249	158/160	208/214	294/296	184/186	170/170	217/217
38	Церера	154/156	249/249	158/162	208/228	294/294	180/180	170/170	217/217
39	Hanfeng	126/142	249/251	156/162	214/214	288/294	172/172	167/170	217/231
40	Черноокая	154/154	247/249	158/158	214/228	294/296	184/190	167/170	221/221
41	Чудное мгновенье	142/154	249/249	156/158	198/202	286/296	176/188	167/167	221/221
42	Ben Sarek	154/156	247/251	158/158	208/208	294/294	184/184	167/170	217/221
43	Karri	154/156	249/249	156/158	204/208	300/300	172/184	167/167	217/221
44	1-2-010-13	154/154	249/249	158/160	214/214	294/294	184/186	167/170	217/217
45	3-1-05-08	126/154	249/249	158/160	214/214	294/296	186/186	167/170	217/217
46	3-4-05-08	126/154	249/249	158/158	208/214	296/300	186/186	167/167	217/217
47	3-5-05-08	126/154	249/249	158/160	214/214	296/296	184/184	167/167	217/217
48	7-54-00-03	154/154	249/249	156/158	202/214	294/294	184/190	170/170	217/217

*Примечание. * Буква n перед размером фрагмента указывает на то, что фрагмент, соответствующий аллели на фореграмме, имеет относительно небольшую высоту.*

Table 5

Genetic profiles of black currant cultivars

No.	*Cultivar*	*Loci*							
		g2-B20	*g2-H21*	*g2-J08*	*e4-D03**	*g1-K04*	*g2-G12*	*e3-B02*	*g1-L12*
1	*Akkord*	*154/154*	*247/249*	*158/158*	*205/214*	*294/296*	*172/190*	*167/167*	*217/219*
2	*Altayskaya pozdnyaya*	*126/156*	*247/249*	*156/158*	*210/214*	*288/300*	*172/180*	*167/167*	*221/221*
3	*Valovaya*	*126/154*	*249/249*	*158/160*	*208/214*	*294/296*	*184/186*	*167/170*	*217/217*
4	*Vasilisa*	*154/154*	*247/249*	*158/162*	*205/214*	*294/296*	*180/190*	*167/167*	*217/219*
5	*Voevoda*	*126/154*	*249/249*	*160/162*	*205/208*	*294/294*	*180/184*	*167/170*	*217/217*
6	*Vympel*	*126/154*	*249/249*	*156/160*	*208/228*	*294/294*	*184/190*	*170/170*	*217/221*
7	*Dabradzeya*	*126/154*	*249/249*	*158/160*	*220/220*	*294/294*	*180/188*	*167/170*	*217/221*
8	*Dar Smol'yaninovoy*	*126/154*	*249/261*	*160/160*	*204/228*	*294/300*	*186/186*	*167/167*	*217/217*
9	*Desertnaya Ogol'tsovoy*	*126/154*	*249/249*	*156/160*	*205/214*	*294/294*	*180/190*	*167/167*	*217/217*
10	*Dobrokhot*	*126/154*	*249/249*	*158/160*	*208/208*	*294/296*	*184/186*	*170/170*	*217/217*
11	*Dobryy Dzhinn*	*154/154*	*249/249*	*158/158*	*214/220*	*294/294*	*184/190*	*167/167*	*217/217*
12	*Dragun*	*154/160*	*249/249*	*156/160*	*202/202*	*294/294*	*180/184*	*167/170*	*217/217*
13	*Elo*	*154/156*	*249/249*	*156/158*	*204/208*	*294/296*	*180/184*	*167/167*	*217/221*
14	*Kazkova*	*154/156*	*247/249*	*156/158*	*208/214*	*294/300*	*172/180*	*167/170*	*217/221*
15	*Kapel'*	*156/160*	*247/249*	*156/158*	*n216/220*	*294/294*	*190/190*	*167/170*	*217/221*
16	*Kozats'ka*	*154/160*	*249/249*	*158/158*	*202/220*	*294/294*	*190/190*	*167/170*	*217/221*
17	*Krasa L'vova*	*154/154*	*247/249*	*158/158*	*202/214*	*294/296*	*172/186*	*170/170*	*221/221*
18	*Kreolka*	*126/154*	*249/249*	*158/158*	*208/208*	*294/294*	*180/186*	*167/170*	*217/221*
19	*Ladushka*	*126/156*	*247/249*	*160/160*	*205/208*	*294/300*	*186/190*	*167/173*	*217/217*
20	*Litvinovskaya*	*126/154*	*249/249*	*160/160*	*208/228*	*294/300*	*186/190*	*167/167*	*217/217*
21	*Luchiya*	*126/154*	*249/249*	*158/158*	*208/214*	*294/300*	*184/186*	*167/167*	*217/219*
22	*Mavladi*	*154/160*	*249/249*	*158/158*	*214/214*	*294/294*	*172/190*	*167/167*	*217/221*
23	*Ocharovanie*	*126/156*	*249/249*	*158/158*	*205/214*	*294/294*	*172/188*	*167/167*	*217/217*
24	*Pamyat' Kalininoy*	*126/126*	*249/249*	*158/160*	*208/214*	*294/296*	*180/184*	*170/173*	*217/221*
25	*Pilot*	*126/154*	*249/249*	*158/160*	*214/214*	*294/296*	*184/186*	*170/170*	*217/217*

26	*Podarok Astakhova*	126/154	249/249	160/160	208/228	294/294	180/180	167/167	217/217
27	*Rada*	154/154	249/254	156/158	208/210	294/296	180/186	167/170	217/219
28	*Ruslan*	126/160	249/249	156/160	216/246	286/294	178/190	167/167	217/221
29	*Safievs'ka*	126/154	249/249	158/158	208/214	294/300	180/190	167/170	217/221
30	*Svetlolistnaya*	154/154	249/249	158/158	208/n228	294/296	186/190	167/170	217/221
31	*Selechenskaya*	126/154	249/249	160/160	202/208	294/300	180/190	167/167	217/217
32	*Slavyanka*	154/154	249/249	158/158	214/214	294/294	188/190	170/170	217/217
33	*Spas*	126/160	249/261	158/158	n220/246	286/294	172/180	164/167	221/221
34	*Staratel'*	154/154	249/249	158/160	214/214	294/296	184/186	167/170	217/217
35	*Tarzan*	126/154	249/249	158/160	208/208	294/296	184/184	170/170	217/217
36	*Udalets*	126/154	249/249	158/160	214/214	294/294	186/190	167/170	217/217
37	*Fortuna*	126/154	249/249	158/160	208/214	294/296	184/186	170/170	217/217
38	*Tserera*	154/156	249/249	158/162	208/228	294/294	180/180	170/170	217/217
39	*Hanfeng*	126/142	249/251	156/162	214/214	288/294	172/172	167/170	217/231
40	*Chernookaya*	154/154	247/249	158/158	214/228	294/296	184/190	167/170	221/221
41	*Chudnoe mgnoven'e*	142/154	249/249	156/158	198/202	286/296	176/188	167/167	221/221
42	*Ben Sarek*	154/156	247/251	158/158	208/208	294/294	184/184	167/170	217/221
43	*Karri*	154/156	249/249	156/158	204/208	300/300	172/184	167/167	217/221
44	*1-2-010-13*	154/154	249/249	158/160	214/214	294/294	184/186	167/170	217/217
45	*3-1-05-08*	126/154	249/249	158/160	214/214	294/296	186/186	167/170	217/217
46	*3-4-05-08*	126/154	249/249	158/158	208/214	296/300	186/186	167/167	217/217
47	*3-5-05-08*	126/154	249/249	158/160	214/214	296/296	184/184	167/167	217/217
48	*7-54-00-03*	154/154	249/249	156/158	202/214	294/294	184/190	170/170	217/217

*Note. * The letter n before the fragment size indicates that the allele has a relatively small height.*

Индексы исключения родителей, рассчитанные для анализируемой нами панели маркеров, составляют *P1* = 0,977, *P2* = 0,870 и *P3* = 0,998. Значение *P2* свидетельствует о том, что у 13 % двух случайно взятых сортообразцов в каждом из восьми локусов будет общая аллель. Мы считаем данную вероятность высокой, поэтому использовать предложенную панель маркеров для выводов о родословных при наличии только одного родителя малоэффективно. Однако вероятность случайного совпадения генотипов двух потенциальных родителей и потомка произойдет только в 16 из 10 тыс. тестов (индекс *P3*). Таким образом, мультиплекс позволяет проводить подтверждение родословной, но его недостаточно для ее восстановления. Значение индекса *P1* свидетельствует о высокой вероятности выявления отца при происхождении сорта путем опыления материнского растения смесью пыльцы.

Из 51 ранее описанного маркера перспективными для проведения популяционно-генетических исследований с использованием мультиплексной реакции являются только 33. Для 16 описанных локусов нами был проведен дизайн праймеров, использование которых должно привести к снижению числа отмечаемых нуль-аллелей. Были подобраны условия реакции, позволяющие проводить анализ 8 несцепленных SSR-локусов смородины черной, и определены генетические профили 48 сортообразцов из коллекции Свердловской селекционной станции садоводства ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Число аллелей в анализируемых локусах варьировало от 4 до 11, суммарно составляя 48. Ожидаемая гетерозиготность равнялась 0,26–0,82. Индексы индивидуальной идентификации для всей панели маркеров составили $PI = 3{,}6 \times 10^{-6}$, $PI_{sibs} = 4{,}9 \times 10^{-3}$, индексы исключения родителей: *P1* = 0,977, *P2* = 0,870, *P3* = 0,998. Предложенный мультиплекс может быть использован для установления отца при использовании для опыления смеси пыльцы, а также для подтверждения происхождения при двух известных родителях.

Библиографический список

1. Петрова С. Н., Кузнецова А. А. Состав плодов и листьев смородины черной *Ribes nigrum* (обзор) // Химия растительного сырья. 2014. № 4. С. 43–50. DOI: 10.14258/jcprm.201404221.

2. Brennan R., Jorgensen L., Woodhead M., Russell J. Development and characterization of SSR markers in *Ribes species* // Molecular Ecology Notes. 2002. No. 2. Pp. 327–330. DOI: 10.1046/j.1471-8286.2002.00233.x

3. Sun X., Fu Q., Qin D., Xiong J., Quan X., Guo H., Tang J., Huo J., Zhu C. Genetic diversity assessment and core germplasm screening of blackcurrant (*Ribes nigrum*) in China via expressed sequence tag–simple sequence repeat markers // International Journal of Molecular Sciences. 2025. Vol. 26, No. 5. Article number 2346. DOI: 10.3390/ijms26052346.

4. Bassil N., Bidani A., Nyberg A., Hummer K., Rowland L.J. Microsatellite markers confirm identity of blueberry (*Vaccinium* spp.) plants in the USDA-ARS National Clonal Germplasm Repository collection // Genetic Resources and Crop Evolution. 2020. Vol. 67. Pp. 393–409. DOI: 10.1007/s10722-019-00873-8.

5. Zurn J. D., Nyberg A., Montanari S., Postman J., Neale D., Bassil N. A new SSR fingerprinting set and its comparison to existing SSR- and SNP-based genotyping platforms to manage *Pyrus* germplasm resources // Tree Genetics & Genomes. 2020. Vol. 16. Article number 72. DOI: 10.1007/s11295-020-01467-7.

6. Cmejlova J., Rejlova M., Paprstein F., Cmejla R. A new one-tube reaction kit for the SSR genotyping of apple (*Malus* × *domestica* Borkh.) // Plant Science. 2021. Vol. 303. Article number. 110768. DOI: 10.1016/J.plantsci.2020.110768.

7. Sekridova A. V., Shilov I. A., Kislin E. N., Malyuchenko O. P., Kharchenko P. N. The technology of genetic identification of varieties and wild-growing forms of grapes based on multilocus microsatellite analysis // Applied Biochemistry and Microbiology. 2022. Vol. 58, No. 9. Pp. 1050–1059. DOI: 10.1134/S0003683822090083.

8. Testolin R., Messina R., Cipriani G., De Mori G. SSR-based DNA fingerprinting of fruit crops // Crop Science. 2022. Vol. 63. Pp. 390–459. DOI: 10.1002/csc2.20896.

9. Antonius K., Karhu S., Kaldmae H., Lacis G., Rugenius R., Baniulis D., Sasnauskas A., Schulte E., Kuras A., Korbin M., Gunnarsson A., Werlemark G., Ryliskis D., Todam-Andersen T., Kokk L., Jarve K. Development of the Northern European *Ribes* core collection based on a microsatellite (SSR) marker diversity analysis // Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization. 2012. Vol. 10, No. 1. Pp. 70–73. DOI: 10.1017/S1479262111000980.

10. Brennan R., Jorgensen L., Hackett C., Woodhead M., Gordon S., Russell J. The development of a genetic linkage map of black currant (*Ribes nigrum* L.) and the identification of regions associated with key fruit quality and agronomic traits // Euphytica. 2008. Vol. 161. Pp. 19–34. DOI: 10.1007/s10681-007-9412-8.

11. Cavanna M., Marinoni D. T., Beccaro G. L., Bounous G. Microsatellite-based evaluation of *Ribes* spp. germplasm // Genome. 2009. Vol. 52, No. 10. Pp. 839–848. DOI: 10.1139/G09-057.

12. Должикова М. А., Пикунова А. В., Толпекина А. А., Князев С. Д., Бахотская А. Ю. Идентификация сортов смородины черной (*Ribes nigrum* L.) на основании полиморфизма микросателлитных локусов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 3. С. 26–29. DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/26-29.

13. Межнина О. А., Урбанович О. Ю. Анализ вариабельности микросателлитных локусов у представителей рода смородины (*Ribes* L.), выращиваемых в Беларуси // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. 2017. № 3. С. 45–54.

14. Palmieri L., Grando M.S., Sordo M., Grisenti M., Martens S., Giongo L. Establishment of molecular markers for germplasm management in a worldwide provenance *Ribes* spp. Collection // Plant Omics. 2013. Vol. 6, No. 3. Pp. 165–174.

15. Пикунова А. В., Князев С. Д., Бахотская А. Ю., Кочумова А. А. Полиморфизм микросателлитных локусов у сортов черной смородины (*Ribes nigrum* L.) из коллекции ВНИИСПК // Сельскохозяйственная биология. 2015. № 50 (1). С. 46–54. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.1.46rus.

16. Модоров М. В., Киселева О. А., Полежаева М. А., Чеботок Е. М. Разработка мультиплексного набора микросателлитных маркеров для генетической идентификации черной смородины (*Ribes nigrum* L.) // Биотехнология и селекция растений. 2024. № 7 (4). С. 68–81. DOI: 10.30901/2658-6266-2024-4-o6.

17. Russell J., Hackett Ch., Hedley P., Liu H., Milne L., Bayer M., Marshall D., Jorgensen L., Gordon S., Brennan R. The use of genotyping by sequencing in black currant (*Ribes nigrum*): developing high-resolution linkage maps in species without reference genome sequences // Molecular Breeding: New Strategies in Plant Improvement. 2014. Vol. 33. Pp. 835–849. DOI: 10.1007/s11032-013-9996-8.

18. Jamieson A., Taylor St. C. S. Comparisons of three probability formulae for parentage exclusion // Animal Genetics. 1997. Vol. 28. Pp. 397–400. DOI: 10.1111/j.1365-2052.1997.00186.x.

19. Модоров М. В., Ткаченко И. В., Клещева А. А., Севостьянов М. Ю. Номенклатура маркеров и контроль ошибок первого и второго рода при проведении генетических экспертиз достоверности происхождения крупного рогатого скота с использованием фрагментного анализа // Генетика. 2024. № 60 (12). С. 3–15. DOI: 10.1134/S1022795424701175.

20. Okonechnikov K., Golosova O., Fursov M., the UGENE team. Unipro UGENE: a unified bioinformatics toolkit // Bioinformatics. 2012. Vol. 28. Pp. 1166–1167. DOI: 10.1093/bioinformatics/bts091.

21. Devey M. E., Bell J. C., Smith D. N., Neale D. B., Moran G. F. A genetic linkage map for *Pinus radiata* based on RFLP, RAPD and microsatellite markers // Theoretical and Applied Genetics. 1996. Vol. 92. Pp. 673–679. DOI: 10.1007/BF00226088.

22. Waits L. P., Luikart G., Taberlet P. Estimating the probability of identityamong genotypes in natural populations: cautions and guidelines // Molecular Ecology. 2001. Vol. 10, No. 1. Pp. 249–256. DOI: 10.1046/j.1365-294X.2001.01185.x.

23. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // Molecular Ecology Notes. 2006. Vol. 6. Pp. 288–295. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x.

Об авторах:

Макар Васильевич Модоров, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-6182-233X, AuthorID 178678. *E-mail: mmodorov@gmail.com*

Ольга Анатольевна Киселева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-8619-6416, AuthorID 830382. *E-mail: kiselevaolga@inbox.ru*

Мария Алексеевна Полежаева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-9729-2617, AuthorID 155670. *E-mail: polezhaevam@mail.ru*

Елена Михайловна Чеботок, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-5942-6178, AuthorID 501549. *E-mail: sadovodnauka@mail.ru*

Анастасия Олеговна Савина, младший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-5942-6178, AuthorID 1272779. *E-mail: soven_444@mail.ru*

References

1. Petrova S. N., Kuznetsova A. A. Composition of fruits and leaves of black currant *Ribes nigrum* (review). *Chemistry of Plant Materials*. 2014; 4: 43–50. DOI: 10.14258/jcprm.201404221. (In Russ.)

2. Brennan R., Jorgensen L., Woodhead M., Russell J. Development and characterization of SSR markers in *Ribes species*. *Molecular Ecology Notes.* 2002; 2: 327–330. DOI: 10.1046/j.1471-8286.2002.00233.x.

3. Sun X., Fu Q., Qin D., Xiong J., Quan X., Guo H., Tang J., Huo J., Zhu C. Genetic diversity assessment and core germplasm screening of blackcurrant (*Ribes nigrum*) in China via expressed sequence tag-simple sequence repeat markers. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025; 26 (5): 2346. DOI: 10.3390/ijms26052346.

4. Bassil N., Bidani A., Nyberg A., Hummer K., Rowland L. J. Microsatellite markers confirm identity of blueberry (*Vaccinium* spp.) plants in the USDA-ARS National Clonal Germplasm Repository collection. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 2020; 67: 393-409. DOI: 10.1007/s10722-019-00873-8.

5. Zurn J. D., Nyberg A., Montanari S., Postman J., Neale D., Bassil N. A new SSR fingerprinting set and its comparison to existing SSR- and SNP-based genotyping platforms to manage *Pyrus* germplasm resources. *Tree Genetics & Genomes.* 2020; 16: 72. DOI: 10.1007/s11295-020-01467-7.

6. Cmejlova J., Rejlova M., Paprstein F., Cmejla R. A new one-tube reaction kit for the SSR genotyping of apple (*Malus* × *domestica* Borkh.). *Plant Science.* 2021; 303: 110768. DOI: 10.1016/j.plantsci.2020.110768.

7. Sekridova A. V., Shilov I. A., Kislin E. N., Malyuchenko O. P., Kharchenko P. N. The technology of genetic identification of varieties and wild-growing forms of grapes based on multilocus microsatellite analysis. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2022; 58 (9): 1050–1059. DOI: 10.1134/S0003683822090083.

8. Testolin R., Messina R., Cipriani G., De Mori G. SSR-based DNA fingerprinting of fruit crops. *Crop Science*. 2022; 63: 390–459. DOI: 10.1002/csc2.20896.

9. Antonius K., Karhu S., Kaldmae H., Lacis G., Rugenius R., Baniulis D., Sasnauskas A., Schulte E., Kuras A., Korbin M., Gunnarsson A., Werlemark G., Ryliskis D., Todam-Andersen T., Kokk L., Jarve K. Development of the Northern European *Ribes* core collection based on a microsatellite (SSR) marker diversity analysis. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization.* 2012; 10 (1): 70–73. DOI: 10.1017/S1479262111000980.

10. Brennan R., Jorgensen L., Hackett C., Woodhead M., Gordon S., Russell J. The development of a genetic linkage map of black currant (*Ribes nigrum* L.) and the identification of regions associated with key fruit quality and agronomic traits. *Euphytica*. 2008; 161: 19–34. DOI: 10.1007/s10681-007-9412-8.

11. Cavanna M., Marinoni D. T., Beccaro G. L., Bounous G. Microsatellite-based evaluation of *Ribes* spp. germplasm. *Genome.* 2009; 52 (10): 839–848. DOI: 10.1139/G09-057.

12. Dolzhikova M. A., Pikunova A. V., Tolpekina A. A., Knyazev S. D., Bakhotskaya A. Yu. Identification of blackcurrant varieties (*Ribes nigrum* L.) based on microsatellite locus polymorphism. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2020; 3: 26–29. DOI: 10.30850/vrsn/2020/3/26-29. (In Russ.)

13. Mezhnina O. A., Urbanovich O. Yu. Analysis of microsatellite loci variability *Ribes* L. representatives grown in Belarus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series.* 2017; 3: 45–54. (In Russ.)

14. Palmieri L., Grando M. S., Sordo M., Grisenti M., Martens S., Giongo L. Establishment of molecular markers for germplasm management in a worldwide provenance *Ribes* spp. collection. *Plant Omics.* 2013; 6 (3): 165–174.

15. Pikunova A. V., Knyazev S. D., Bakhotskaya A. Yu., Kochumova A. A. Microsatellite loci polymorphism in Russian black currant (*Ribes nigrum* L.) varieties from collection of All-Russian Research Institute of Breeding Fruit Crops. *Agricultural Biology*. 2015; 50 (1): 46–54. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.1.46rus. (In Russ.)

16. Modorov M. V., Kiseleva O. A., Polezhaeva M. A., Chebotok E. M. Development of multiplex microsatellite markers set for black currant (*Ribes nigrum* L.) genetic identification. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2024; 7 (4): 68–81. DOI: 10.30901/2658-6266-2024-4-o6. (In Russ.)

17. Russell J., Hackett Ch., Hedley P., Liu H., Milne L., Bayer M., Marshall D., Jorgensen L., Gordon S., Brennan R. The use of genotyping by sequencing in black currant (*Ribes nigrum*): developing high-resolution linkage maps in species without reference genome sequences. *Molecular Breeding: New Strategies in Plant Improvement*. 2014; 33: 835–849. DOI: 10.1007/s11032-013-9996-8.

18. Jamieson A., Taylor St. C. S. Comparisons of three probability formulae for parentage exclusion. *Animal Genetics*. 1997; 28: 397–400. DOI: 10.1111/j.1365-2052.1997.00186.x.

19. Modorov M. V., Tkachenko I. V., Kleshcheva A. A., Sevostyanov M. Yu. Marker nomenclature and control of Type I and Type II errors in cattle parentage verification using microsatellite markers. *Russian Journal of Genetics*. 2024; 60 (12): 1593–1602. DOI: 10.1134/S1022795424701175. (In Russ.)

20. Okonechnikov K., Golosova O., Fursov M., the UGENE team. Unipro UGENE: a unified bioinformatics toolkit. *Bioinformatics*. 2012; 28: 1166–1167. DOI: 10.1093/bioinformatics/bts091.

21. Devey M. E., Bell J. C., Smith D. N., Neale D. B., Moran G. F. A genetic linkage map for *Pinus radiata* based on RFLP, RAPD and microsatellite markers. *Theoretical and Applied Genetics.* 1996; 92: 673–679. DOI: 10.1007/BF00226088.

22. Waits L. P., Luikart G., Taberlet P. Estimating the probability of identityamong genotypes in natural populations: cautions and guidelines. *Molecular Ecology*. 2001; 10 (1): 249–256. DOI: 10.1046/j.1365-294X.2001.01185.x.

23. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*. 2006; 6: 288–295. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x.

Authors' information:

Makar V. Modorov, candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of molecular genetic expertise, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-6182-233X, AuthorID 178678. *E-mail: mmodorov@gmail.com*

Olga A. Kiseleva, candidate of biological sciences, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;
ORCID 0000-0002-8619-6416, AuthorID 830382. *E-mail: kiselevaolga@inbox.ru*

Elena M. Chebotok, candidate of agricultural sciences, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia;
ORCID 0000-0001-5942-6178, AuthorID 501549. *E-mail: sadovodnauka@mail.ru*

Anastasiya O. Savina, junior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-5942-6178, AuthorID 1272779. *E-mail: soven_444@mail.ru*

Mariya A. Polezhaeva, candidate of biological sciences, senior researcher, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-9729-2617, AuthorID 155670. *E-mail: polezhaevam@mail.ru*

УДК 574.589; 574.622
Код ВАК 4.1.2
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2009-2018

Изучение противовоспалительных свойств микроводорослей экосистемы Балтийского моря

Е. В. Ульрих[1]✉, С. А. Сухих[2], Е. С. Землякова[1], С. В. Агафонова[1], Н. Ю. Ключко[1]
[1] Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[2] Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия
✉*E-mail: elen.ulrich@mail.ru*

Аннотация. Микроводоросли продуцируют большое количество полисахаридов, обладающих противоопухолевыми, противовирусными, противопаразитарными, антиоксидантными, гипогликемическими, гипохолестеринемическими свойствами. **Цель** работы – изучение противовоспалительных свойств микроводорослей экосистемы Балтийского моря. **Методы.** Объектами исследований были полисахариды микроводорослей Балтийского моря *Actinocyclus normanii*, *Cavinula scutelloides*, *Diploneis elliptica*, *Epithemia adnata*, *Fragilariforma virescens*, *Gyrosigma attennuatum*, *Hantzschia amphioxys*, *Iconella cf. biseriata*, *Lindavia gr. comta*, *Navicula radiosa*, *Pinnularia viridis*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Stephanodiscus minutulus*. Противовоспалительные свойства полисахаридов микроводорослей определяли с помощью твердофазного иммуноферментного анализа. Для этого контроли и образцы исследуемых полисахаридов инкубировали в лунках с иммобилизованными моноклональными антителами. **Научная новизна.** Впервые были определены виды микроводорослей экосистемы Балтийского моря, полисахариды которых проявляют выраженные противовоспалительные свойства. **Результаты.** Установлено, что полисахариды из микроводорослей характеризовались различными противовоспалительными свойствами. Определено, что среди эндополисахаридов наибольшей противовоспалительной активностью при продукции цитокинов ФНО-α обладал образец 10-эндо (37,75 ±1,91 пг/мл), а в присутствии цитокинов ИЛ-1β обнаружена наибольшая противовоспалительная активность для образца 9-эндо (429,59 ±21,73 пг/мл). При исследовании экзополисахаридов микроводорослей установлено, что по продукции цитокинов ИЛ-1β, лидировали образцы 1-экзо и 4-экзо, содержание цитокинов для них составило 427,81 ±13,16 и 422,13 ±13,16 пг/мл соответственно. Наименьшее количество цитокинов продуцировал образец экзополисахарида 6-экзо (288,63 ±6,49 пг/мл), несколько больше – образец 8-экзо (311,57 ±8,22 пг/мл). Показано, что все значения цитокинов ФНО-α ИЛ-1β для полисахаридов микроводорослей выше, чем в случае отрицательного и положительного контроля. Выявлено, что полисахариды микроводорослей *Actinocyclus normanii*, *Epithemia adnate*, *Hantzschia amphioxys*, *Lindavia gr. comta* и *Navicula radiosa* способны снижать экспрессию провоспалительного цитокина ФНО-α и цитокина ИЛ-1β при дозе 20 мкг/мл могут быть рекомендованы в качестве ингредиентов или фармацевтических субстанций в производстве кормовых и биологически активных добавок или лекарственных препаратов иммуномодулирующего и противовоспалительного действия.

Ключевые слова: эндополисахариды, экзополисахариды, цитокины, ИЛ-1β, ФНО-α, биологически активные добавки

Для цитирования: Ульрих Е. В., Сухих С. А., Землякова Е. С., Агафонова С. В., Ключко Н. Ю. Изучение противовоспалительных свойств микроводорослей экосистемы Балтийского моря // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 2009–2018. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2009-2018.

Благодарности. Работа выполнена в соответствии с утвержденным планом тематик научных исследований ФГБОУ ВО «КГТУ», осуществляемых за счет средств федерального бюджета (бюджетный цикл 2025–2027, регистрационный номер карты ЕГИСУ НИОКТР 1124072300009-1 от 23.07.2024 г.), соглашением о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ).

Дата поступления статьи: 23.07.2026, ***дата рецензирования:*** 01.09.2026, ***дата принятия:*** 07.09.2026.

© Ulrikh E. V., Sukhikh S. A., Zemlyakova E. S., Agafonova S. V., Klyuchko N. Yu., 2026

Study of anti-inflammatory properties of microalgae of the Baltic Sea ecosystem

E. V. Ulrikh[1]✉, S. A. Sukhikh[2], E. S. Zemlyakova[1], S. V. Agafonova[1], N. Yu. Klyuchko[1]
[1] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[2] Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia
✉*E-mail: elen.ulrich@mail.ru*

Abstract. Microalgae produce a large number of polysaccharides with antitumor, antiviral, antiparasitic, antioxidant, hypoglycemic, hypocholesterolemic properties. **The purpose** of the research is to study of anti-inflammatory properties of microalgae of the Baltic Sea ecosystem. **Methods.** The objects of the study were polysaccharides of the Baltic Sea microalgae *Actinocyclus normanii*, *Cavinula scutelloides*, *Diploneis elliptica*, *Epithemia adnata*, *Fragilariforma virescens*, *Gyrosigma attennuatum*, *Hantzschia amphioxys*, *Iconella cf. biseriata*, *Lindavia gr. comta*, *Navicula radiosa*, *Pinnularia viridis*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Stephanodiscus minutulus*. Anti-inflammatory properties of microalgae polysaccharides were determined using solid-phase enzyme immunoassay. For this purpose, the controls and samples of the studied polysaccharides were incubated in wells with immobilized monoclonal antibodies. **Scientific novelty.** For the first time, the species of microalgae of the Baltic Sea ecosystem whose polysaccharides exhibit pronounced anti-inflammatory properties were identified. **Results.** It was found that polysaccharides from microalgae were characterized by different anti-inflammatory effects. It was determined that among endopolysaccharides, the highest anti-inflammatory activity in the production of TNF-α cytokinesy was found in the 10-endo sample (37.75 ±1.91 pg/ml), and in the presence of IL-1β ctokines, the highest anti-inflammatory activity was found for the 9-endo sample (429.59 ±21.73 pg/ml). The study of microalgae exopolysaccharides revealed that samples 1-exo and 4-exo were in the lead in terms of IL-1β cytokine production; their cytokine content was 427.81 ±13.16 and 422.13 ±13.16 pg/ml, respectively. The lowest amount of cytokines was produced by the 6-exo exopolysaccharide sample (288.63 ±6.49 pg/ml), while the 8-exo sample produced slightly more (311.57 ±8.22 pg/ml). It was shown that all TNF-α IL-1β cytokine values for microalgae polysaccharides were higher than in the case of the negative and positive controls. It was revealed that polysaccharides of microalgae *Actinocyclus normanii*, *Epithemia adnate*, *Hantzschia amphioxys*, *Lindavia gr. comta* and *Navicula radiosa* are able to reduce the expression of the proinflammatory cytokine TNF-α and IL-1β at a dose of 20 μg/ml and can be recommended as ingredients or pharmaceutical substances in the production of feed and biologically active additives or drugs with immunomodulatory and anti-inflammatory action.

Keywords: endopolysaccharides, exopolysaccharides, cytokines, IL-1β, TNF-α, dietary supplements

Acknowledgements. The study was carried out in accordance with the approved research plan of the Kaliningrad State Technical University (KSTU), funded by the federal budget (budget cycle 2025–2027, Unified State Information System for Accounting for Civil-Purpose Research, Development, and Technological Works card registration number 1124072300009-1 dated July 23, 2024), and the agreement on granting a subsidy from the federal budget for the financial support of the state assignment execution for the provision of state services (performance of work).

For citation: Ulrikh E. V., Sukhikh S. A., Zemlyakova E. S., Agafonova S. V., Klyuchko N. Yu. Study of anti-inflammatory properties of microalgae of the Baltic Sea ecosystem. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 2009–2018. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2009-2018. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.07.2026, ***date of review:*** 01.09.2026, ***date of acceptance:*** 07.09.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Полисахариды присутствуют во всех живых организмах и используются для формирования клеток. Они имеют сложные биохимические структуры, основанные на гликозидносвязанных комплексах. Полисахариды широко используются в промышленности главным образом благодаря своим гидрофильным свойствам [1; 2].

Микроводоросли являются одноклеточными фотосинтезирующими микроорганизмами. Они преобразуют солнечную энергию в биомассу. Как правило, они имеют более высокую эффективность роста, чем наземные растения [3]. Годовой мировой объем производства микроводорослей оценивается в 10–20 тысяч тонн для мирового рынка [4]. Ожидается, что мировой рынок микроводорослей будет расти на 10 % в каждый год [5].

© Ульрих Е. В., Сухих С. А., Землякова Е. С., Агафонова С. В., Ключко Н. Ю., 2026

Микроводоросли представляют собой богатый источник не только первичных, но и вторичных метаболитов – биоактивных соединений, которые могут быть использованы в производстве различных продуктов пищевой, косметической и фармацевтической индустрии. Было доказано, что биологически активные вещества (БАВ) водорослей, такие как полифенолы, полисахариды, каротиноиды и омега-3 жирные кислоты, обладают биологической активностью [6–8]. Для экстракции этих соединений используются различные методы, основными из которых являются сверхкритическая CO_2-экстракция и ультразвуковая экстракция [9].

Фикобилипротеины микроводорослей способны изменять рост различных линий опухолевых клеток на разных уровнях их молекулярных механизмов. Его ингибирующее воздействие на опухолевые клетки описано для клеток рака молочной железы, шейки матки, простаты, печени, легких, поджелудочной железы, толстой кишки, лейкемии и костного мозга [10]. Антибактериальная активность фикобилипротеинов проявляется в отношении *Enterobacter aerogenes*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Zymomonas mobilis*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Bacillus cereus* [11]. Благодаря антиоксидантным, противомикробным и противовоспалительным свойствам фикобилипротеины находят применение в пищевой, фармацевтической, биомедицинской, косметической промышленности.

Отдельно следует отметить такое перспективное направление переработки биомассы микроводорослей, как производство биотоплива ввиду высокой скорости фотосинтеза и производства большего количества биомассы на единицу площади. В производственном процессе получения биотоплива из водорослей отсутствует стадия делигнификации, что отличает его от получения альтернативных видов топлива из лигнинсодержащего сырья [12].

Извлечение различных фитохимических веществ с высокой добавленной стоимостью (полисахариды, белки, липиды, пигменты и антиоксиданты) может сделать аквакультуру микроводорослей экономически возможной также на новых производственных площадях. Более того, глобальное сельское хозяйство находится в процессе перехода к более устойчивым и экологически безопасным методам выращивания, включающим широкое использование биоудобрений, биостимуляторов и биопестицидов, для получения которых целесообразно использовать биомассу морских водорослей.

Известно, что микроводоросли секретируют большое количество полисахаридов, которые представляют собой органический углерод [6]. Многие микроводоросли, обитающие в прибрежных зонах, производят и секретируют множество ферментов, которые покрывают их клетки и помогают защитить их от неблагоприятных воздействий окружающей среды [7]. В частности, полисахариды, полученные из микроводорослей, образуют биоминеральные слои на поверхности почвы, которые используются для уменьшения количества углекислого газа в почве [8]. Они также важны в экологическом контексте, потому что могут предотвращать инфекции микроводорослей [9]. Количество полисахаридов варьируется от 0,5 до 20 г/л. Однако изучению их промышленного производства было посвящено мало научных исследований.

Согласно исследованиям, описанным в литературе, полисахариды обладают противовоспалительными, иммуномодулирующими, противоопухолевыми, противовирусными, противопаразитарными, антиоксидантными, гипогликемическими и гипохолестеринемическими свойствами [10]. Свойства полисахаридов в виде наночастиц используются в косметической промышленности. Микроводоросли используются в медицине и производстве здоровой пищи для человека. Но недостаточное использование полисахаридов микроводорослей в этих отраслях в основном связано с их высокой стоимостью и неполными знаниями об их структуре [11]. Разработка инновационных методов выращивания биоматериалов, детальное описание способов их получения и изучение свойств даст основу для расширения направления использования микроводорослей в промышленности.

Основные задачи на будущее: производство полисахаридов путем стандартизации питательных сред и условий культивирования; оптимизация производства полисахаридов в фотосинтетических биореакторах; снижение стоимости их выделения и изучение био- и физико-химических характеристик [12; 13].

Сбор культивируемых микроводорослей не зависит от сезона или погоды. Более того, изменения условий культивирования (например, света, температуры, перемешивания, концентрации питательных веществ, солености) могут направлять синтез желаемых соединений и усиливать их производство [13–16].

Недавно было обнаружено, что различные соединения из микроводорослей стимулируют иммунную систему в моделях человека и мышей [16; 17]. Воспаление – это реакция организма на воздействие различных бактерий и вирусов [18]. Они могут вызывать острые или хронические воспалительные реакции в различных органах и могут приводить к заболеваниям [19]. Иммунные клетки-макрофаги, которые продуцируют множество медиаторов воспаления, играют ключевую роль в воспалении. Воспаление подразделяется на две стадии: тяжелую и хроническую. Ускоренная фаза характеризуется гидратацией, усилением кровотока и повышением проницаемости сосудов [20].

В традиционной медицине многие природные соединения экспериментально используются для лечения заболеваний и травм [21]. В последние годы морские источники получили признание благодаря разнообразию содержащихся в них биоактивных соединений [22]. Потребители ищут менее синтетические ингредиенты в экологически чистой косметике [23]. Полисахариды из водных организмов, особенно микроводорослей, нашли широкое применение в биотехнологиях. Высокое содержание противовоспалительных молекул в полисахаридах делает их особенно привлекательными [24]. Таким образом, полисахариды, содержащие продукты из водорослей, могут использоваться в качестве фармацевтических препаратов и антибиотиков. У них есть потенциал для использования в производстве пищевых продуктов [25].

В этом контексте L. B Nilsson с коллегами показывают, что полисахариды, выделенные из микроорганизмов, обладают противовоспалительным действием, уменьшая количество провоспалительных медиаторов, а именно радикальной точки NO и интерлейкина (IL)-6 [26], и обладают ранозаживляющими свойствами [27].

Хотя предыдущие инновации в области вакцин обеспечивали иммунитет, в последнее время значительно возросли усилия по разработке антиретровирусных препаратов в связи с повторным возникновением инфекций. E. M. Adongbede с коллегами предположили, что это связано с тем, что вирусные частицы могут спонтанно изменять конформацию генома при столкновении с терапевтическими препаратами, что приводит к лекарственной устойчивости, поэтому требуются противовоспалительные молекулы из невирусных источников [28].

Одним из таких источников являются цитоплазматические полисахариды. Они привлекли внимание благодаря своим разнообразным терапевтическим свойствам. Недавно была зарегистрирована противовоспалительная активность полисахаридов из сине-зеленых водорослей *Lyngbya lagerheimeii* и *Phormidium tenue* против ВИЧ. В другом случае из *Spirulina platensis* был выделен новый полисахарид, кальций спирулан, который, как было обнаружено, ингибировал репликацию нескольких оболочечных вирусов, таких как вирус простого герпеса типа 1 (HSV-1), цитомегаловирус человека, вирус гриппа А, вирус кори, вирус эпидемического паротита и ВИЧ-1, и значительно снижал негативное воздействие воспаления при данных заболеваниях [29].

Аналогичным образом полисахариды, выделенные из красной водоросли *Porphyridium*, подавляют воспаление, вызванное вирусом ветряной оспы HSV-1 и ВИЧ-1 [30]. Кислый полисахарид ностофлан является активным агентом против вируса герпеса, как и полисахарид из *Nostoc flagelliforme* [31]. Сцитовирин из микроводоросли *Scytonema varium* связывается с гликопротеином ВИЧ в наномолярных концентрациях, уменьшая воспаление и стимулируя репликацию вируса [32], тогда как было обнаружено, что два циклических полисахарида из *Microcystis ichthyoblabe* действуют против воспаления, вызванного вирусом гриппа А [33].

Спирулиноподобная молекула, выделенная из полисахаридной фракции *Atherospira platensis*, усиливает противовоспалительную активность против цитомегаловируса человека HSV-1 [34]. Полисахарид, выделенный из красных морских водорослей *Gigartina skottsbergii*, как было показано, эффективен против воспаления клеточной стенки. Полисахариды, продуцируемые *Haematococcus pluvialis*, проявили значительную противовоспалительную активность [35].

Целью данной работы являлось изучение противовоспалительных свойств микроводорослей экосистемы Балтийского моря.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектами исследований были эндо- и экзополисахариды, выделенные из микроводорослей *Actinocyclus normanii*, *Cavinula scutelloides*, *Diploneis elliptica*, *Epithemia adnata*, *Fragilariforma virescens*, *Gyrosigma attennuatum*, *Hantzschia amphioxys*, *Iconella cf. biseriata*, *Lindavia gr. comta*, *Navicula radiosa*, *Pinnularia viridis*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Stephanodiscus minutulus*.

Пробы микроводорослей отбирались на побережье Балтийского моря в 4 точках в период с 15 мая по 30 августа 2024 года (Филинская бухта, Калининградский залив, поселок Взморье и Куршский залив, Калининградская область, Россия). Отбор образцов производился в период волновой активности, так как именно в этот период на берегу скапливается максимальное количество микроводорослей. Образцы объединялись и доставлялись в лабораторию в пластиковых ведрах. После доставки в лабораторию из биомассы удалялись крупные посторонние примеси. Далее биомасса фильтровалась для удаления песка и оставшихся мелких примесей.

Для удобства тестирования и обсуждения результатов всем исследованным образцам были присвоены метки. Они представлены в таблице 1.

Противовоспалительные свойства эндогенных и экзогенных полисахаридов определяли с помощью набора для иммуноферментного анализа MindReMR-96A (Mindray, Китай), основанного на методе твердофазного иммуноферментного анализа (ИФА). Для этого контроли и образцы исследуемых эндогенных и экзогенных полисахаридов инкубировали в лунках, содержащих иммобилизованные моноклональные антитела. Цитокин, присутствующий в образце, связывается с иммобилизованным антителом. Присоединенные цитокины инкубируются с первым соединением и взаимодействуют на следующем этапе. Сшитый комплекс взаимо-

действует со вторым комплексом (стрептавидин с пероксидазой хрена) во время инкубации. Количество связанного второго соединения определяли с помощью хроматографической реакции с использованием субстратов подковообразной пероксидазы – перекиси водорода и хроматографии – тетраметилбензидина. Интенсивность желтой окраски в ходе реакции пропорциональна концентрации цитокинов в образце. После измерения оптической плотности раствора в лунках при длине волны 450 нм концентрацию цитокинов в анализируемых образцах рассчитывали по калибровочной таблице. Для исследований использовали 20 мкг/мл экстрактов полисахаридов.

Противовоспалительные свойства оценивали с применением цитокинов ИЛ-1β и ФНО-α, так как ранее установлено, что в противовоспалительной активности полисахаридов, экстрагированных из микроводорослей, могут быть задействованы различные механизмы, включая ингибирование ферментов или снижение количества провоспалительных цитокинов [18].

Цитокины ИЛ-1β и ФНО-α являются моноцитами, макрофагами и лимфоцитами. При добавлении провоспалительного агента к мононуклеарным клеткам, например липополисахарида (ЛПС) бактериальной стенки, клетка реагирует прежде всего высвобождением этих молекул. Противовоспалительные свойства эндогенных и экзогенных полисахаридов, выделенных из микроводорослей, оценивали в концентрациях 10 и 50 мкг/мл. Для определения содержания ИЛ-1β в каждую лунку каждого образца брали 20 мкл супернатанта и 80 мкл питательной среды RPMI-1640. Для определения содержания ФНО-α в каждую лунку брали 100 мкл супернатанта. Процедуру ИФА проводили согласно протоколу производителя коммерческого набора.

Таблица 1

Перечень образцов для исследования биологической активности полисахаридов, выделенных из микроводорослей

Название микроводорослей и цианобактерий	Шифр образцов	
	Эндополисахариды	Экзополисахариды
Actinocyclus normanii	1-экзо	1-эндо
Cavinula scutelloides	2-экзо	2-эндо
Diploneis elliptica	3-экзо	3-эндо
Epithemia adnata	4-экзо	4-эндо
Fragilariforma virescens	5-экзо	5-эндо
Gyrosigma attennuatum	6-экзо	6-эндо
*Hantzschia amphioxy*s	7-экзо	7-эндо
Iconella cf. biseriata	8-экзо	8-эндо
*Lindavia gr. comt*a	9-экзо	9-эндо
Navicula radiosa	10-экзо	10-эндо
Pinnularia viridis	11-экзо	11-эндо
Rhoicosphenia abbreviata	12-экзо	12-эндо
Stephanodiscus minutulus	13-экзо	13-эндо

Table 1

List of samples for studying the biological activity of polysaccharides isolated from microalgae

Name of microalgae and cyanobacteria	*Sample code*	
	Endopolysaccharides	*Exopolysaccharides*
Actinocyclus normanii	*1-exo*	*1-endo*
Cavinula scutelloides	*2-exo*	*2-endo*
Diploneis elliptica	*3-exo*	*3-endo*
Epithemia adnata	*4-exo*	*4-endo*
Fragilariforma virescens	*5-exo*	*5-endo*
Gyrosigma attennuatum	*6-exo*	*6-endo*
Hantzschia amphioxys	*7-exo*	*7-endo*
Iconella cf. biseriata	*8-exo*	*8-endo*
Lindavia gr. comta	*9-exo*	*9-endo*
Navicula radiosa	*10-exo*	*10-endo*
Pinnularia viridis	*11-exo*	*11-endo*
Rhoicosphenia abbreviata	*12-exo*	*12-endo*
Stephanodiscus minutulus	*13-exo*	*13-endo*

Таблица 2

Противовоспалительные свойства полисахаридов, выделенных из микроводорослей

Номер образца	Наименование образца			
	Эндополисахариды		Эндополисахариды	
	Содержание цитокинов, пг/мл			
	ИЛ-1β	ФНО-α	ИЛ-1β	ФНО-α
1	427,81 ±13,16	36,91 ±1,65	413,48 ±20,91	35,83 ±1,13
2	415,16 ±10,30	35,53 ±1,58	423,12 ±21,40	36,64 ±1,89
3	414,33 ±10,30	35,47 ±1,58	417,05 ±21,10	35,73 ±1,89
4	422,13 ±13,16	36,72 ±1,65	422,23 ±21,36	36,61 ±1,88
5	411,24 ±10,30	35,19 ±1,58	413,84 ±20,94	35,45 ±1,88
6	288,63 ±6,49	30,09 ±1,17	100,12 ±5,10	0,00
7	416,55 ±10,30	37,63 ±1,77	421,93 ±21,34	36,64 ±1,93
8	311,57 ±8,22	31,20 ±1,06	94,47 ±4,97	7,32 ±0,15
9	413,16 ±10,30	36,70 ±1,65	429,59 ±21,73	36,96 ±1,88
10	414,61 ±10,30	34,38 ±1,13	418,82 ±21,19	37,75 ±1,91
11	410,66 ±10,30	35,07 ±1,58	421,14 ±21,30	36,68 ±1,87
12	415,47 ±10,30	35,51 ±1,58	413,46 ±20,92	35,14 ±1,86
13	416,38 ±10,30	35,61 ±1,58	415,03 ±20,92	35,45 ±1,86
Положительный контроль				
–	401,79 ±10,30	26,41 ±0,80	409,60 ±20,61	25,49 ±1,58
Отрицательный контроль				
–	409,85 ±10,30	24,68 ±1,58	416,10 ±20,58	30,68 ±1,88

Table 2

Anti-inflammatory properties of polysaccharides isolated from microalgae

Sample number	*Sample name*			
	endopolysaccharides		*endopolysaccharides*	
	Cytokine content, pg/ml			
	IL-1β	*TNF-α*	*IL-1β*	*TNF-α*
1	*427.81 ±13.16*	*36.91 ±1.65*	*413.48 ±20.91*	*35.83 ±1.13*
2	*415.16 ±10.30*	*35.53 ±1.58*	*423.12 ±21.40*	*36.64 ±1.89*
3	*414.33 ±10.30*	*35.47 ±1.58*	*417.05 ±21.10*	*35.73 ±1.89*
4	*422.13 ±13.16*	*36.72 ±1.65*	*422.23 ±21.36*	*36.61 ±1.88*
5	*411.24 ±10.30*	*35.19 ±1.58*	*413.84 ±20.94*	*35.45 ±1.88*
6	*288.63 ±6.49*	*30.09 ±1.17*	*100.12 ±5.10*	*0.00*
7	*416.55 ±10.30*	*37.63 ±1.77*	*421.93 ±21.34*	*36.64 ±1.93*
8	*311.57 ±8.22*	*31.20 ±1.06*	*94.47 ±4.97*	*7.32 ±0.15*
9	*413.16 ±10.30*	*36.70 ±1.65*	*429.59 ±21.73*	*36.96 ±1.88*
10	*414.61 ±10.30*	*34.38 ±1.13*	*418.82 ±21.19*	*37.75 ±1.91*
11	*410.66 ±10.30*	*35.07 ±1.58*	*421.14 ±21.30*	*36.68 ±1.87*
12	*415.47 ±10.30*	*35.51 ±1.58*	*413.46 ±20.92*	*35.14 ±1.86*
13	*416.38 ±10.30*	*35.61 ±1.58*	*415.03 ±20.92*	*35.45 ±1.86*
Positive control				
–	*401.79 ±10.30*	*26.41 ±0.80*	*409.60 ±20.61*	*25.49 ±1.58*
Negative control				
–	*409.85 ±10.30*	*24.68 ±1.58*	*416.10 ±20.58*	*30.68 ±1.88*

В качестве положительного контроля использовали клетки, обработанные ЛПС, а в качестве отрицательного контроля применяли супернатант стимулированных ЛПС мононуклеарных клеток при отсутствии полисахаридов.

Также следует отметить, что, поскольку полисахариды не растворяются в обычных растворителях, противовоспалительную активность образцов исследовали методом гидролиза. Гидролизованные продукты – полисахариды (олигомеры) – водорастворимы. Например, низкая вязкость и высокая растворимость полисахаридов при нейтральном pH привлекли внимание многих исследователей к использованию хитозана в форме олигосахарида.

Результаты (Results)

Полученные результаты для всех цитокинов полисахаридов, выделенных из микроводорослей, сведены в таблице 2. Итоговые результаты представлены в табличной форме для наглядного сравнения содержания провоспалительных цитокинов в супернатантах клеток после добавления к ним ЛПС и исследуемых веществ. Это позволило наглядно увидеть их снижение или повышение.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Результаты исследований (таблица 2) противовоспалительных свойств эндогенных сахаридов показали, что не все исследованные образцы обладали искомой биологической активностью. Эндогенный полисахарид (образец 8-эндо) продуцировал противовоспалительные цитокины (липополисахарид-стимулированные мононуклеарные полисахариды в отсутствие липополисахарида) в количестве лишь 7,32 ±0,15 пг/мл, в то время как образец 6-эндо вообще не продуцировал цитокины ФНО-α. Этот эффект наблюдался при содержании антител ИЛ-1β 100,12 ±5,10 и 94,47 ±4,97 пг/мл соответственно. Среди эндополисахаридов наибольшей противовоспалительной активностью при продукции цитокинов ФНО-α обладал образец 10-эндо (37,75 ±1,91 пг/мл), а в присутствии цитокинов ИЛ-1β обнаружена наибольшая противовоспалительная активность для образца 9-эндо (429,59 ±21,73 пг/мл). Остальные исследованные образцы эндополисахаридов не характеризовались статистически значимым различием в ингибирующем или стимулирующем действии на продукцию цитокина ФНО-α и составляли 35,83 ±1,13, 36,64 ±1,89, 35,73 ±1,89, 36,61 ±1,88, 35,45 ±1,88, 36,64 ±1,93, 36,96 ±1,88, 37,75 ±1,91, 36,68 ±1,87, 35,14 ±1,86 и 35,45 ±1,86 пг/мл для образцов 1-, 2-, 3-, 4-, 5-, 7-, 9-, 10-, 11-, 12-, 13-эндо соответственно. При этом в исследованных образцах содержание этого маркера было достоверно выше, чем в отрицательном контроле (30,68 ±1,88 пг/мл) и положительном контроле (25,49 ±1,58 пг/мл).

Дополнительный анализ результатов, представленных в таблице 2, показывает, что по сравнению с отрицательным контролем содержание цитокина ИЛ-1β в клетках микроводорослей снизилось после воздействия эндополисахаридов, выделенных из образцов 1-, 3-, 5-, 10-, 12-эндо, по сравнению с образцом 9-эндо, и составило 413,48 ±20,91, 417,05 ±21,10, 413,84 ±20,94, 418,82 ±21,19 и 413,46 ±20,92 пг/мл соответственно. Этот эффект наблюдался как при концентрации полисахарида в реакционной смеси 10 мкг/мл, так и 50 мкг/мл. При концентрации образца С-7-endo 10 мкг/мл концентрация цитокина ИЛ-1β составила 290,74 пг/мл; при концентрации 50 мкг/мл – 102,17 пг/мл.

При исследовании образцов экзополисахаридов, установлено (таблица 2), что наибольшее значение цитокинов ФНО-α продуцировалось образцом 7-экзо (37,63 ±1,77 пг/мл), наименьшее – образцами 6-экзо и 8-экзо (30,09 ±1,17 и 31,20 ±1,06 пг/мл соответственно). Промежуточное количество цитокинов ФНО-α продуцировали образцы экзополисахаридов 1-, 2-, 3-, 4-, 5-, 7-, 9-, 10-, 11-, 12-, 13-экзо (36,91 ±1,65, 35,53 ±1,58, 35,47 ±1,58, 36,72 ±1,65, 35,19 ±1,58, 36,70 ±1,65, 34,38 ±1,13, 35,07 ±1,58, 35,51 ±1,58 и 35,61 ±1,58 пг/мл соответственно.

По продукции цитокинов ИЛ-1β лидировали образцы 1-экзо и 4-экзо, содержание цитокинов для них составило 427,81 ±13,16 и 422,13 ±13,16 пг/мл соответственно. Наименьшее количество цитокинов продуцировал образец экзополисахарида 6-экзо (288,63 ±6,49 пг/мл), несколько больше – образец 8-экзо (311,57 ±8,22 пг/мл). Приблизительно одинаковые количества экзополисахаридов продуцировали остальные образцы экзополисахаридов. Образец 2-экзо продуцировал 415,16 ±10,30 пг/мл цитокина ИЛ-1β, образец 3-экзо – 414,33 ±10,30 пг/мл, образец 5-экзо – 411,24 ±10,30 пг/мл, образец 7-экзо – 416,55 ±10,30 пг/мл, образец 9-экзо – 413,16 ±10,30 пг/мл, образец 10-экзо – 414,61 ±10,30 пг/мл, образец 11-экзо – 410,66 ±10,30 пг/мл, образец 12-экзо – 415,47 ±10,30 пг/мл и образец 13-экзо – 416,38 ±10,30 пг/мл. Все перечисленные значения цитокинов ФНО-α для экзополисаридов выше, чем в случае отрицательного (26,41 ±0,80 пг/мл) и положительного контроля (24,68 ±1,58 пг/мл). Для цитокинов ИЛ-1β наблюдается похожая картина. Все значения выше отрицательного (409,85 ±10,30 пг/мл) и положительного контроля (401,79 ±10,30 пг/мл).

В ходе исследования обнаружено, что из всех изучаемых микроводорослей наибольшей продукцией цитокинов ИЛ-1β обладают экзополисахариды *Actinocyclus normanii* и *Epithemia adnate*, цитокинов ФНО-α – экзополисахариды *Hantzschia amphioxys*.

Среди эндополисахаридов наибольшей продукцией цитокинов ИЛ-1β обладает микроводоросль *Lindavia gr. comta*, цитокинов ФНО-α – микроводоросль *Navicula radiosa*.

Таким образом, в результате исследований получены результаты тестирования in vitro полисахаридов, выделенных из микроводорослей на предмет их противовоспалительного действия. Тестирование полисахаридов позволило выявить, что эндо- и экзополисахариды, выделенные из микроводорослей, характеризовались различными противовоспалительными (иммуномодулирующими) свойствами.

Выявлено, что изучаемые полисахариды микроводорослей *Actinocyclus normanii*, *Epithemia adnate*, *Hantzschia amphioxys*, *Lindavia gr. comta* и *Navicula radiosa* способны снижать экспрессию провоспалительного цитокина ФНО-α и цитокина ИЛ-1β, как и

при дозе 20 мкг/мл. Следовательно, эндо- и экзополисахариды перечисленных микроводорослей могут быть рекомендованы в качестве ингредиентов или фармацевтических субстанций в производстве кормовых и биологически активных добавок или лекарственных препаратов иммуномодулирующего и противовоспалительного действия.

Об авторах:

Елена Викторовна Ульрих, доктор технических наук, профессор, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия; ORCID 0000-0003-4107-7277, AuthorID 697029.
E-mail: elen.ulrich@mail.ru

Станислав Алексеевич Сухих, доктор технических наук, профессор, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия; ORCID 0000-0001-7910-8388, AuthorID 446304.
E-mail: stas-asp@mail.ru

Евгения Сергеевна Землякова, кандидат технических наук, доцент, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия; ORCID 0000-0002-0974-3914, AuthorID 721403.
E-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru

Светлана Викторовна Агафонова, кандидат технических наук, доцент, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия; ORCID 0000-0002-5992-414X, AuthorID 846706.
E-mail: svetlana.agafonova@klgtu.ru

Наталия Юрьевна Ключко, кандидат технических наук, доцент, Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия; ORCID 0000-0002-6708-9674, AuthorID 344460.
E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru

Библиографический список (References)

1. Babich O., Budenkova E., Kashirskikh E., Dolganyuk V., Ivanova S., Prosekov A., Sukhikh S. Study of the polysaccharide production by the microalga *Vischeria punctata* in relation to cultivation conditions. *Life*. 2022; 12 (10): 1614. DOI: 2075-1729/12/10/1614.

2. Bauer L., Ranglová K., Masojídek J., Drosg B., Meixner K. Digestate as sustainable nutrient source for microalgae – challenges and prospects. *Applied Sciences*. 2021; 11: 1056. DOI: 10.3390/app11031056.

3. Novoveská L., Nielsen S. L., Eroldoğan O. T., Haznedaroglu B. Z., Rinkevich B., Fazi S., Robbens J., Vasquez M., Einarsson H. Overview and challenges of large-scale cultivation of photosynthetic microalgae and cyanobacteria. *Marine Drugs*. 2023; 21: 445. DOI: 10.3390/md21080445.

4. Krayesky-Self S., Phung D., Schmidt W., Sauvage T., Butler L., Fredericq S. First report of endolithic members of *Rhodosorus marinus* (Stylonematales, Rhodophyta) growing inside rhodoliths offshore Louisiana, Northwestern Gulf of Mexico. *Frontiers in Marine Science*. 2020; 7. DOI: 10.3389/fmars.2020.00007.

5. Huang R., He Q., Ma J., Ma C., Xu Y., Song J., Huangfu X. Quantitative assessment of extraction methods for bound extracellular polymeric substances (B-EPSs) produced by *Microcystis* sp. and *Scenedesmus* sp. *Algal Research*. 2021; 56: 102289. DOI: 10.1016/j.algal.2021.102289.

6. Yaacob N. S., Hasdianty A., Mohd F. A., Maegala N. M., Sjahrir F. Microalgae biotechnology: Emerging biomedical applications. *Algal Biotechnology*. 2022: 335–346. DOI: 10.1016/B978-0-323-90476-6.00017-0.

7. Teng J., Wu M., Chen J., Lin H., He Y. Different fouling propensities of loosely and tightly bound extracellular polymeric substances (EPSs) and the related fouling mechanisms in a membrane bioreactor. *Chemosphere*. 2020; 255: 126953. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126953.

8. Wan-Mohtar W. A. A. Q. I., Ilham Z., Jamaludin A. A., Rowan N. Use of zebrafish embryo assay to evaluate toxicity and safety of bioreactor-grown exopolysaccharides and endopolysaccharides from European *Ganoderma applanatum* mycelium for future aquaculture applications. *International Journal of Molecular Sciences.* 2021; 22 (4): 1675. DOI: 10.3390/ijms22041675.

9. Yang D., Yang H. The temperature dependent extraction of polysaccharides from eucheuma and the rheological synergistic effect in their mixtures with kappa carrageenan. *LWT*. 2020; 129: 109515. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109281.

10. Zaharieva M. M., Zheleva-Dimitrova D., Rusinova-Videva S., Ilieva Y., Brachkova A., Balabanova V., Gevrenova R., Kim T. C., Kaleva M., Georgieva A., Mileva M., Yoncheva K., Benbassat N., Najdenski H., Kroumov A. D. Antimicrobial and antioxidant potential of scenedesmus obliquus microalgae in the context of integral biorefinery concept. *Molecules.* 2022; 27: 519. DOI: 10.3390/molecules27020519.

11. Riccio G., Lauritano C. Microalgae with Immunomodulatory activities. *Marine Drugs*. 2020; 18 (1): 2. DOI: 10.3390/md18010002.

12. Santizo-Taan R., Bautista-Teruel M., Maquirang J. R. H. Enriched Ulva pertusa as partial replacement of the combined fish and soybean meals in juvenile abalone *Haliotis asinina* (Linnaeus) diet. *Journal of Applied Phycology*. 2020; 32: 741–749. DOI: 10.1007/s10811-019-01977-5.

13. Pradhan N., Kumar S., Selvasembian R., Rawat S., Gangwar A., Senthamizh R., Yuen Y. K., Luo L., Ayothiraman S., Saratale G. D. Emerging trends in the pretreatment of microalgal biomass and recovery of value-added products: a review. *Bioresource Technology*. 2023; 369: 128395. DOI: 10.1016/j.biortech.2022.128395.

14. Lacroux J., Llamas M., Dauptain K., Avila R., Steyer J.-P., van Lis R., Trably E. Dark fermentation and microalgae cultivation coupled systems: outlook and challenges. *Science of the Total Environment*. 2023; 865: 161136. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.161136.

15. Shaikh R., Rizvi A., Pandit S., Desai N., Patil R. Microalgae: classification, bioactives, medicinal properties, industrial applications, and future prospectives. *Integration of Amsterdam*. 2022: 451–486. DOI: 10.1016/B978-0-12-823499-0.00004-3.

16. Sun Z., Chen H., Sun, L., Wang, Q. Converting carbon dioxide to high value-added products: microalgae-based green biomanufacturing. *GCB Bioenergy.* 2023; 15: 386–398. DOI: 10.1111/gcbb.13031.

17. Bora A., Thondi Rajan A. S., Ponnuchamy K., Muthusamy G., Alagarsamy A. Microalgae to bioenergy production: recent advances, influencing parameters, utilization of wastewater – a critical review. *Science of the Total Environment*. 2024; 946: 174230. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.174230.

18. Domingo E., Martínez-González B., Somovilla P., García-Crespo C., Soria M. E., de Ávila A. I., Gadea I., Perales C. A general and biomedical perspective of viral quasispecies. *A Publication of the RNA Society*. 2025; 31 (3): 429–443. DOI: 10.1261/rna.080280.124.

19. Chiriví-Salomón J. S., García-Huérfano S., Giraldo I. A. Bioprospecting microalgae: a systematic review of current trends. *Phycology*. 2024; 4: 508–532. DOI: 10.3390/phycology4030028.

20. Rodríguez-Zúñiga D., Méndez-Zavala A., Solís-Quiroz O., Morales-Oyervides L., Montañez-Saénz J. C., Benavente-Valdés J. R. Biology and composition of microalgae and cyanobacteria. *Sustainable Industrial Processes Based on Microalgae*. 2024. DOI: 10.1016/b978-0-443-19213-5.00001-7.

21. Tamala J. K., Maramag E. I., Simeon K. A., Ignacio J. J. A bibliometric analysis of sustainable oil and gas production research using VOSviewer. *Cleaner Engineering and Technology.* 2022; 7: 100437. DOI: 10.1016/j.clet.2022.100437.

22. Sathishkumar R. S., Sundaramanickam A., Srinath R., Ramesh T., Saranya K., Meena M., Surya P., Green synthesis of silver nanoparticles by bloom forming marine microalgae *Trichodesmium erythraeum* and its applications in antioxidant, drug-resistant bacteria, and cytotoxicity activity. *Journal of Saudi Chemical Society*. 2019; 23 (8): 1180–1191. DOI: 10.1016/j.jscs.2019.07.008.

23. Vermaas J. V., Mayne C. G., Shinn E., Tajkhorshid E. Assembly and analysis of cell-scale membrane envelopes. *Journal of Chemical Information and Modeling.* 2022; 62: 602–617. DOI: 10.1021/acs.jcim.1c01050.

24. Sun Z., Chen H., Sun L., Wang Q. Converting carbon dioxide to high value-added products: microalgae-based green biomanufacturing. *GCB Bioenergy*. 2023; 15 (4): 386–398. DOI: 10.1111/gcbb.13031.

25. Ciupe S. M., Conway J. M. Incorporating intracellular processes in virus dynamics models. *Microorganisms*. 2024; 12 (5): 900. DOI: 10.3390/microorganisms12050900.

26. Nilsson L. B., Sun F., Kadupitiya J. C. S., Jadhao V. Molecular dynamics simulations of deformable viral capsomers. *Viruses.* 2023; 15 (8): 1672. DOI: 10.3390/v15081672.

27. Waditee-Sirisattha R., Kageyama H. Protective effects of mycosporine-like amino acid-containing emulsions on UV-treated mouse ear tissue from the viewpoints of antioxidation and antiglycation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2021; 223: 112296. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2021.112296.

28. Adongbede E. M., Khatiwada J. R., Bansode R. R., Williams L. L. Natural products and antiviral resistance. *Advances in Microbiology*. 2024; 14 (7). DOI: 10.4236/aim.2024.147027.

29. Rumin J., Nicolau E., Junior R. G. O., Fuentes-Grünewald C., Flynn K. J., Picot L. A bibliometric analysis of microalgae research in the world, Europe, and the European Atlantic Area. *Marine Drugs*. 2020; 18 (2): 79. DOI: 10.3390/md18020079.

30. Khoo K. S., Ahmad I., Chew K. W., Iwamoto K., Bhatnagar A., Show P. L. Enhanced microalgal lipid production for biofuel using different strategies including genetic modification of microalgae: a review. *Progress in Energy and Combustion Science.* 2023; 96: 101071. DOI: 10.1016/j.pecs.2023.101071.

31. Sathya A. B., Thirunavukkarasu A., Nithya R., Nandan A., Sakthishobana K., Kola A. K., Sivashankar R., Tuan H. A., Deepanraj B. Microalgal biofuel production: potential challenges and prospective research. *Fuel*. 2023; 332: 126199. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.126199.

32. Devi A., Verma M., Saratale G. D., Saratale R. G., Ferreira L. F. R., Mulla S. I., Bharagava R. N. Microalgae: a green eco-friendly agents for bioremediation of tannery wastewater with simultaneous production of value-added products. *Chemosphere*. 2023; 336: 139192. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.139192.

33. Kashem A. H. M., Das P., AbdulQuadir M., Khan S., Thaher M. I., Alghasal G., Hawari A. H., Al-Jabri H. Microalgal bioremediation of brackish aquaculture wastewater. *Science of the Total Environment*. 2023; 873: 162384. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.162384.

34. Tambat V. S., Tseng Y., Kumar P., Chen C.-W., Singhania R. R., Chang J.-S., Dong C.-D., Patel A. K. Effective and sustainable bioremediation of molybdenum pollutants from wastewaters by potential microalgae. *Environmental Technology and Innovation*. 2023; 30: 103091. DOI: 10.1016/j.eti.2023.103091.

35. Maghzian A., Aslani A., Zahedi R., Yaghoubi M. How to effectively produce value-added products from microalgae? *Renewable Energy*. 2023; 204: 262–276. DOI: 10.1016/j.renene.2022.12.100.

Authors' information:

Elena V. Ulrikh, doctor of technical sciences, professor, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia; ORCID 0000-0003-4107-7277, AuthorID 697029. *E-mail: elen.ulrich@mail.ru*

Stanislav A. Sukhikh, doctor of technical sciences, professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; ORCID 0000-0001-7910-8388, AuthorID 446304. *E-mail: stas-asp@mail.ru*

Evgeniya S. Zemlyakova, candidate of technical sciences, associate professor, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia; ORCID 0000-0002-0974-3914, AuthorID 721403.
E-mail: evgeniya.zemljakova@klgtu.ru

Svetlana V. Agafonova, candidate of technical sciences, associate professor, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia; ORCID 0000-0002-5992-414X, AuthorID 846706.
E-mail: svetlana.agafonova@klgtu.ru

Nataliya Yu. Klyuchko, candidate of technical sciences, associate professor, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia; ORCID 0000-0002-6708-9674, AuthorID 344460.
E-mail: natalya.kluchko@klgtu.ru

УДК 636.085+ 639.2/.3+ 504.064.47
Код ВАК 4.2.4
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2019-2031

Потенциал вторичных ресурсов биотехнологических производств в кормопроизводстве для аквакультуры: химический и технологический аспекты

А. Ю. Шариков✉, **В. В. Иванов**, **М. В. Амелякина**, **А. А. Голубев**
Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия
✉*E-mail: anton.sharikov@gmail.com*

Аннотация. Производство полнорационных кормов для аквакультуры остается одной из наиболее затратных отраслей комбикормовой промышленности ввиду высоких требований к биологической ценности и физико-химическим характеристикам кормов. Рационы для аквакультуры должны быть сбалансированы по питательным веществам, поддерживающим физиологический рост и продуктивность водных организмов. Как правило, при производстве корма используют вторичные продукты разделки рыб, растительные отходы, водоросли. В условиях необходимости снижения себестоимости, рисков дефицита белковых компонентов и необходимости повышения устойчивого развития аквакультуры возрастает интерес к использованию в рецептурах вторичных ресурсов биотехнологических производств (спиртовая барда, грибная и дрожжевая биомассы). **Цель работы** – комплексный анализ и оценка потенциала вторичных сырьевых ресурсов биотехнологических производств для включения в рецептуры аквакормов с позиций химического состава и технологической переработки, включая технологические режимы экструзии и влияние на физико-механические свойства экструдатов. **Методы.** Изучены материалы научных исследований в области химического состава вторичных ресурсов биотехнологических производств, влияния их добавления в рецептуры кормов в технологии варочной экструзии на режимы процесса, физико-химические и технологические характеристики гранул. Поиск источников осуществлялся в научных электронных библиотеках и поисковых системах Science Direct, Google Scholar, медицинской базе данных PubMed, портале ResearchGate, научной электронной библиотеке eLIBRARY.ru. **Результаты.** Показано, что рассматриваемые ресурсы обладают высокой биологической ценностью, проанализированы данные химического состава, аминокислотного и минерального профиля, витаминного комплекса побочных продуктов биотехнологических производств. В обзоре оценены диапазоны дозировок вторичных биоресурсов в экструдируемые смеси, показано их совместное с параметрами варочной экструзии влияние на технологические свойства гранул под физиологические особенности различных видов рыб: степень расширения, плотность, плавучесть/скорость погружения, водостойкость, цвет. **Научная новизна.** Предложен практико-ориентированный подход к замещению традиционных ингредиентов аквакормов вторичными ресурсами биотехнологических производств, показаны критические параметры экструзии для достижения заданных технологических свойств и оптимальные уровни включения вторичных ресурсов на примере спиртовой барды.

Ключевые слова: аквакультура, кормопроизводство, биологическая ценность, вторичные сырьевые ресурсы, биотехнология, утилизация, барда, грибная биомасса, экструзия

Благодарности. Исследования выполнены в рамках государственного задания № FGMF-2025-0012.

Для цитирования: Шариков А. Ю., Иванов В. В., Амелякина М. В., Голубев А. А. Потенциал вторичных ресурсов биотехнологических производств в кормопроизводстве для аквакультуры: химический и технологический аспекты // Аграрный вестник Урала. 2026. Т 26, № 10, С. 2019–2031. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2019-2031.

Дата поступления статьи: 02.06.2025, ***дата рецензирования:*** 12.12.2025, ***дата принятия:*** 07.05.2026.

© Sharikov A. Yu., Ivanov V. V., Amelyakina M. V., Golubev A. A., 2026

Potential of biotechnological by-products in aquaculture feed production: chemical and technological aspect

A. Yu. Sharikov✉, **V. V. Ivanov, M. V. Amelyakina, A. A. Golubev**
Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – a branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia
✉*E-mail: anton.sharikov@gmail.com*

Abstract. Aquaculture feed manufacture remains among the costliest sectors of the compound-feed industry owing to stringent requirements for nutritional adequacy and physicochemical performance. Diets must supply balanced nutrients to sustain physiological growth and productivity of cultured species. Against growing cost pressure, potential protein-source shortages, and the imperative of sustainability, there is renewed interest in secondary resources from biotechnological production – distillers' dried grains with solubles (DDGS), fungal biomass, and yeast biomass – for aquafeed formulation. **The purpose** of the research was to critically appraise the potential of these resources for inclusion in aquafeeds, with emphasis on chemical composition and processing, including extrusion-cooking regimes and their effects on the physico-mechanical properties of extrudates. **Methods.** A literature review was conducted (ScienceDirect, Google Scholar, PubMed, ResearchGate, eLIBRARY.ru) covering composition data and the impact of these ingredients on extrusion parameters and pellet properties. **Results.** The surveyed resources exhibit high biological value; proximate composition, amino-acid and mineral profiles, and B-vitamin content are summarized. Practical inclusion ranges in extrudable blends are delineated, and their joint effects with extrusion parameters on pellet expansion, bulk density, floatability/sinking rate, water stability, and colour are discussed with regard to species-specific requirements. **Scientific novelty.** A practice-oriented framework is proposed for substituting conventional ingredients with secondary biotechnological resources; critical extrusion parameters and optimal inclusion levels are identified, illustrated with DDGS.

Keywords: aquaculture; feed manufacturing; biological value; secondary raw resources; biotechnology; valorization; DDGS; fungal biomass; extrusion

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of the state task № FGMF-2025-0012.

For citation: Sharikov A. Yu., Ivanov V. V., Amelyakina M. V., Golubev A. A. Potential of biotechnological by-products in aquaculture feed production: chemical and technological aspect. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2026; 26 (10): 2019–2031. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2019-2031. (In Russ.)

Date of paper submission: 02.06.2025, ***date of review:*** 12.12.2025, ***date of acceptance:*** 07.05.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Производство рыбных кормов в настоящее время является самым высокозатратным по сравнению с производством комбикормов для других видов животных. Это объясняется тем, что к комбикормам для рыбы предъявляются повышенные требования: рыба имеет короткую пищеварительную систему, которая требует легкоперевариморого корма, содержащего витамины, аминокислоты и микроэлементы, необходимые для нормального роста и развития. Одним из способов сокращения стоимости рыбных кормов может стать использование при его производстве дополнительных функциональных ингредиентов, полученных из вторичных биоресурсов. Вторичные ресурсы биотехнологических производств с высоким содержанием нутриентов в значительной степени могут повысить питательную ценность кормов и рентабельность производства. Данное направление становится все более актуальным [1–3]. Целью работы является комплексный анализ и оценка потенциала вторичных сырьевых ресурсов биотехнологических производств для добавления в рецептуры аквакормов с позиций химического состава и технологической переработки, включая технологические режимы экструзии и влияние на физико-механические свойства экструдатов.

Методология и методы исследования (Methods)

Объект исследования – актуальные данные научных материалов о биохимическом составе вторичных сырьевых ресурсов (ВСР) биотехнологических производств (спиртовая барда, грибная и дрожжевая биомассы) и возможности их использования в кормах аквакультур. Для обзора данных по исследуемой тематике проведен сравнительный анализ литературы, отобраны публикации, изучены списки литературы отобранных публикаций для выявления дополнительных актуальных источников информации и представлены данные по хими-

© Шариков А. Ю., Иванов В. В., Амелякина М. В., Голубев А. А., 2026

ческому, аминокислотному, минеральному, витаминному составу объектов ВСР. В исследование были включены работы, отражающие проблемы питания аквакультур и возможности их решения, Для отбора научных статей на русском и английском языках выполняли поиск по ключевым словам в научных электронных библиотеках и поисковых системах Science Direct, Google Scholar, медицинской базе данных PubMed, портале ResearchGate, научной электронной библиотеке eLIBRARY.ru. Первоначально поиск охватывал период 2010–2025 годов, более ранние публикации изучались в случае высокой цитируемости по рассматриваемому направлению исследования. Поисковые запросы выполняли по следующим ключевым словам на русском и английском языках: аквакультура, кормопроизводство, биологическая ценность, вторичные сырьевые ресурсы, химический состав, биотехнология, утилизация, экструзия, барда, грибная биомасса, aquaculture, feed production, biological value, biotechnology by-products, extrusion, DDGS, filamentous fungal biomass.

Результаты (Results)

Химический состав вторичных ресурсов

Белки и жиры имеют ключевое значение в питании водных организмов: они определяют обмен веществ, рост, служат строительным материалом при формировании тканей тела, источником энергии для правильного развития рыб. Недостаток их в рационе приводит к замедлению роста и болезням рыб [1; 4]. Баланс белков и жиров имеет первостепенное значение при формировании рациона питания аквакультур. Однако продуктивное питание водных организмов зависит не только от количества белка в корме, но и от его сбалансированности по аминокислотному составу. К незаменимым аминокислотам, необходимым для полноценного развития водных организмов относятся аргинин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин, треонин, триптофан и валин. Отсутствие или недостаточное количество в рационе аминокислот отрицательно влияет на жизнедеятельность водных организмов [5–7]. Основным эталонным компонентом аквакультур является рыбная мука ввиду сбалансированности по аминокислотному составу, макро- и микроэлементам [5; 7]. В таблицах 1 и 2 приведены сравнительные данные по химическому и аминокислотному составу ВСР биотехнологических производств в пересчете на сухое вещество на основании усредненных литературных данных ряда исследований. Включение дрожжевой биомассы в анализ обусловлено возможностью ее получения на вторичных сырьевых ресурсах биотехнологических производств, сочетанием благоприятного аминокислотного и витаминного профилей с технологической совместимостью экструзии и потенциалом снижения себестоимости аквакормов при сохранении требуемых свойств.

По данным таблиц 1 и 2, вторичные биоресурсы биотехнологических производств демонстрируют широкий интервал показателей питательной ценности: у спиртовой барды протеин составляет 27–41,38 % сухих веществ, у грибной биомассы – до 62,2 %, у дрожжевой биомассы – до 59,2 %. При этом доля клетчатки составляет 7,7–16,97 % для барды, 4,3–11,2 % для грибной биомассы, 2,69–4,63 % дрожжевой биомассы, а сырого жира – до 17,1 % в барде, до 5 % и 17,2 % в дрожжевой и грибной биомассе соответственно, что прямо влияет на формирование энергетического баланса рационов. Важно подчеркнуть, что химический состав этих ресурсов существенно варьирует в зависимости от вида микроорганизмов, применяемых субстратов и условий технологической обработки.

Таблица 1

Химический состав ВСР биотехнологических производств

Показатели пищевой ценности, %	Спиртовая барда [8–11]	Биомасса грибная [12–15]	Биомасса дрожжевая [13, 14, 16–18]
Протеин	27–41,38	19,5–62,2	28,9–59,2
Клетчатка	7,7–16,97	4,3–11,2	2,69–4,63
Сырой жир	4,5–17,1	1,6–17,2	1–5
Хитин		5,4–18,5	2,0–5,0
Зола	1,35–10,5	3,2–8,7	3,35–8,27

Table 1

Chemical profile of biotechnological by-products

Indicators of nutritional value, %	*Distilled dried grains [8–11]*	*Fungal biomass [12–15]*	*Yeast biomass [13, 14, 16–18]*
Crude protein	*27–41.38*	*19.5–62.2*	*28.9–59.2*
Crude fibre	*7.7–16.97*	*4.3–11.2*	*2.69–4.63*
Lipids	*4.5–17.1*	*1.6–17.2*	*1–5*
Chitin		*5.4–18.5*	*2.0–5.0*
Ash	*1.35–10.5*	*3.2–8.7*	*3.35–8.27*

Таблица 2

Аминокислотный состав ВСР биотехнологических производств

Аминокислота, % белка	Спиртовая барда [9, 11, 19]	Биомасса грибная [12, 20]	Биомасса дрожжевая [14, 16]	Рыбная мука [3, 6]
Изолейцин	2,9–5,9	2,8–6,3	3,5–4,28	3,4–4,3
Лейцин	2,1–7,7	5,0–8,8	6,0–6,7	5,4–8,2
Лизин	2,7–4,3	2,6–17,8	6,1–6,9	5,5–7,8
Метионин	1,2–2,1	1,0–3,1	1,9–2,3	2,2–3,3
Фенилаланин	0,6–6,0	2,7–11,1	3,5–3,8	3,0–4,4
Треонин	3,0–3,8	2,9–12,4	1,87–4,9	3,0–4,5
Триптофан	0,9–2,1	–	1,23–8,9	0,9
Валин	2,3–6,6	3,5–7,9	3,8–4,6	3,8–5,1

Table 2

Amino acid profile of biotechnological by-products

Amino acids, % of protein	*Distilled dried grains [9, 11, 19]*	*Fungal biomass [12, 20]*	*Yeast biomass [14, 16]*	*Fish meal [3, 6]*
Isoleucine	*2.9–5.9*	*2.8–6.3*	*3.5–4.28*	*3.4–4.3*
Leucine	*2.1–7.7*	*5.0–8.8*	*6.0–6.7*	*5.4–8.2*
Lysine	*2.7–4.3*	*2.6–17.8*	*6.1–6.9*	*5.5–7.8*
Methionine	*1.2–2.1*	*1.0–3.1*	*1.9–2.3*	*2.2–3.3*
Phenylalanine	*0.6–6.0*	*2.7–11.1*	*3.5–3.8*	*3.0–4.4*
Threonine	*3.0–3.8*	*2.9–12.4*	*1.87–4.9*	*3.0–4.5*
Tryptophan	*0.9–2.1*	–	*1.23–8.9*	*0.9*
Valine	*2.3–6.6*	*3.5–7.9*	*3.8–4.6*	*3.8–5.1*

Аминокислотные профили ВСР демонстрируют значительный разброс: например, содержание лизина составляет 2,6–17,8 % от массы белка грибной биомассы при 6,1–6,9 % в дрожжевой, что требует обязательной стандартизации партии и аминокислотной корректировки рецептур. На этом фоне дрожжевая биомасса по изолейцину, лейцину и лизину наиболее сопоставима с эталонными диапазонами рыбной муки: 3,5–4,28; 6,0–6,7; 6,1–6,9 % белка соответственно, тогда как спектр значений у барды и грибной биомассы более широк и неоднороден. Следовательно, их рациональное использование в кормах для аквакультуры целесообразно при учете исходной вариабельности и последующей технологической адаптации рецептур.

Содержание микроэлементов

Минеральные элементы являются важными факторами остеогенеза, репродуктивной функции и метаболической регуляции рыб. Например, кальций участвует в формировании костей и чешуи, важен для нереста, фосфор необходим для роста и развития организма [1]. В таблице 3 представлены данные по минеральному составу спиртовой барды, биомассы грибной и дрожжевой. В качестве контроля представлены данные минерального состава рыбной муки.

Анализ данных показывает, что профили минерального состава вторичных ресурсов существенно различаются между группами сырья. Для грибной биомассы диапазон содержания кальция – от 0,1 до 5,85 %, что частично перекрывает нижнюю границу контрольного диапазона рыбной муки (5,0–8,0 %) и отличается от стабильно низких уровней у дрожжевой биомассы (0,01–0,05 %) и спиртовой барды (0,13–0,199 %). Это определяет необходимость адресной минерализации рационов, особенно при использовании дрожжевой биомассы и барды. По макроэлементам грибная и дрожжевая биомасса характеризуются повышенными уровнями калия и фосфора, что позволяет покрывать потребности по этим элементам при обязательной корректировке соотношения Ca : P. При этом минеральные компоненты в любом случае остаются конструктивными элементами рецептуры: их дозирование следует рассчитывать с учетом вариабельности химического состава сырья и при необходимости корректировать уровни Ca, P, Mg и микроэлементов для соблюдения целевых балансов. Также можно отметить, что по ключевым элементам не наблюдается превышений относительно рыбной муки, и с учетом происхождения сырья это повышает технологическую безопасность рецептур и снижает риск избыточного ввода минералов.

Содержание витаминов

При составлении рациона питания для аквакультур особое внимание уделяют содержанию витаминов. Они участвуют в регуляции обмена веществ, поддержании иммунной системы. Дефицит витаминов в кормах сдерживает синтез ферментов и ведет к сбою обменных процессов. Каждый вид аквакультуры имеет свои потребности в витаминах и при разработке корма необходимо учитывать их особенности [25]. В таблице 4 представлены данные по витаминному составу объектов исследования.

Таблица 3

Минеральный состав спиртовой барды, биомассы грибной и дрожжевой

Элемент, %	Спиртовая барда [8, 9, 11]	Биомасса грибная [12, 20–23]	Биомасса дрожжевая [14]	Рыбная мука [24]
Натрий	0,241–0,277	0,01–0,48		0,5–1,5
Калий	0,408–0,52	0,07–1,82	0,89–2,58	0,5–1,2
Кальций	0,135–0,199	0,1–5,85	0,01–0,05	5,0–8,0
Магний	0,24–0,5	0,04–0,39	0,04–0,70	0,1–0,3
Фосфор	0,2	0,1–2,75	0,65–2,74	4,0–5,5
Железо	0,008–0,015	0,0004–0,0038		0,01–0,05
Цинк	0,003	0,002–0,0076		0,01–0,02
Медь	0,0065	0,0010–0,0016	0,003–0,059	0,0015
Марганец	0,001–0,007	0,002–0,0046		0,0025

Table 3

Minerals composition of distilled dried grains, fungal and yeast biomass

Mineral, %	*Distilled dried grains [8, 9, 11]*	*Fungal biomass [12, 20–23]*	*Yeast biomass [14]*	*Fish meal [24]*
Sodium	*0.241–0.277*	*0.01–0.48*	–	*0.5–1.5*
Potassium	*0.408–0.52*	*0.07–1.82*	*0.89–2.58*	*0.5–1.2*
Calcium	*0.135–0.199*	*0.1–5.85*	*0.01–0.05*	*5.0–8.0*
Magnesium	*0.24–0.5*	*0.04–0.39*	*0.04–0.70*	*0.1–0.3*
Phosphorus	*0.2*	*0.1–2.75*	*0.65–2.74*	*4.0–5.5*
Iron	*0.008–0.015*	*0.0004–0.0038*	–	*0.01–0.05*
Zinc	*0.003*	*0.002–0.0076*	–	*0.01–0.02*
Copper	*0.0065*	*0.0010–0.0016*	*0.003–0.059*	*0.0015*
Manganese	*0.001–0.007*	*0.002–0.0046*	–	*0.0025*

Таблица 4

Содержание витаминов в биотехнологических объектах вторичного сырья.

Витамины, мг / 100 г	Спиртовая барда [8, 9, 11]	Биомасса грибная [22]	Биомасса дрожжевая [14]
Тиамин (B1)	0,24–0,9	0,19–0,48	2,10–2,85
Рибофлавин (B2)	0,64–1,8	4,28	2,50–3,94
Ниацин (B3)	1,6–10,6	6,65	16,75–17,23
Пантотеновая кислота (B5)	11,2	4,75	2,00–20,00
Пиридоксин (B6)	0,51–0,9	0,12–2,4	2,15–2,37
Эргостерин (провитамин D)	–	–	550–1080
Витамин E	15,3–17	–	–

Table 4

Vitamins content of biotechnological by-products

Vitamin, mg / 100 g	*Distilled dried grains [8, 9, 11]*	*Fungal biomass [22]*	*Yeast biomass [14]*
Thiamine (B1)	*0.24–0.9*	*0.19–0.48*	*2.10–2.85*
Riboflavin (B2)	*0.64–1.8*	*4.28*	*2.50–3.94*
Niacin (B3)	*1.6–10.6*	*6.65*	*16.75–17.23*
Pantothenic acid (B5)	*11.2*	*4.75*	*2.00–20.00*
Pyridoxine (B6)	*0.51–0.9*	*0.12–2.4*	*2.15–2.37*
Ergosterol (provitamin D)	–	–	*550–1080*
Vitamin E	*15.3–17*	–	–

Из представленных данных в таблице видно, что рассматриваемые объекты содержат почти полный комплекс витаминов группы В, которые играют ключевую роль в процессах белкового, липидного и углеводного обмена [14, 23, 26]. Наиболее концентрированным источником витаминов группы В является дрожжевая биомасса. Грибная биомасса демонстрирует выраженное преимущество по рибофлавину при сопоставимых или умеренных значениях B1, B2, B3, B5, B6. Барда содержит витамин Е на уровне 15,3–17 мг / 100 г. В совокупности результаты подтверждают целесообразность

использования дрожжевой биомассы для обогащения рационов витаминами группы В, грибной – для усиления вклада В2, а барды – как источника витамина Е. Наблюдаемые различия содержаний обусловлены составом используемых субстратов, штаммовыми особенностями микроорганизмов и параметрами технологии. Доступные источники по ряду показателей ограничены и методологически неоднородны, что затрудняет прямые сопоставления. Указанное направление требует расширенных стандартизованных исследований.

Эффективность экструзии в аквакультуре

При производстве корма, помимо состава, важно также учитывать его форму и размер. В зависимости от вида рыбы и размера гранулы должны быть определенного диаметра, плавать на поверхности либо тонуть с определенной скоростью, а также сохранять целостность в течение заданного промежутка времени [27]. Донные рыбы, например карп или тиляпия, обычно забирают корм со дна водоема. Это тепловодные рыбы, они едят в 6 раз медленнее, чем хищные, им требуется стабильность наличия корма в воде. Хищные рыбы, например лосось, форель или окунь, ловят медленно опускающийся в воде корм и, как правило, не берут его со дна водоема [1]. Поэтому для аквакормов более важны такие свойства, как водостойкость, плавучесть, индекс водопоглощения, растворимость, объемная плотность, а также высокая пористость, необходимая для поглощения больших доз растительных и животных жиров. В современном производстве рыбных кормов практикуются три способа изготовления: гранулирование с помощью пресса-гранулятора, экспандирование с последующим гранулированием и экструдирование [28].

Технология варочной экструзии особенно эффективна при переработке вторичных биоресурсов. За счет варьирования режимных и конструктивных параметров – влажности, температуры, скорости вращения шнека экструдера, диаметра фильер, давления в предматричной зоне – экструзия позволяет трансформировать структуру сырья, его физические свойства, питательную ценность и химический состав в широких пределах, а также модифицировать вторичное сырье в функциональный продукт с заданными свойствами [29; 30].

В процессе экструдирования продукт приобретает пористую структуру и расширяется. Качества экструдата оценивают по индексу его расширения, твердости, влажности, питательной ценности, сохранности питательных веществ. На индекс расширения и объемную плотность экструдата оказывают влияние влажность, температура, частота вращения шнека экструдера и размер гранул [30]. Высокая влажность перерабатываемых смесей приводит к получению экструдата с малым индексом расширения и высокой объемной плотностью [31]. Температура процесса значительно влияет на степень расширения экструдатов. Расширение обычно не происходит при температуре экструдирования менее 100 °С [29]. Повышение температуры со 100 до 150 °С приводит к увеличению индексов водопоглощения и растворимости. Скорость вращения шнеков экструдера определяет уровень вклада сдвиговых деформации в деструкцию биополимеров сырья и влияет на физико-химические свойства. Например, при увеличении частоты вращения шнека со 100 до 150 об/мин отмечено снижение объемной плотности корма на 12 % и индекса прочности гранул на 13 % [32]. Уменьшение размера частиц сырья в смеси улучшает процесс экструзии, способствует снижению объемной плотности экструдата и повышению водостойкости, индекса водопоглощения гранул экструдированного корма, а также улучшению его переваримости [31].

Отношение длины шнека экструдера к его диаметру L/D также влияет на свойства экструдированного корма [29]. Увеличение значения L/D приводит к уменьшению объемной плотности экструдата, небольшому снижению водостойкости гранул и индекса водопоглощения.

Для экструдирования смеси чаще применяют двухшнековые экструдеры. По сравнению с одношнековым они имеют ряд преимуществ: можно обрабатывать сырье с более высоким (до 25 %) содержанием жира. Содержание жиров до 40 % значительно затрудняет процесс экструдирования, поэтому после завершения этой технологической операции жиры вводят в состав гранул корма путем обычного или вакуумного напыления – продукт получается более однородным по форме, размеру и консистенции, возможно вырабатывать мелкогранулированные корма для рыб с диаметром гранул 0,8–2,0 мм [4; 31].

Использование спиртовой барды в кормах аквакультур

Получение кормов из растительного сырья характеризуется высоким содержанием углеводов, пищевых волокон и сахаров, что оказывает значительное влияние на протекание процесса экструдирования кормов. Происходящая при экструзии трансформация макромолекул крахмала приводит к частичной деполимеризации амилопектиновой фракции по гликозидным связям, происходит клейстеризация гранул крахмала [33]. В результате значимо повышается ферментативная атакуемость компонентов комбикормов.

Методические рекомендации для расчета рецептов комбикормовой продукции не содержат норм ввода в рецептуры кормов для аквакультуры вторичных ресурсов биотехнологических производств [34]. При этом в зарубежной литературе представлены исследования по использованию в аквакормах для различных видов рыб сухой спиртовой

барды с растворимыми веществами (Distillers Dried Grains with Solubles, DDGS), таких как нильская тилапия *Oreochromis niloticus*, желтый окунь *Perca flavescens*, канальный сом *Ictalurus punctatus* и радужная форель *Oncorhynchus mykiss*. Технология спиртового производства с получением биоэтанола по технологии «мокрого помола» с получением DDGS процессуально отличается от традиционно используемой в России. Но также используются технологии сухого помола. Химический состав сухой спиртовой барды после сбраживания кукурузы по технологии характеризуется содержанием сырого белка – 26,4–27 %, сырого жира – 6,4–10,0 %; клетчатки – 9–36,6 %; золы – 4,9–5 %, лизина – 0,73 %, метионина – 0,43–0,55 % [34; 35]. При оценке питательной ценности DDGS необходимо учитывать не только общее содержание протеина, но и доступность отдельных аминокислот: при исследовании 21 образца барды было установлено, что содержание переваримого лизина у свиней коррелирует с концентрацией общего и реакционноспособного лизина, но не с содержанием сырого протеина [36]. Химический состав DDGS существенно зависит от вида перерабатываемого зерна. Так, среднее содержание сырого протеина в пшеничной DDGS составляло 34,6 %, а сырого жира – 4,5 % в пересчете на сухое вещество [37]. В исследовании 36 образцов DDGS европейских заводов установлена значительная вариабельность химического состава барды в зависимости от вида исходного зернового сырья, при этом кукурузная DDGS характеризовалась более стабильным составом по сравнению с пшеничной и полученной из зерновых смесей. Содержание сырого протеина в пшеничной барде было выше, чем в кукурузной (33,6 % против 29,1 %), как и нейтрально-детергентной клетчатки (43,8 против 40,0 % сухого вещества) [38].

Высокая питательная ценность, экономичность и экологичность делают этот ресурс привлекательной альтернативой традиционным источникам белка, таким как рыбная мука и соевый шрот. Содержание DDGS в кормовых смесях в исследованиях варьирует от 20 до 60 %, при этом оптимальный уровень включения без потери качества кормов, как правило, составляет около 40 %. Например, содержание DDGS до 40 % не оказывало негативного влияния на питательную ценность и качество гранул для желтого окуня [39; 40]. В то же время включение до 22,5 % DDGS в корма для радужной форели требует дополнительного введения лимитирующих аминокислот, таких как лизин и метионин, для повышения биологической ценности корма [32; 41; 42].

Включение DDGS оказывает заметное влияние на структурно-механические свойства экструдатов. Увеличение содержания DDGS приводит к снижению степени расширения и увеличению плотности гранул. В работах по исследованию DDGS выявлено, что степень расширения экструдатов уменьшилась на 22,3 % (с 2,15 до 1,67) при увеличении содержания DDGS до 40 %. При этом оптимальные значения степени расширения и плотности достигаются при дозировках DDGS около 20–30 %, тогда как при максимальных дозировках наблюдается значительное снижение степени расширения [39]. Аналогичные результаты были получены и у других исследователей, где при увеличении содержания DDGS с 17,5 % до 27,5 % степень расширения снизилась на 14,8 % и 23,5 % соответственно [43].

На экструдирование смесей с DDGS существенно влияют режимы экструзии, такие как температура и влажность смесей. В исследованиях показано, что повышение температуры экструзии от 90 °C до 140 °C и влажности с 15 % до 25 % приводит к уменьшению степени расширения с 2,03 до 1,62 и увеличивает их плотность при содержании DDGS 40 %. Это связано с усилением процессов желатинизации и денатурации, приводящих к повышению плотности экструдатов. Также влажность смеси играет важную роль: увеличение влажности смеси с 15 % до 25 % при той же дозировке DDGS уменьшает степень расширения экструдатов с 2,05 до 1,75 и увеличивает плотность [39; 43].

Также изменяется цвет кормов: гранулы приобретают более темные оттенки с увеличением содержания DDGS. Повышение дозировки DDGS ведет к снижению светлоты и увеличению красноты и желтизны экструдатов [43].

При увеличении доли DDGS изменяются также плавучесть и водостойкость гранул. Гранулы с содержанием до 40 % DDGS демонстрируют более низкую скорость погружения и повышенную водостойкость по сравнению с гранулами с меньшим содержанием DDGS [42]. В то же время в некоторых работах отмечено, что увеличение содержания DDGS до 27,5 % приводит к небольшому увеличению скорости погружения с 0 м/с (плавающие гранулы) до 0,10 м/с. Это указывает на снижение плавучести при повышении концентрации DDGS, но при этом гранулы сохраняют хорошую структурную целостность и водостойкость, препятствуя быстрому проникновению воды внутрь гранулы [43; 44].

Помимо этого, использование DDGS снижает удельную механическую энергию и вязкость кормовых смесей, что позволяет экономить энергию и снижать износ оборудования. Например, при увеличении содержания DDGS до 25 % удельная механическая энергия снижается на 18,3 % с 17,5 до 14,3 Вт/кг. При увеличении содержания DDGS до 40 % было отмечено дальнейшее незначительное увеличение SME до 14,7 Вт/кг, что все же остается ниже значений для контрольных образцов без DDGS [43; 45].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Вторичные ресурсы биотехнологических производств обладают высокой кормовой ценностью и значительным потенциалом для применения в производстве кормов для аквакультуры. Анализ химического состава показал, что данные компоненты содержат большое количество белка, сбалансированный аминокислотный профиль, а также существенные уровни минеральных элементов и витаминов. При этом отмечается выраженная меж- и внутригрупповая вариабельность состава, обусловленная различием субстратов, штаммовыми особенностями и параметрами технологии. Дрожжевая биомасса наиболее близка к рыбной муке по ключевым незаменимым аминокислотам и служит концентрированным источником витаминов группы В. Кальций является критичным элементом в химическом составе ВСР: низкое содержание у барды и дрожжей, широкий разброс у грибной биомассы, что требует подбора дозировок, минерализации рецептур с использованием неорганических ингредиентов с целью поддержания целевого соотношения кальция и фосфора.

Анализ технических решений в экструзии показывает, что рост доли барды в виде DDGS в экструдируемых смесях закономерно снижает степень расширения и повышает плотность гранул, влияя на плавучесть и водостойкость. Оптимальные технологические свойства, как правило, достигаются при умеренных уровнях включения около 20–30 % в сочетании с аминокислотной и минеральной коррекцией. Более высокие доли внесения требуют адаптации температурно-влажностных режимов и параметров формования.

Важным аспектом включения вторичных сырьевых ресурсов биотехнологических производств в рецептуры кормов является повышение экологической устойчивости биотехнологических производств, т. е. такие решения реализуют принципы безотходных технологий. Полученные результаты подтверждают целесообразность дальнейших исследований, направленных на оптимизацию рецептур и уточнение параметров экструзии в зависимости от видов водных организмов.

Библиографический список

1. Додаев К. А., Ниезов Х. Н., Суюндиков У. А., Худайберганов Х. Ш. Потребность в белках, маслах, углеводах, минералах при выращивании рыбы // Экономика и социум.2020. № 11 (78). С. 647–651.
2. Malik M. A., Sharma A., Chuphal N., Dar S. Fermentation-driven circular aquafeed solutions: sustainable use of agricultural byproducts // Aquaculture International. 2025. Vol. 33. Article number 510. DOI: 10.1007/s10499-025-02184-5.
3. Пахомов В. И., Хлыстунов В. Ф., Брагинец С. В., Бахчевников О. Н. Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (3). С. 281–294. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294.
4. Bell J. G., Koppe W. Lipids in aquafeeds // In: Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds / Edited by G. M. Turchini, W.-K. Ng, D. R. Tocher. 1st edition. Boca Raton: CRC Press, 2010. 551 p. DOI: 10.1201/9781439808634-c2.
5. Штенина Д. В. Значение кормов и их компонентов при выращивании рыбы // Вестник науки и образования. 2022. № 1 (121). Часть 2. С. 31–33.
6. Колмакова В. И., Колмакова А. А. Аминокислоты в перспективных кормах для аквакультуры рыб: обзор экспериментальных данных // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2020. № 13 (4). С. 424–442. DOI: 10.17516/1997-1389-0332.
7. Салдеева К. А., Мирошникова Е. П. Альтернативные источники протеина при производстве комбикормов для аквакультуры // Шаг в науку. 2021. № 3. С. 116–119.
8. Калоев Б. С. Сухая барда для бройлеров // Животноводство России. 2018. № 10. С. 9–10.
9. Туршатов М. В., Моисеева Н. Д., Кривченко В. А. [и др.]. Получение высококачественных сухих кормопродуктов из ВСР зерноперерабатывающих предприятий // Пиво и напитки. 2016. № 1. С. 22–25.
10. Ратошный А. Н., Забашта Н. Н., Головко Е. Н. Использование сухой спиртовой барды в рационах растущих свиней // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2014. Т. 3, № 3. С. 194–200.
11. Бессонов В. В., Богачук М. Н., Макаренко М. А. [и др.]. Исследование биохимического состава зерновой клетчатки спиртового производства // Пищевая промышленность. 2020. № 2. С. 12–15.
12. Karimi S., Mahboobi Soofiani N., Mahboubi A., et al. Evaluation of nutritional composition of pure filamentous fungal biomass as a novel ingredient for fish feed // Fermentation. 2021. Vol. 7, No. 3. Article number 152. DOI: 10.3390/fermentation7030152.
13. Куликов Д. С., Гулакова В. А., Колпакова В. В., Уланова Р. В. Получение белковых концентратов и кормовой микробной биомассы из экстракта тритикале и гороховой муки с использованием ферментов // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 49–51.

14. Серба Е. М., Юраскина Т. В., Римарева Л. В. [и др.]. Микробная биомасса – биоресурс для получения функциональных пищевых ингредиентов (обзор) // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53, № 3. С. 426–444. DOI: 10.21603/2074-9414-2023-3-2446.

15. Минаков Д. В., Конева С. И., Егорова Е. Ю. Ферменты биомассы мицелия грибов Cordyceps militaris и Lentinula edodes в технологии хлеба // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54, № 2. С. 222–235. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2502.

16. Фоменко И. А., Дегтярев И. А., Иванова Л. И., Машенцева Н. Г. Получение белкового концентрата из дрожжевой биомассы // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 6. С. 1172–1182. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1172rus.

17. Логвинова Т. И., Колодина Е. Н., Артемьева О. А., Никанова Д. А. Изучение свойств штаммов дрожжей, в качестве микробиологических продуцентов кормового белка // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 12-1. С. 57–61.

18. Туршатов М. В., Кривченко В. А., Соловьев А. О. Разработка технологии производства кормовых дрожжей при комплексной переработке зернового и углеводсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2019. № 10. С. 62–64. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10160.

19. Чабаев М., Пашкова Л., Анисова Н., Некрасов Р., Бляхман Д. Сухая пшеничная барда – полноценный источник белка // Комбикорма. 2014. № 5. С. 53–54.

20. Uwineza C., Parchami M., Bouzarjomehr M., Taherzadeh M. J., Mahboubi A. Recent developments in the application of filamentous fungus *Aspergillus oryzae* in ruminant feed // Animals. 2024. Vol. 14, No. 16. Article number 2427. DOI: 10.3390/ani14162427.

21. Saeed F., Afzaal M., Khalid A., et al. Role of mycoprotein as a non-meat protein in food security and sustainability: a review // International Journal of Food Properties. 2023. Vol. 26, No. 1. Pp. 683–695. DOI: 10.1080/10942912.2023.2178456.

22. Gnaim R., Dyer P. S., Ledesma-Amaro R. Fusarium-based mycoprotein: advancements in the production of sustainable meat substitutes // Trends in Food Science & Technology. 2025. Vol. 159. Article number 104981. DOI: 10.1016/j.tifs.2025.104981.

23. Зайцева В. В. Химический состав мицелия гриба fusarium sambucinum // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена „Знак Почета“ государственная академия ветеринарной медицины». 2010. Т. 46, № 2. С. 123–126.

24. Hertrampf J. W., Piedad-Pascual F. Fish Meal. In: Handbook on ingredients for aquaculture feeds. Dordrecht: Springer; 2000. Pp. 177–191. DOI: 10.1007/978-94-011-4018-8_18.

25. Юрин Д. А., Максим Е. А., Осепчук Д. В., Гнеуш А. Н., Мачнева Н. Л. Биопрепараты и фитогенные добавки в рыбоводстве: монография. Краснодар: КубГАУ, 2022. 89 с. DOI: 10.48612/monograph-2022-5.

26. Нечаева Т. А. Применение витаминно-аминокислотного комплекса гемобаланс при выращивании радужной форели // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2014. № 2 (22). С. 44–49.

27. Arevalo A. M., Ascheri J. L. R., de Oliveira E. M. S., Berrios J. D. J. Aquaculture feeds: a review of raw material, manufacturing process and product quality // Journal of Food, Agriculture & Environment. 2018. Vol. 16, No. 3/4. Pp. 10–17. DOI: 10.1234/4.2018.5530.

28. Коноваленко Л. Ю., Мишуров Н. П., Пономарев С. В., Федоровых Ю. В. Технологии производства кормов для аквакультуры: аналитический обзор. Москва: Росинформагротех, 2020. 80 с.

29. Singh B., Sharma C., Sharma S. Fundamentals of extrusion processing // In: Novel food processing technologies // Ed. by V. Nanda, S. Sharma. New Delhi: New Indian Publishing Agency – NIPA, 2017. DOI: 10.31219/osf.io/xqa5n.

30. Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K. O. Extrusion processing of raw food materials and byproducts: a review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2018. Vol. 59, No. 18. Pp. 2979–2998. DOI: 10.1080/10408398.2018.1480007.

31. Singh S. K. Understanding the effect of extrusion processing parameters on physical, nutritional and rheological properties of soy white flakes based aquafeed in a single screw extruder: doctoral dissertation [Электронный ресурс]. Brookings, SD: South Dakota State University, 2016. 252 p. URL: https://openprairie.sdstate.edu/etd/956/ (дата обращения: 09.03.2021).

32. Rosentrater K. A., Muthukumarappan K., Kannadhason S. Effects of ingredients and extrusion parameters on properties of aquafeeds containing DDGS and corn starch // Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition. 2009. Vol. 1, No. 2. Pp. 44–60. DOI: 10.36478/joafsnu.2009.44.60.

33. Шариков А. Ю., Иванов В. В., Амелякина М. В, Поливановская Д. В. Термопластическая экструзия в биотехнологии крахмалсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2021. № 9. С. 60–61. DOI: 10.52653/PPI.2021.9.9.026.

34. Афанасьев В. А., Николенко Л. А., Лисицына Н. В. [и др.]. Методические рекомендации для расчета рецептов комбикормовой продукции. Москва: ВНИИКП, 2003. 176 с.

35. Nutritional characteristics and feeding value of dried corn bran and solubles, de-oiled (Solvent Extracted DDGS), and corn distillers oil in animal diets [Электронный ресурс] / U. S. Grains Council. 2023. Chapter 8. 16 p. URL: https://grains.org/wp-content/uploads/2023/04/Chapter-8-Dried-Corn-Fiber-and-Solubles-Deoiled-DDGS-and-Distillers-Corn-Oil-in-Animal-Feeds.pdf (дата обращения: 12.10.2025).

36. Kim B. G., Kil D. Y., Zhang Y., Stein H. H. Concentrations of analyzed or reactive lysine, but not crude protein, may predict the concentration of digestible lysine in distillers dried grains with solubles fed to pigs // Journal of Animal Science. 2012. Vol. 90, No. 11. Pp. 3798–3808. DOI: 10.2527/jas.2011-4692.

37. Chrenková M., Čerešňáková Z., Formelová Z., et al. Chemical and nutritional characteristics of different types of DDGS for ruminants // Journal of Animal and Feed Sciences. 2012. Vol. 21, No. 3. Pp. 425–435.

38. Böttger C., Südekum K.-H. European distillers dried grains with solubles (DDGS): chemical composition and in vitro evaluation of feeding value for ruminants // Animal Feed Science and Technology. 2017. Vol. 224. Pp. 66–77. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.12.012.

39. Ayadi F. Y., Rosentrater K. A., Muthukumarappan K., Brown M. L. Single-screw extrusion processing of Distillers Dried Grains with Solubles (DDGS)-based yellow perch (Perca flavescens) feeds // Cereal Chemistry. 2011. Vol. 88, No. 2. Pp. 179–188. DOI: 10.1094/CCHEM-08-10-0118.

40. Ayadi F. Y., Rosentrater K. A., Muthukumarappan K., Brown M. L. Twin-screw extrusion processing of Distillers Dried Grains with Solubles (DDGS)-based yellow perch (Perca flavescens) feeds // ASABE Annual International Meeting 2010: Proceedings. Pittsburgh, Pennsylvania, USA, June 20–23, 2010. Vol. 1. Paper No. 1008336. Pp. 267–296. DOI: 10.13031/2013.30025.

41. Chevanan N., Muthukumarappan K., Rosentrater K. A., Julson J. L. Effect of die dimensions on extrusion parameters and properties of DDGS-based aquafeeds // Cereal Chemistry. 2007. Vol. 84, No. 4. Pp. 389–398. DOI: 10.1094/CCHEM-84-4-0389.

42. Rosentrater K. A., Mjoun K. Extruded aquafeeds containing Distillers Dried Grains with Solubles: effects on extrudate properties and processing behaviour // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2011. Vol. 91, No. 15. Pp. 2865–2874. DOI: 10.1002/jsfa.4536.

43. Kannadhason S., Muthukumarappan K. Effect of starch sources on properties of extrudates containing DDGS // International Journal of Food Properties. 2010. Vol. 13, No. 5. Pp. 1012–1034. DOI: 10.1080/10942910902937416.

44. Liu R., Xing S., Cheng H., et al. Effects of a novel bacteria meal (FeedKind®) on the physical properties of extrudates // Aquaculture Reports. 2023. Vol. 33. Article 101744. DOI: 10.1016/j.aqrep.2023.101744.

45. Chevanan N., Rosentrater K. A., Muthukumarappan K. Effects of processing conditions on single screw extrusion of feed ingredients containing DDGS // Food and Bioprocess Technology. 2008. Vol. 3. Pp. 111–120. DOI: 10.1007/s11947-008-0065-y.

Об авторах:

Антон Юрьевич Шариков, кандидат технических наук, заведующий отделом оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия; ORCID 0000-0001-9483-5209, AuthorID 609389. *E-mail: anton.sharikov@gmail.com*

Виктор Витальевич Иванов, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия; ORCID 0000-0002-6492-7070, AuthorID 646373.
E-mail: foodbiotech@ya.ru

Мария Валентиновна Амелякина, старший научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия; ORCID 0000-0002-5138-6746, AuthorID 644863. *E-mail: foodbiotech@ya.ru*

Алексей Алексеевич Голубев, инженер-технолог первой категории отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия; ORCID 0000-0002-3847-6472, AuthorID 1139237. *E-mail: foodbiotech@ya.ru*

References

1. Dodaev K. A., Niezov Kh. N., Suyundikov U. A., Khudayberganov Kh. Sh. The need for protein, oil, carbohydrates, minerals when growing fish. *Economics and Society*. 2020; 11 (78): 647–651. (In Russ.)

2. Malik M. A., Sharma A., Chuphal N., Dar S. Fermentation-driven circular aquafeed solutions: sustainable use of agricultural byproducts. *Aquaculture International*. 2025; 33 (6): 510. DOI: 10.1007/s10499-025-02184-5.

3. Pakhomov V. I., Khlystunov V. F., Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N. Current state and trends of the use of vegetable feedstock in aquaculture feeds (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23 (3): 281–294. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294. (In Russ.)

4. Bell J. G., Koppe W. Lipids in aquafeeds. In: Turchini G. M., Ng W.-K., Tocher D. R., editors. *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds*. Boca Raton: CRC Press, 2010. Pp. 21–59. DOI: 10.1201/9781439808634-c2.

5. Shtenina D. V. The importance of feeds and their components in fish farming. *Bulletin of Science and Education.*. 2022; 1 (2): 31–33. (In Russ.)

6. Kolmakov V. I., Kolmakova A. A. Amino acids in prospective feeds for fish aquaculture: a review of experimental data. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2020; 13 (4): 424–442. DOI: 10.17516/1997-1389-0332.

7. Saldeeva K. A., Miroshnikova E. P. Alternative protein sources in the production of compound feeds for aquaculture. *Shag v Nauku*. 2021; 3: 116–119. (In Russ.)

8. Kaloyev B. S. Distiller's dried grains for broilers. *Animal Husbandry of Russia*. 2018; 10: 9–10. (In Russ.)

9. Turshatov M. V., Moiseeva N. D., Krivchenko V. A., Solov'ev A. O., Kononenko V. V., Ledenev V. P. Production of high-quality dried feed products from secondary raw materials of grain-processing enterprises. *Beer and Beverages*. 2016; 1: 22–25. (In Russ.)

10. Ratoshnyy A. N., Zabashta N. N., Golovko E. N. Use of dried distillers grains in the diets of growing pigs. *Collection of Scientific Papers of the North Caucasus Research Institute of Animal Husbandry*. 2014; 3 (3): 194–200. (In Russ.)

11. Bessonov V. V., Bogachuk M. N., Makarenko M. A., Sokurenko M. S., Shevyakova L. V., Abramova I. M., Turshatov M. V., Krivchenko V. A., Solov'ev A. O. Study of the biochemical composition of grain fiber from ethanol production. *Food Processing Industry*. 2020; 2: 12–15. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10014. (In Russ.)

12. Karimi S., Mahboobi Soofiani N., Mahboubi A., Ferreira J. A., Lundh T., Kiessling A., Taherzadeh M. J. Evaluation of nutritional composition of pure filamentous fungal biomass as a novel ingredient for fish feed. *Fermentation*. 2021; 7 (3): 152. DOI: 10.3390/fermentation7030152.

13. Kulikov D. S., Gulakova V. A., Kolpakova V. V., Ulanova R. V. Production of protein concentrates and fodder microbial biomass from triticale extract and pea flour using enzymes. *Food Processing Industry*. 2019; 4: 49–51. (In Russ.)

14. Serba E. M., Yuraskina T. V., Rimareva L. V., Tadzibova P. Yu., Sokolova E. N., Volkova G. S. Microbial biomass as a bioresource of functional food ingredients: a review. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023; 53 (3): 426–444. DOI: 10.21603/2074-9414-2023-3-2446. (In Russ.)

15. Minakov D. V., Koneva S. I., Egorova E. Yu. Mycelial biomass enzymes of Cordyceps militaris and Lentinula edodes in baking technology. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024; 54 (2): 222–235. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2502. (In Russ.)

16. Fomenko I. A., Degtyarev I. A., Ivanova L. A., Mashentseva N. G. A technology for obtaining a protein concentrate from yeast biomass of Kluyveromyces marxianus Van der Walt (1965). *Agricultural Biology*. 2021; 56 (6): 1172–1182. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.6.1172rus. (In Russ.)

17. Logvinova T. I., Kolodina E. N., Artem'eva O. A., Nikanova D. A. Study of yeast strain properties as microbial producers of feed protein. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2016; 12-1: 57–61. (In Russ.)

18. Turshatov M. V., Krivchenko V. A., Soloviev A. O. Development of technology for fodder yeast production of in the complex processing of grain and carbohydrate-containing raw materials. *Food Processing Industry*. 2019; 10: 62–64. DOI: 10.24411/0235-2486-2019-10160. (In Russ.)

19. Chabaev M., Pashkova L., Anisova N., Nekrasov R., Blyakhman D. Dried wheat distillers grains as a complete source of protein. *Compound Feeds*. 2014; 5: 53–54. (In Russ.)

20. Uwineza C., Parchami M., Bouzarjomehr M., Taherzadeh M. J., Mahboubi A. Recent developments in the application of filamentous fungus Aspergillus oryzae in ruminant feed. *Animals*. 2024; 14 (16): 2427. DOI: 10.3390/ani14162427.

21. Saeed F., Afzaal M., Khalid A., Shah Y. A., Ateeq H., Islam F., Akram N., Ejaz A., Nayik G. A., Shah M. A. Role of mycoprotein as a non-meat protein in food security and sustainability: a review. *International Journal of Food Properties*. 2023; 26 (1): 683–695. DOI: 10.1080/10942912.2023.2178456.

22. Gnaim R., Dyer P. S., Ledesma-Amaro R. Fusarium-based mycoprotein: advancements in the production of sustainable meat substitutes. *Trends in Food Science & Technology*. 2025; 159: 104981. DOI: 10.1016/j.tifs.2025.104981.

23. Zaytseva V. V. Chemical composition of the mycelium of the fungus Fusarium sambucinum. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaya ordena 'Znak Pocheta' gosudarstvennaya akademiya veterinarnoy meditsiny"*. 2010; 46 (2): 123–126. (In Russ.)

24. Hertrampf J. W., Piedad-Pascual F. Fish meal. In: *Handbook on ingredients for aquaculture feeds*. Dordrecht: Springer, 2000. Pp. 177–191. DOI: 10.1007/978-94-011-4018-8_18.

25. Yurin D. A., Maksim E. A., Osepchuk D. V., Gneush A. N., Machneva N. L. *Biological products and phytogenic additives in fish farming: monograph*. Krasnodar: KubGAU, 2022. 89 p. DOI: 10.48612/monograph-2022-5. (In Russ.)

26. Nechaeva T. A. Application of vitamin and amino acids of the complex Haemobalance in rainbow trout rearing. *Actual Questions of Veterinary Biology*. 2014; 2 (22): 44–49. (In Russ.)

27. Arevalo A. M., Ascheri J. L. R., de Oliveira E. M. S., Berrios J. D. J. Aquaculture feeds: a review of raw material, manufacturing process and product quality. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2018; 16 (3/4): 10–17. DOI: 10.1234/4.2018.5530.

28. Konovalenko L. Yu., Mishurov N. P., Ponomarev S. V., Fyodorovykh Yu. V. *Technologies for the production of feed for aquaculture: analytical overview*. Moscow: Rosinformagrotekh, 2020. 80 p. (In Russ.)

29. Singh B., Sharma C., Sharma S. *Fundamentals of extrusion processing*. Center for Open Science, 2020. DOI: 10.31219/osf.io/xqa5n.

30. Offiah V., Kontogiorgos V., Falade K. O. Extrusion processing of raw food materials and by-products: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019; 59 (18): 2979–2998. DOI: 10.1080/10408398.2018.1480007.

31. Singh S. K. *Understanding the effect of extrusion processing parameters on physical, nutritional and rheological properties of soy white flakes based aquafeed in a single screw extruder: doctoral dissertation* [Internet]. Brookings, SD: South Dakota State University; 2016 [cited 2021 Mar 09]. 252 p. Available from: https://openprairie.sdstate.edu/etd/956/.

32. Rosentrater K. A., Muthukumarappan K., Kannadhason S. Effects of ingredients and extrusion parameters on properties of aquafeeds containing DDGS and corn starch. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*. 2009; 1 (2): 44–60. DOI: 10.36478/joafsnu.2009.44.60

33. Sharikov A. Yu., Ivanov V. V., Amelyakina M. V., Polivanovskaya D. V. Thermoplastic extrusion in biotechnology of starch-containing raw materials. *Food Processing Industry*. 2021; 9: 60–61. DOI: 10.52653/PPI.2021.9.9.026. (In Russ.)

34. Afanas'ev V. A., Nikolenko L. A., Lisitsyna N. V., Chernyshov N. I., Egorov I., Imangulov Sh. A., Ignatova G. V., Vinogradov V. N., Kirilov M. P., Krokhina V. A., Shcheglov V. V., Makhaev E. A., Gamygin E. A., Ponomarev S. V., Sklyarov V. Ya., Sudakova N. V. *Guidelines for calculating compound feed formulations*. Moscow: VNIIKP, 2003. 176 p. (In Russ.)

35. *Nutritional characteristics and feeding value of dried corn bran and solubles, de-oiled (solvent extracted DDGS), and corn distillers oil in animal diets* [Internet]. U. S. Grains Council; 2023 [cited 2026 Oct 12]; 8. 16 p. Available from: https://grains.org/wp-content/uploads/2023/04/Chapter-8-Dried-Corn-Fiber-and-Solubles-Deoiled-DDGS-and-Distillers-Corn-Oil-in-Animal-Feeds.pdf.

36. Kim B. G., Kil D. Y., Zhang Y., Stein H. H. Concentrations of analyzed or reactive lysine, but not crude protein, may predict the concentration of digestible lysine in distillers dried grains with solubles fed to pigs. *Journal of Animal Science*. 2012; 90 (11): 3798–3808. DOI: 10.2527/jas.2011-4692.

37. Chrenková M., Čerešňáková Z., Formelová Z., Poláčiková M., Mlyneková Z., Fľak P. Chemical and nutritional characteristics of different types of DDGS for ruminants. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 2012; 21 (3): 425–435. DOI: 10.22358/jafs/66108/2012.

38. Böttger C., Südekum K.-H. European distillers dried grains with solubles (DDGS): chemical composition and in vitro evaluation of feeding value for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 2017; 224: 66–77. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.12.012.

39. Ayadi F. Y., Muthukumarappan K., Rosentrater K. A., Brown M. L. Single-screw extrusion processing of distillers dried grains with solubles (DDGS)-based yellow perch (Perca flavescens) feeds. *Cereal Chemistry*. 2011; 88 (2): 179–188. DOI: 10.1094/CCHEM-08-10-0118.

40. Ayadi F. Y., Rosentrater K. A., Muthukumarappan K., Brown M. L. Twin-screw extrusion processing of distillers dried grains with solubles (DDGS)-based yellow perch (Perca flavescens) feeds. *ASABE Annual International Meeting 2010: Proceedings.* Pittsburgh, Pennsylvania, USA, June 20–23, 2010. 2010; 1: 267–296. Paper No. 1008336. DOI: 10.13031/2013.30025.

41. Chevanan N., Muthukumarappan K., Rosentrater K. A., Julson J. L. Effect of die dimensions on extrusion processing parameters and properties of DDGS-based aquaculture feeds. *Cereal Chemistry*. 2007; 84 (4): 389–398. DOI: 10.1094/CCHEM-84-4-0389.

42. Mjoun K., Rosentrater K. A. Extruded aquafeeds containing distillers dried grains with solubles: effects on extrudate properties and processing behaviour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2011; 91 (15): 2865–2874. DOI: 10.1002/jsfa.4536.

43. Kannadhason S., Muthukumarappan K. Effect of starch sources on properties of extrudates containing DDGS. *International Journal of Food Properties*. 2010; 13 (5): 1012–1034. DOI: 10.1080/10942910902937416.

44. Liu R., Xing S., Cheng H., Liang X., Wang J., Wang J., Longshaw M., Hou L., Xue M., Wang H. Effects of a novel bacteria meal (FeedKind®) on the physical properties of extrudates. *Aquaculture Reports*. 2023; 33: 101744. DOI: 10.1016/j.aqrep.2023.101744.

45. Chevanan N., Rosentrater K. A., Muthukumarappan K. Effects of processing conditions on single screw extrusion of feed ingredients containing DDGS. *Food and Bioprocess Technology*. 2010; 3 (1): 111–120. DOI: 10.1007/s11947-008-0065-y.

Authors' information:

Anton Yu. Sharikov, candidate of technical sciences, head of the department of food production equipment and membrane technologies, Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia; ORCID 0000-0001-9483-5209, AuthorID 609389. *E-mail: anton.sharikov@gmail.com*

Viktor V. Ivanov, candidate of technical sciences, leading researcher at the department of food production equipment and membrane technologies, Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia;
ORCID 0000-0002-6492-7070, AuthorID 646373. *E-mail: foodbiotech@ya.ru*

Mariya V. Amelyakina, senior researcher at the department of food production equipment and membrane technologies, Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia; ORCID 0000-0002-5138-6746, AuthorID 644863. *E-mail: foodbiotech@ya.ru*

Aleksey A. Golubev, first-category technological engineer at the department of food production equipment and membrane technologies, Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology – a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia; ORCID 0000-0002-3847-6472, AuthorID 1139237. *E-mail: foodbiotech@ya.ru*

УДК 636.52/.58.085.12
Код ВАК 4.2.4
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2032-2046

Эффективность использования кормовых добавок «Гербастор» и «Биостронг 510» в технологии кормления кур-несушек

Е. В. Шацких✉, **Е. Н. Латыпова**
Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия
✉*E-mail: evshackih@yandex.ru*

Аннотация. Интенсивность эксплуатации кур-несушек в промышленных масштабах, а именно в условиях их большой концентрации на ограниченной территории, создает риск неустойчивого благополучия птицефабрик по инфекционным и бактериальным болезням. Снижение иммунитета организма птицы приводит к низкой сохранности поголовья, не отвечающей санитарно-ветеринарным требованиям к качеству производимой продукции. Поиск и внедрение способов защиты и поддержки иммунной системы организма птицы без применения антибиотиков и других лекарственных препаратов являются все более актуальными. **Цель** работы – изучение эффективности использования в технологии кормления кур-несушек препаратов «Гербастор» и «Биостронг 510», включающих фитогеники. **Методы.** Исследования проводились на промышленных курах яичного кросса Хайсекс Браун в АО «Птицефабрика „Боровская“» при клеточных условиях содержания. Технологические параметры содержания и кормления подопытной птицы соответствовали рекомендациям, принятым на птицефабрике, составленным в соответствии с руководствами по содержанию кросса кур. Исследование проводилось в соответствии с рекомендуемыми методиками ФНЦ «ВНИТИП» РАН (2013). В ходе исследований оценивали морфологическое состояние печени, селезенки, тимуса, анализировали биохимический состав сыворотки крови кур и показатели яичной продуктивности несушек. **Научная новизна.** Разработана и внедрена новая научно обоснованная схема применения фитосодержащих препаратов «Гербастор» и «Биостронг 510» в кормлении кур-несушек, демонстрирующая высокий биологический и продуктивный эффект. Доказано пролонгированное действие испытуемых добавок, что является одним из важных экономических эффектов в птицеводстве. **Результаты.** Включение в рацион кур по предлагаемой схеме кормовых добавок «Гербастор» и «Биостронг 510» сопровождается менее выраженными признаками воспалительных процессов и жировой дистрофии в печени, улучшением морфофункционального состояния центрального органа иммунной системы – тимуса, оптимальным содержанием биохимических показателей в сыворотке крови, увеличением яйценоскости птицы, что свидетельствует о перспективности использования данных добавок в технологии кормления товарных несушек.

Ключевые слова: печень, селезенка, тимус, биохимический анализ крови, фитобиотики, куры-несушки

Для цитирования: Шацких Е. В., Латыпова Е. Н. Эффективность использования кормовых добавок «Гербастор» и «Биостронг 510» в технологии кормления кур-несушек // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 2032–2046. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2032-2046.

Дата поступления статьи: 30.06.2026, ***дата рецензирования:*** 27.07.2026, ***дата принятия:*** 07.09.2026.

© Шацких Е. В., Латыпова Е. Н., 2026

The efficacy of using the feed additives “Gerbastor” and “Biostrong 510” in laying hen feeding programs

E. V. Shatskikh✉, **E. N. Latypova**
Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia
✉*E-mail: evshackih@yandex.ru*

Abstract. The intensive exploitation of laying hens on an industrial scale-characterized by high population density within a confined area-creates a risk of instability regarding the health status of poultry farms, particularly concerning infectious and bacterial diseases. A decline in the birds’ immune response leads to poor flock survival rates and fails to meet the sanitary and veterinary standards required for product quality. Consequently, there is an increasing need to identify and implement methods for protecting and supporting the avian immune system without relying on antibiotics or other pharmaceutical agents. **The purpose** of this study was to evaluate the efficacy of incorporating the phytogenic-based additives “Gerbastor” and “Biostrong 510” into the feeding regimen of laying hens. **Methods.** The research was conducted at the “Borovskaya” Poultry Farm (JSC) using the commercial egg-laying crossbreed Hisex Brown housed in battery cages. The management and feeding parameters for the experimental flock adhered to the farm’s established protocols, which are based on the official management guidelines for this specific crossbreed. The study followed the methodologies recommended by the Federal Scientific Center “VNITIP” of the Russian Academy of Sciences (2013). The research involved assessing the morphological condition of the liver, spleen, and thymus, analyzing the biochemical composition of the hens’ blood serum, and measuring egg production performance. **Scientific novelty.** A new, scientifically substantiated protocol for using the phytogenic additives “Gerbastor” and “Biostrong 510” in the diets of laying hens has been developed and implemented, demonstrating significant biological and productive benefits. The study confirms that these additives exert a prolonged effect, which represents a key economic advantage for the poultry industry. **Results.** Including the feed additives “Gerbastor” and “Biostrong 510” in the diet of laying hens, according to the proposed regimen, results in less pronounced signs of inflammatory processes and fatty degeneration in the liver, an improvement in the morphofunctional state of the thymus – the central organ of the immune system, optimal levels of biochemical markers in the blood serum, and an increase in egg production. These findings demonstrate the potential for using these additives in the feeding protocols for commercial laying hens.

Keywords: liver, spleen, thymus, biochemical blood analysis, phytobiotics, laying hens

For citation: Shatskikh E. V., Latypova E. N. The efficacy of using the feed additives “Gerbastor” and “Biostrong 510” in laying hen feeding programs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 2032–2046. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2032-2046. (In Russ.)

Date of paper submission: 30.06.2026, ***date of review:*** 27.07.2026, ***date of acceptance:*** 07.09.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В обеспечении продовольственной безопасности птицеводство занимает лидирующие позиции в агропромышленном комплексе Российской Федерации и мировом масштабе [1–5]. Интенсивное развитие и конкурентоспособность данной отрасли во многом зависят от совершенствования существующих и внедрения новых инновационных технологий содержания и кормления сельскохозяйственной птицы [6; 7]. При этом траектория современных научных изысканий наряду с повышением продуктивных показателей птиц, всегда направлена на улучшение качества продукции [8]. В этой связи особого внимания заслуживают исследования по оптимизации программ кормления птиц с использованием современных биологически активных добавок, оказывающих благоприятное влияние на микробиоценоз желудочно-кишечного тракта птиц, ее гематологический статус, здоровье и возрастание рентабельности производства [9; 10].

До недавнего времени птицеводство страны было ориентировано на одногодичное использование кур промышленного стада. На сегодня же анализ тенденций в промышленном птицеводстве показывает, что современные кроссы кур сохраняют резервы для их успешной эксплуатации в течение гораздо большего времени [11].

Ведутся изыскания новых физиологически и экономически обоснованных средств и методов продления эксплуатации кур-несушек, которые будут соответствовать комфортным условиям содержания. Данную задачу возможно решить за счет разработки технологий получения безопасной продукции птицеводства с использованием кормовых добавок на основе натуральных природных стимуляторов роста – фитобиотиков, позволяющих эф-

© Shatskikh E. V., Latypova E. N., 2026

фективнее использовать корма и снизить затраты на производство единицы продукции, увеличить срок использования птицы, ее продуктивность и сохранность; обеспечить не только повышение продуктивности птицы, но и лечебно-профилактическую защиту организма от патогенных факторов влияния внешней среды, ведь благодаря их деятельности снижается колонизация патогенными микроорганизмами в пищеварительном тракте [12–14]. Фитобиотики содержат природные антиоксиданты и иммуномодулирующие соединения, которые повышают резистентность организма к стрессовым факторам и инфекционным агентам, способствуя при этом лучшей переваримости и усвоению питательных веществ в сложно организованной многофункциональной системе – пищеварительном аппарате [15]. Преследуя цель получения пользы для здоровья, которую приносит использование фитобиотиков в птицеводстве, не стоит забывать о потенциально токсическом действии некоторых трав на работу печени и негативном влиянии на вкусовые качества яиц, что связанно с неправильным добавлением трав в кормовые смеси или питьевую воду [16].

Методология и методы исследования (Methods)

Для эксперимента в рационе птиц применяли в первой опытной группе – кормовую фитобиотическую добавку «Гербастор», содержащую растительные компоненты, полученные из расторопши, эхинацеи, орегано, а также живые спорообразующие бактерии рода Bacillus и продукты их метаболизма (ферменты, органические кислоты, витамины); во второй опытной группе – «Биостронг 510» – микрокапсулированный препарат с экстрактом квиллайи, анисовым и тимьяновым маслами, порошком чили и горечавки.

Возраст птицы в период проведения исследований составлял 14–100 недель (таблица 1).

На протяжении научно-хозяйственного опыта изучали:

1. Развитие печени кур (абсолютная и относительная масса, размер) в ходе анатомической разделки тушек птицы. Для этого, согласно методике ФНЦ «ВНИТИП» РАН (2013) [17], отбирали по 5 средних по живой массе кур из каждой группы. Убой проводился методом декапитации.

Таблица 1

Схема проведения научно-хозяйственного опыта

Группа	Количество голов	Средняя живая масса, г	Однородность, %	Условия кормления
Контрольная	1400	1362,26 ±11,42	93,10	Основной рацион (ОР) – комбикорм с питательностью, соответствующей рекомендациям для кросса Хайсекс Браун
Опытная 1	1400	1359,56 ±11,02	93,22	ОР + «Гербастор» в количестве 500 г / 1000 кг комбикорма с 18-й по 32-ю неделю жизни (в течение 105 дней) и с 53-й по 84-ю неделю (в течение 224 дней)
Опытная 2	1400	1361,41 ±11,32	92,59	ОР + «Биостронг 510» в количестве 150 г / 1000 кг комбикорма с 18-й по 32-ю неделю жизни (в течение 105 дней) и с 53-й по 84-ю неделю (в течение 224 дней)

Table 1

The scheme of scientific and economic experience

Group	*Number of heads*	*Average body weight, g*	*Uniformity, %*	*Feeding conditions*
Control	*1400*	*1362.26 ±11.42*	*93.10*	*Basic ration (BR) – compound feed with a nutritional value corresponding to the recommendations for the Haysex Brown cross*
Experimental 1	*1400*	*1359.56 ±11.02*	*93.22*	*BR + Gerbastor in the amount of 500 g / 1000 kg of mixed feed from the 18th to the 32nd week of life (for 105 days) and from the 53rd to the 84th week (for 224 days)*
Experimental 2	*1400*	*1361.41 ±11.32*	*92.59*	*BR + "Biostrong 510" in the amount of 150 g / 1000 kg of mixed feed from the 18th to the 32nd week of life (for 105 days) and from the 53rd to the 84th week (for 224 days)*

2. Морфогистологическое состояние внутренних органов птиц (печень, селезенка, тимус). Материал для данных исследований (n = 3) фиксировался в 10-процентном растворе нейтрального формалина. Изучение общих структурных изменений в органах проводилось на парафиновых срезах, препараты окрашивали гематоксилином и эозином по общепринятой методике. Все гистологические исследования документировались фотографированием на микроскопе.

3. Биохимический состав сыворотки крови несушек (количество общего белка, альбуминов, мочевины, креатинина, мочевой кислоты, глюкозы, холестерина, триглицеридов, аланинаминотрансферазы (АЛАТ), аспартатаминотрансферазы (АСАТ), общего кальция, ионизированного кальция, неорганического фосфора). Анализ крови выполнялся на биохимическом анализаторе BS-380 MINDRAY (Китай) и ионселективном анализаторе ТОПАЗ (Россия).

4. Яичную продуктивность – путем ежедневного подсчета количества снесенных яиц, определения возраста снесения 1-го яйца и пика продуктивности.

Экспериментальные данные обработаны методом вариационной статистики с использованием Microsoft Excel. Оценку статистической значимости различий между группами проводили с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты (Results)

Нормальный размер печени у кур может варьироваться в зависимости от возраста, пола, породы и общего состояния птицы. Относительная масса печени и ее долей от живой массы кур является важным показателем, отражающим постнатальный морфогенез этого органа. Обычно печень кур имеет размер около 2–3 % от массы тела птицы. Так, по ранее проведенным исследованиям установлено, что абсолютная масса этого органа в фазу биологической усталости (525 суток) равна 50,75 г.

Таблица 2

Развитие печени у кур-несушек, $M \pm m$ (n = 5)

Показатель	Группа		
	Контрольная	Опытная 1	Опытная 2
24 недели			
Живая масса, г	1855,40 ±7,55	1835,40 ±4,89	1854,60 ±13,06
Печень, г	43,59 ±2,45	42,93 ±1,63	35,87 ±1,44*
Относительная масса, %	2,35	2,34	1,93
40 недель			
Живая масса, г	2061,80 ±5,63	2029,40 ±16,69	2024,60 ±29,30
Печень, г	46,51 ±2,24	45,77 ±1,93	45,29 ±2,17
Относительная масса, %	2,26	2,26	2,24
84 недели			
Живая масса, г	2164,40 ±17,27	2098,20 ±52,55	2126,60 ±4,35
Печень, г	55,16 ±1,68	55,02 ±2,14	52,82 ±2,47
Относительная масса, %	2,55	2,62	2,48

*Примечание. Здесь и далее по сравнению с контролем: * степень достоверности P ≤ 0,05; ** степень достоверности P ≤ 0,01; *** степень достоверности P ≤ 0,001.*

Table 2

Liver development in laying hens, M ±m (n = 50)

Indicator	*Group*		
	Control	*Experienced 1*	*Experienced 2*
24 weeks			
Live weight, g	*7.71 ±0.43*	*8.20 ±0.12*	*8.02 ±0.05*
Liver, g	*5.47 ±0.14*	*5.40 ±0.11*	*5.50 ±0.08*
Relative mass, %	*4.08 ±0.02*	*4.00 ±0.00***	*4.10 ±0.00*
40 weeks			
Live weight, g	*6.60 ±0.02*	*8.88 ±0.34****	*10.58 ±0.53****
Liver, g	*4.60 ±0.07*	*5.27 ±0.15***	*4.63 ±0.03*
Relative mass, %	*3.65 ±0.07*	*3.43 ±0.03**	*3.72 ±0.02*
84 weeks			
Live weight, g	*12.41 ±0.32*	*15.49 ±1.27**	*12.36 ±0.22*
Liver, g	*5.58 ±0.13*	*5.71 ±0.16*	*5.93 ±0.13*
Relative mass, %	*3.86 ±0.07*	*3.90 ±0.06*	*3.74 ±0.02*

*Note. Hereinafter in comparison with the control: * degree of reliability P ≤ 0.05; ** degree of reliability P ≤ 0.01; *** degree of reliability P ≤ 0.001.*

По результатам наших исследований, представленным в таблице 2, в контрольной и первой опытной группах абсолютная масса печени составила 43,59 и 42,93 г соответственно, незначительно превышая физиологическую норму. Это могло свидетельствовать о начале функциональных изменений, возможно, связанных с высокобелковым рационом или началом яйцекладки. Во второй опытной группе масса печени была наиболее близка к норме (35,87 г). В 40-недельном возрасте абсолютная масса печени во всех группах соответствовала физиологической норме для пика продуктивности. Это говорит о хорошей адаптации птицы. В 84 недели масса печени во всех группах также находилась в пределах нормы для этого возраста. Наблюдали небольшое отставание данного показателя во второй опытной группе от контроля на 4,24 %.

Относительная масса печени в 24-недельном возрасте у кур контрольной и первой опытной групп была на одном уровне, у птиц второй опытной группы она была ниже контроля на 0,42 % ($P \leq 0,05$), что согласуется с достоверно меньшей абсолютной массой печени в этой группе. Для кур-несушек, вступающих в продуктивный период, это может быть неблагоприятным признаком и, возможно, объясняет меньший процент пика яйценоскости по сравнению с контрольной и первой опытной группами, при этом данный показатель во второй опытной группе находился в нормативных пределах.

В возрасте 40 недель (пик продуктивности птицы) вскрытие показало, что у всех групп печень имеет одинаковую относительную массу в диапазоне 2,24–2,26 %, что соответствует физиологическому развитию здоровой птицы в этот период. В возрасте 84 недель (период завершения периода яйценоскости) наблюдалась тенденция к увеличению относительной массы печени, особенно в первой опытной (2,62 %) и контрольной (2,55 %) группах. Это могло быть связано с возрастными изменениями, в том числе с риском жировой дистрофии печени на фоне снижения яйценоскости. Во второй опытной группе этот показатель, составляющий 2,48 %, был ближе к норме.

Анализ динамики гистологического материала печени, селезенки и тимуса исследуемых кур в возрасте 24, 40 и 84 недель жизни позволил отметить следующие изменения во внутренних органах у кур.

Анализ гистологических препаратов внутренних органов кур в возрасте 24 недель

Печень контрольных кур. Первый контрольный образец показал, что балки хорошо сформированы. Цитоплазма гепатоцитов была неравномерно оксифильна, виднелись мелкие вакуоли и зернистость. Ядра клеток были мономорфными, однородно окрашенными, ядрышки и зерна хроматина – хорошо выраженными. В венозном русле наряду с эритроцитами были видны макрофаги и единичные эозинофилы. Отмечались выраженное полнокровие центральных вен, очаговое полнокровие синусоидов рядом с центральными венами. Во втором контрольном образце балки были выраженные и хорошо сформированные. Сосуды умеренно полнокровные. Печень характеризовалась периваскулярными мононуклеарными инфильтратами. Наблюдались признаки белково-жировой дистрофии гепатоцитов (вакуоли и зернистость в цитоплазме). В одной из крупных вен печени при изучении был обнаружен тромб. В третьем контрольном образце балки были сформированные, но достаточно короткие, отмечалась неупорядоченность расположения, цитоплазма гепатоцитов была зернистой, очагово «пенистой» (много жировых вакуолей). Были выявлены кровоизлияния в тканях, что говорит о признаках расстройства кровообращения. Вокруг триад определялась выраженная периваскулярная мононуклеарная инфильтрация. Во всех образцах контрольной группы имелись различной степени воспалительные изменения в виде инфильтрации вокруг триад, признаки нарушения кровообращения и признаки белково-жировой дистрофии.

Печень кур первой опытной группы. Снимок фрагментации материала печени одной особи первой опытной группы показал, что гепатоциты были с мелкими вакуолями в цитоплазме, с неравномерно окрашенной эозинофильной цитоплазмой, имелось умеренное полнокровие синусоидов. Строма была отечной, с периваскулярной мононуклеарной инфильтрацией. Срез печени второй курицы первой опытной группы отобразил значительное расширение центральных вен. Балки были хорошо выражены, цитоплазма гепатоцитов равномерно оксифильная, очагово зернистая. В срезе печени третьей курицы первой опытной группы синусоиды были расширены, наблюдалось полнокровие центральных вен. В отечной строме отмечена периваскулярная мононуклеарная инфильтрация. В цитоплазме гепатоцитов выявляли зернистость. Все образцы были с выраженным полнокровием центральных вен (вариант с нарушением оттока), но менее выраженными признаками жировой дистрофии по сравнению с контрольной группой и менее выраженными признаками воспаления.

Печень кур второй опытной группы. Анализ первого образца второй опытной группы показал, что присутствуют гепатоциты неправильной формы с мелкими вакуолями в цитоплазме. Наблюдались выраженное полнокровие центральных вен, очаговое полнокровие синусоидов, отек стромы, больше выраженный периваскулярно. Имелись значительные скопления иммунных клеток в строме. Во втором срезе второй опытной группы балки были хорошо выражены, синусоиды визуализировались, имелось очаговое полнокровие центральных вен. В

цитоплазме гепатоцитов наблюдали мелкие вакуоли. Очагово демонстрировалась очень выраженная инфильтрация лейкоцитами, визуально напоминающими формирующиеся лимфоидные фолликулы. Центральные вены в срезе печени третьей особи второй опытной группы были значительно расширены, полнокровны, синусоидные капилляры также расширены. Строма отечна. Также видно, что гепатоциты, характеризовались неравномерно окрашенной эозинофильной цитоплазмой, содержащей гранулы. Вокруг триад имелась мононуклеарная инфильтрация.

Селезенка контрольных кур. В первом гистологическом срезе капсула была представлена соединительной тканью с отеком. Граница между белой и красной пульпой различалась. Фолликулы представлены хаотичными скоплениями лимфоцитов, герминативные центры хорошо выражены, центральные артерии с толстыми стенками и узким просветом. Второй контрольный срез характеризовался наличием в белой пульпе отдельных сосудов с утолщенными стенками. В третьем образце капсула была представлена соединительной тканью. Деление на красную и белую пульпу выражено хорошо. Определялись средние и мелкие лимфоидные фолликулы с выраженными герминативными центрами, в центре фолликулов – артериолы с утолщенными стенками. Красная пульпа состояла из ретикулярной ткани, которая содержала клеточные элементы: клетки крови, плазмоциты и макрофаги.

Селезенка кур первой опытной группы. В первом срезе капсула представлена соединительной тканью. Деление на красную и белую пульпу выражено хорошо. Определялись средние и крупные лимфоидные фолликулы со стертыми границами и выраженными герминативными центрами. Красная пульпа умеренно полнокровна. Определялись склероз стенок артериол, периваскулярный отек. Во втором образце капсула также была представлена соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой почти неразличима. Фолликулы мелкого и среднего размера неправильной формы, герминативные центры выражены слабо. В третьем срезе первой контрольной группы наблюдались отдельные очень крупные фолликулы с выраженным светлым центром. В вышеописанных образцах первой опытной группы следует отметить выраженные фолликулы с развитыми герминативными центрами, что объясняется развитием иммунного ответа.

Селезенка кур второй опытной группы. На первом срезе отмечены признаки аутолиза ткани. Очагово отмечались признаки активации макрофагов с формированием картины по типу «звездного неба». Демонстрировались смазанные границы лимфоидных фолликулов. Во втором образце отмечались признаки аутолитических изменений. В третьем образце капсула была представлена соединительной тканью с отеком. Граница между белой и красной пульпой различалась. Крупные очагово сливающиеся, герминативные центры были выражены, центральные артерии были с гиалинизированными стенками.

Тимус кур контрольной группы. В первом контрольном срезе наблюдались скопления лимфоидных клеток, среди которых отмечались кровоизлияния и отложения гемосидерина. Орган на втором образце был представлен мелкими дольками с неразличимой границей коркового и мозгового вещества, мелкими, диффузно распределенными тельцами Гассаля и многочисленными полнокровными венулами. На третьем срезе орган представлен мелкими дольками жировой ткани. Дольки с неразличимой границей коркового и мозгового вещества, с многочисленными оксифильно окрашенными слоистыми многоклеточными эпителиальными тельцами, окруженными ретикулоэпителиоцитами и многочисленными тельцами по типу телец Русселя (гиалиновые шары или фуксинофильные тельца).

Тимус кур первой опытной группы. Первый образец характеризовался единичными дольками в жировой ткани. Отмечали единичные тельца Гассаля, граница слоев была неразличимой. Структуры напоминали гомогенные шаровидные образования – тельца Русселя. В органе второго среза дольки не визуализировались, они полностью были замещены жировой тканью. На третьем срезе орган был представлен мелкими дольками с различимой границей коркового и мозгового вещества, мелкими телами Гассаля в мозговом веществе. Септы были представлены соединительной тканью с группами адипоцитов. Отмечено выраженное полнокровие сосудов.

Тимус кур второй опытной группы. В тимусе первого образца концентрировалось много жировой ткани. Материал был представлен мелкими дольками среди жировой ткани. Корковое и мозговое вещество не различались, отмечались диффузно многочисленные мелкие тельца Гассаля и полнокровные капилляры. На втором образце орган был представлен мелкими дольками с неразличимой границей коркового и мозгового вещества, мелкими телами Гассаля в мозговом веществе. Септы представлялись соединительной тканью с крупными группами адипоцитов. Много было телец типа Русселя. Отмечали полнокровные сосуды. Орган третьего образца представлен мелкими дольками с неразличимой границей коркового и мозгового вещества, полнокровием сосудов, отсутствием дифференциации слоев. В мозговом веществе тимуса в средней области были заметны оксифильно окрашенные единично слоистые многоклеточные эпителиальные тельца неправильной формы.

Анализ гистологических препаратов внутренних органов кур в возрасте 40 недель

Печень контрольных кур. В первом срезе балки были хорошо сформированы. Цитоплазма гепатоцитов неравномерно оксифильна, видны мелкие вакуоли и зернистость. Ядра клеток были мономорфные однородно окрашенные, хорошо выражены ядрышки и зерна хроматина. Отмечаются выраженное полнокровие центральных вен, очаговое полнокровие синусоидов рядом с центральными венами. Во втором образце балки были хорошо сформированы. Центральные вены расширены, полнокровны, отмечалось неравномерное кровенаполнение капилляров. В ткани печени присутствовали мелкие кровоизлияния, в строме органа – немногочисленные лимфоидные клетки. Балки в третьем срезе печени сформированы, гепатоциты неправильной формы, цитоплазма неравномерно окрашена с мелкими вакуолями, балки сформированы хорошо, синусоиды расширены, но запустевшие. Вокруг триад наблюдалась умеренно выраженная периваскулярная мононуклеарная инфильтрация.

Печень кур первой опытной группы. Значительное расширение и полнокровие центральных вен наблюдали в срезе первого образца. Балки хорошо были выражены, цитоплазма гепатоцитов равномерно оксифильная, очагово зернистая. Во втором срезе наблюдали расширение и полнокровие синусоидов центральных вен. В строме периваскулярно отмечена мононуклеарная инфильтрация, а в цитоплазме гепатоцитов – оксифильная зернистость. В третьем срезе вены были полнокровные, синусоиды умеренно расширенные, мононуклеарные инфильтраты выражены слабо. В ткани печени зафиксированы очаговые кровоизлияния. Все образцы были с выраженным полнокровием центральных вен и синусоидов, что может быть связано с застоем крови по большому кругу, в одном из образцов демонстрировалось кровоизлияние.

Печень кур второй опытной группы. В первом образце гепатоциты были неправильной формы с мелкими вакуолями в цитоплазме. Отмечено выраженное полнокровие центральных вен, очаговое полнокровие синусоидов. В строме была слабая мононуклеарная инфильтрация. Во втором образце балки были хорошо выражены, синусоиды визуализировались, отмечено очаговое полнокровие центральных вен. В цитоплазме гепатоцитов зафиксирована зернистость. Отмечена очагово выраженная инфильтрация лимфоцитов. Балки третьего образца были хорошо выражены, синусоиды визуализировались, присутствовало очаговое полнокровие центральных вен. В цитоплазме гепатоцитов видна зернистость. Очагово в ткани печени наблюдались кровоизлияния.

Селезенка контрольных кур. Капсула в первом срезе селезенки была представлена соединительной тканью с отеком. Граница между белой и красной пульпой различима. Фолликулы мелкие, отдельные достаточно крупные округлой формы, герминативные центры хорошо выражены, центральные артерии с толстыми стенками и узким просветом. Во втором образце фиксировалась тонкая капсула, определялись средние и мелкие лимфоидные фолликулы с выраженными герминативными центрами в центре фолликулов артериолы с утолщенными стенками. Определялись также очень крупные фолликулы без герминативных центров. Капсула третьего образца была представлена соединительной тканью. Деление на красную и белую пульпу выражалось хорошо. Определялись мелкие лимфоидные фолликулы с выраженными герминативными центрами в центре фолликулов артериолы с утолщенными стенками. Красная пульпа состояла из ретикулярной ткани, которая содержала клеточные элементы: клетки крови, плазмоциты и макрофаги.

Селезенка кур первой опытной группы. В первом образце капсула была тонкая, представлена соединительной тканью. Деление на красную и белую пульпу выражено хорошо. Определялись средние и мелкие (преимущественно) лимфоидные фолликулы с выраженными герминативными центрами. Красная пульпа умеренно полнокровна. Во втором срезе капсула представлена соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой хорошо различима. Фолликулы мелкого и среднего размера неправильной формы, герминативные центры выражены хорошо, единичные фолликулы достаточно крупные. Фолликулы на третьем срезе преимущественно мелкие с выраженным светлым центром, отмечалась извитость артериол. Во всех образцах фиксировались выраженные фолликулы с развитыми герминативными центрами.

Селезенка кур второй опытной группы. Капсула первого образца была представлена соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой слабо различима, красная пульпа полнокровна. Фолликулы мелкого размера неправильной формы, герминативные центры были слабо выражены, вокруг центральных артерий наблюдался отек. Во втором срезе капсула представлена соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой различима. Фолликулы мелкие округлые, герминативные центры выражены слабо. Отдельные крупные фолликулы без герминативных центров. В третьем образце капсула была представлена соединительной тканью с отеком. Граница между белой и красной пульпой была различима. Фолликулы были мелкие с хорошо выраженными герминативными центрами, отмечены очагово-периваскулярные кровоизлияния.

Тимус кур контрольной группы. Материал первого образца был представлен мелкими дольками без дифференциации коркового и мозгового вещества. В материале второго среза определялись крипты. Орган третьего образца был представлен мелкими дольками в жировой ткани. Дольки были с неразличимой границей коркового и мозгового вещества, с многочисленными оксифильно окрашенными слоистыми многоклеточными эпителиальными тельцами, образующими крупные конгломераты, вокруг телец ретикулоэпителиоциты и многочисленные оксифильные глобулы по типу телец Русселя.

Тимус кур первой опытной группы. Тимус первого и второго образцов был дольчатого строения, граница слоев различима, в мозговом слое были мелкие многочисленные тельца Гассаля, в строме – полнокровные сосуды. Ткань третьего образца была дольчатого строения, граница слоев на отдельных участках слабо различима, в мозговом слое и на границе слоев отмечены мелкие многочисленные тельца Гассаля, в мозговом слое также было большое количество мелких полнокровных капилляров. В представленных образцах отмечена сохранная ткань с различимой границей слоев.

Тимус кур второй опытной группы. Орган в первом срезе представлен мелкими дольками, окруженными жировой тканью. Корковое и мозговое вещество на всем протяжении неразличимы, граница между ними стерта. В мозговом веществе были диффузно расположены крупные тельца Гассаля и полнокровные капилляры. Во втором образце орган представлен мелкими дольками с неразличимой границей коркового и мозгового вещества, мелкими телами Гассаля в мозговом веществе. Септы представлены соединительной тканью с мелкими группами адипоцитов. В третьем образце орган был с мелкими дольками с неразличимой границей коркового и мозгового вещества, наблюдалось полнокровие сосудов. Тельца Гассаля были разновеликие неправильной формы, в центрах телец лимфоциты были в стадии рексиса. Также в ткани зафиксированы мелкоочаговые кровоизлияния.

Анализ гистологических препаратов внутренних органов кур в возрасте 84 недель

Печень кур контрольной группы. В первом образце балки сформированы, присутствует очаговая мононуклеарная инфильтрация в строме и вокруг портальных трактов, наблюдается полнокровие центральных вен. Во втором образце балки хорошо выражены, синусоиды визуализируются, отмечается очаговое полнокровие центральных вен и синусоидов. В ткани определяются мелкие лимфоидные узелки. В третьем гистосрезе гепатоциты неправильной и округлой формы формируют хорошо различимые балки, видна слабая перипортальная воспалительная инфильтрация.

Печень кур первой опытной группы. Первый образец демонстрировал гепатоциты неправильной и округлой формы, которые формируют структурные балки. Цитоплазма гепатоцитов светло-оксифильная, определяются зернистость и мелкие вакуоли. Синусоиды визуализируются, очагово расширены, отмечаются очаговое полнокровие центральных вен и синусоидов, мелкие кровоизлияния в паренхиме. В строме вокруг портальных трактов мононуклеарная инфильтрация. Гепатоциты второго образца были с неравномерно окрашенной эозинофильной цитоплазмой, содержащей эозинофильные включения, наблюдаются полнокровие центральных вен, рыхлая мононуклеарная инфильтрация стромы. В третьем образце демонстрировалось выраженное полнокровие синусоидов в центральных отделах долек. В строме портальных трактов были мелкие скопления мононуклеаров.

Печень кур второй опытной группы. На первом гистосрезе отмечены очаговая мононуклеарная инфильтрация в строме, а также выраженное полнокровие центральных вен и синусоидов.

Во втором гистосрезе определялись рыхлая мононуклеарная инфильтрация в портальных трактах, обширные кровоизлияния в паренхиме. В третьем образце зафиксирована умеренная мононуклеарная инфильтрация в портальных трактах.

Селезенка кур контрольной группы. Капсула первого гистосреза представлена соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой слабо различима. Фолликулы мелкие, герминативные центры слабо выражены, центральные артерии с пролиферацией медии и сужением просвета. Фолликулы второго гистосреза представлены округлыми разновеликими скоплениями лимфоцитов без герминативных центров, центральные артерии мелкие и визуализируются не во всех фолликулах. Капсула третьего образца представлена соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой различима. Фолликулы мелкие, герминативные центры слабо выражены. Отмечается очагово выраженное полнокровие красной пульпы.

Селезенка кур первой опытной группы. В первом образце капсула представлена соединительной тканью. Деление на красную и белую пульпу выражено нечетко. Определяются средние и мелкие лимфоидные фолликулы со стертыми границами и невыраженными герминативными центрами. Красная пульпа состоит из ретикулярной ткани, которая содержит клеточные элементы (клетки крови, плазмоциты и макрофаги). Отмечаются скопления оксифильных масс вокруг центральных артерий. Капсула второго образца также представлена соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой слабо различима. Фолликулы представлены хаотичными скоплениями лимфоцитов, герминативные центры не выражены. В третьем гисто-

срезе капсула также представлена соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой слабо различима. Фолликулы представлены хаотичными скоплениями лимфоцитов, герминативные центры не выражены, центральные артерии с гиалинизированными стенками, вокруг отмечалось повышенное количество оксифильных масс.

Селезенка кур второй опытной группы. Капсула первого гистосреза представлена соединительной тканью, где граница между белой и красной пульпой слабо различима. Фолликулы разновеликие, герминативные центры выражены слабо. Во втором образце капсула, подобно первому образцу, также представлена соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой слабо различима. Фолликулы представлены округлыми разновеликими, местами сливающимися скоплениями лимфоцитов, герминативные центры слабо выражены. Третий гистосрез обладает капсулой, представленной соединительной тканью. Граница между белой и красной пульпой слабо различима. Фолликулы мелкие, герминативные центры слабо выражены, центральные артерии с пролиферацией медии и сужением просвета.

Тимус кур контрольной группы. Корковое и мозговое вещество первого образца не различимы, также отмечаются диффузно многочисленные мелкие тельца Гассаля. Второй образец представлен корковым и мозговым веществом, которые отчетливо различимы между собой, в мозговом веществе – крупные тельца Гассаля. Строма с полнокровными сосудами. Корковое и мозговое вещество третьего гистосреза не различимы, присутствуют диффузно многочисленные мелкие тельца Гассаля. В строме полнокровные сосуды и кровоизлияния.

Тимус кур первой опытной группы. Первый образец органа представлен мелкими дольками, покрытыми снаружи тонкой капсулой, граница коркового и мозгового вещества различима. Фиксируются мелкие тельца Гассаля в виде скоплений уплощенных и веретеновидных эпителиальных клеток с крупным бледным ядром и слабоацидофильной цитоплазмой в мозговом веществе. Септы представлены соединительной тканью с группами адипоцитов. Сосуды резко полнокровны. Корковое и мозговое вещество второго гистосреза различимы, присутствуют диффузно многочисленные мелкие тельца Гассаля. Гистологические изменения третьего гистосреза были сходны с таковыми во втором образце.

Тимус кур второй опытной группы. Корковое и мозговое вещество первого гистосреза различимы, выявлены диффузно многочисленные крупные тельца Гассаля и выраженное полнокровие сосудов. Орган второго гистосреза представлен мелкими дольками с различимой границей коркового и мозгового вещества, мелкими телами Гассаля в мозговом веществе. Септы представлены соединительной тканью с группами адипоцитов. Третий гистосрез представлен органом с мелкими дольками с очагово различимой границей коркового и мозгового вещества, мозговой слой значительно расширен. Тельца Гассаля крупные.

Представленные биохимические данные крови кур в три возрастных периода (24, 40 и 84 недели содержания) позволили оценить полноценность и сбалансированность кормления, состояние и продуктивность птицы в ходе эксперимента (таблица 3).

Белки являются одной из важнейших буферных систем крови, поэтому определение общего количества белка является первостепенным при биохимическом анализе крови. При исследовании биохимического состава крови кур в 24-недельном возрасте большее количество общего белка было у птиц второй опытной группы, получавшей «Биостронг 510»: выше контроля на 6,55 %. В возрасте 40 недель уровень общего белка во всех группах был практически на одном уровне. Во всех группах наблюдалась тенденция к повышению количества общего белка с возрастом (от 24 к 84 неделям), что характерно для взросления птицы и накопления белков плазмы.

Содержание альбуминов в крови кур является маркером полноценности кормления, оптимальной концентрации полезной микрофлоры в желудочно-кишечном тракте и здоровья птицы. Как видно из представленных данных, количество альбуминов в возрасте 24 недель в подопытных группах находилось в пределах 15–17 г/л, в 40-недельном возрасте различий в этом показателе между группами не наблюдали. В возрасте 84 недель в первой опытной группе отмечено достоверное снижение количества альбуминов в сыворотке крови – 16,58 г/л, против 19,45 г/л в контрольной группе ($P \leq 0,05$). Последнее может указывать на снижение белоксинтезирующей функции печени у кур в виду умеренной дистрофии данного органа. Увеличение уровня альбуминов в крови контрольных сверстниц, несмотря на более тяжелую дистрофию печени (согласно гистологическому анализу), можно объяснить компенсаторным синтезом за счет гипертрофии органа (нужно отметить, что абсолютная масса печени в контроле была выше нормы).

Уровень мочевой кислоты в сыворотке крови во многом зависит от возраста и пола. В репродуктивном возрасте обычно этот показатель ниже, при снижении продуктивности он может повышаться. Повышенный уровень мочевой кислоты может указывать на такие заболевания, как подагра и лейкоз. Нами установлено, что в возрасте 24 недель уровень мочевой кислоты в первой и второй опытных группах был выше контрольного значения на 14,09 и 36,84 % соответственно. Более высокое содержание мочевой кислоты во второй опытной группе в раннем возрасте могло быть следствием стресса

или усиленного распада пуринов (возможно, из-за апоптоза лимфоцитов в тимусе и селезенке, что отмечали при гистологическом анализе). К возврату 40 недель данный показатель в опытных группах снизился по сравнению с контролем: в первой опытной группе – на 30,34 % ($P \leq 0,01$), что могло указывать на улучшение функции почек или снижение катаболизма белка, во второй опытной группе – на 4,97 %. Увеличение мочевой кислоты в крови кур контрольной группы в старшем возрасте объясняет большей процент отхода птицы по причине заболеваний органов желудочно-кишечного тракта. В 84-недельном возрасте количество мочевой кислоты в первой опытной группе было ниже контроля на 8,75 %, свидетельствуя о лучшем усвоении азота в организме несмотря на то, что уровень альбумина в крови в этой группе уступал контрольному значению на 14,76 %. Во второй опытной группе количество мочевой кислоты у 84-недельных несушек было выше контроля на 8,19 %.

Таблица 3

Биохимический состав крови кур-несушек, *M* ±*m* (*n* = 5)

Показатель	Группа		
	Контрольная	Опытная 1	Опытная 2
24 недели			
Общий белок, г/л	49,80 ±2,63	46,64 ±0,92	53,06 ±1,00
Альбумины, г/л	16,88 ±0,88	15,72 ±0,20	17,34 ±0,43
Мочевина, ммоль/л	0,62 ±0,08	0,59 ±0,07	0,66 ±0,08
Креатинин, мкмоль/л	12,20 ±1,11	14,20 ±0,49	16,80 ±0,49**
Мочевая кислота, мкмоль/л	224,20 ±18,93	255,80 ±36,39	306,80 ±34,88
Глюкоза, ммоль/л	15,22 ±0,55	14,03 ±0,57	13,95 ±0,83
Холестерин, ммоль/л	3,14 ±0,23	3,03 ±0,25	3,06 ±0,38
Триглицериды, ммоль/л	12,72 ±1,08	11,96 ±1,40	12,29 ±2,18
ЛПОНП, ммоль/л	5,78 ±0,49	5,43 ±0,63	5,59 ±0,99
АЛАТ, МЕ/мл	7,02 ±0,30	6,38 ±0,24	6,90 ±0,39
АСАТ, МЕ/мл	270,74 ±8,70	278,16 ±16,86	283,86 ±10,10
Кальций общий, ммоль/л	7,99 ±0,35	7,68 ±0,51	8,28 ±0,73
Неорганический фосфор, ммоль/л	1,45 ±0,09	1,48 ±0,06	1,73 ±0,08*
40 недель			
Общий белок, г/л	56,86 ±1,20	55,06 ±1,82	52,74 ±1,75
Альбумины, г/л	17,98 ±0,70	17,82 ±0,77	17,44 ±0,85
Мочевина, ммоль/л	0,32 ±0,06	0,40 ±0,08	0,41 ±0,07
Креатинин, мкмоль/л	20,80 ±0,86	22,00 ±1,38	17,80 ±1,59
Мочевая кислота, мкмоль/л	290,00 ±15,38	202,00 ±20,67**	275,60 ±17,09
Глюкоза, ммоль/л	14,98 ±0,36	14,29 ±0,33	14,72 ±0,79
Холестерин, ммоль/л	3,71 ±0,33	2,99 ±0,39	3,31 ±0,23
Триглицериды, ммоль/л	16,69 ±1,36	12,84 ±1,87	15,69 ±1,72
ЛПОНП, ммоль/л	7,59 ±0,62	5,84 ±0,85	7,13 ±0,78
АЛАТ, МЕ/мл	7,60 ±0,54	7,62 ±0,50	9,20 ±0,27*
АСАТ, МЕ/мл	248,28 ±8,93	275,90 ±27,61	243,14 ±10,75
Кальций общий, ммоль/л	9,65 ±0,67	8,45 ±0,70	8,78 ±0,55
Неорганический фосфор, ммоль/л	1,45 ±0,07	1,49 ±0,09	1,58 ±0,10
84 недели			
Общий белок, г/л	66,03 ±4,59	61,08 ±8,00	63,56 ±2,91
Альбумины, г/л	19,45 ±1,04	16,58 ±0,54*	19,30 ±0,69
Мочевина, ммоль/л	0,34 ±0,12	0,43 ±0,09	0,30 ±0,03
Креатинин, мкмоль/л	17,75 ±0,85	19,75 ±1,31	16,40 ±1,33
Мочевая кислота, мкмоль/л	315,00 ±29,15	288,00 ±28,01	340,80 ±33,89
Глюкоза, ммоль/л	14,28 ±0,47	11,69 ±0,43**	14,02 ±0,35
Холестерин, ммоль/л	4,58 ±0,79	3,34 ±1,21	3,90 ±0,35
Триглицериды, ммоль/л	19,89 ±3,35	11,34 ±5,12	17,83 ±1,29
ЛПОНП, ммоль/л	10,62 ±0,91	5,15 ±2,33	8,10 ±0,59
АЛАТ, МЕ/мл	7,65 ±1,31	6,33 ±0,46	7,56 ±0,50
АСАТ, МЕ/мл	196,13 ±8,99	204,25 ±10,36	294,50 ±27,71*
Кальций общий, ммоль/л	11,28 ±1,60	8,18 ±2,50	10,03 ±0,53
Неорганический фосфор, ммоль/л	2,52 ±0,37	2,29 ±0,68	2,20 ±0,19

Table 3

Biochemical composition of blood of laying hens, M ±m (n =5)

Indicator	Group		
	Control	Experienced 1	Experienced 2
24 weeks			
Total protein, g/l	49.80 ±2.63	46.64 ±0.92	53.06 ±1.00
Albumins, g/l	16.88 ±0.88	15.72 ±0.20	17.34 ±0.43
Urea, mmol/l	0.62 ±0.08	0.59 ±0.07	0.66 ±0.08
Creatinine, mmol/l	12.20 ±1.11	14.20 ±0.49	16.80 ±0.49**
Uric acid, mmol/l	224.20 ±18.93	255.80 ±36.39	306.80 ±34.88
Glucose, mmol/l	15.22 ±0.55	14.03 ±0.57	13.95 ±0.83
Cholesterol, mmol/l	3.14 ±0.23	3.03 ±0.25	3.06 ±0.38
Triglycerides, mmol/l	12.72 ±1.08	11.96 ±1.40	12.29 ±2.18
VLDL, mmol/l	5.78 ±0.49	5.43 ±0.63	5.59 ±0.99
ALAT, IU/ml	7.02 ±0.30	6.38 ±0.24	6.90 ±0.39
ASAT, IU/ml	270.74 ±8.70	278.16 ±16.86	283.86 ±10.10
Total calcium, mmol/l	7.99 ±0.35	7.68 ±0.51	8.28 ±0.73
Inorganic phosphorus, mmol/l	1.45 ±0.09	1.48 ±0.06	1.73 ±0.08*
40 weeks			
Total protein, g/l	56.86 ±1.20	55.06 ±1.82	52.74 ±1.75
Albumins, g/l	17.98 ±0.70	17.82 ±0.77	17.44 ±0.85
Urea, mmol/l	0.32 ±0.06	0.40 ±0.08	0.41 ±0.07
Creatinine, mmol/l	20.80 ±0.86	22.00 ±1.38	17.80 ±1.59
Uric acid, mmol/l	290.00 ±15.38	202.00 ±20.67**	275.60 ±17.09
Glucose, mmol/l	14.98 ±0.36	14.29 ±0.33	14.72 ±0.79
Cholesterol, mmol/l	3.71 ±0.33	2.99 ±0.39	3.31 ±0.23
Triglycerides, mmol/l	16.69 ±1.36	12.84 ±1.87	15.69 ±1.72
VLDL, mmol/l	7.59 ±0.62	5.84 ±0.85	7.13 ±0.78
ALAT, IU/ml	7.60 ±0.54	7.62 ±0.50	9.20 ±0.27*
ASAT, IU/ml	248.28 ±8.93	275.90 ±27.61	243.14 ±10.75
Total calcium, mmol/l	9.65 ±0.67	8.45 ±0.70	8.78 ±0.55
Inorganic phosphorus, mmol/l	1.45 ±0.07	1.49 ±0.09	1.58 ±0.10
84 weeks			
Total protein, g/l	66.03 ±4.59	61.08 ±8.00	63.56 ±2.91
Albumins, g/l	19.45 ±1.04	16.58 ±0.54*	19.30 ±0.69
Urea, mmol/l	0.34 ±0.12	0.43 ±0.09	0.30 ±0.03
Creatinine, mmol/l	17.75 ±0.85	19.75 ±1.31	16.40 ±1.33
Uric acid, mmol/l	315.00 ±29.15	288.00 ±28.01	340.80 ±33.89
Glucose, mmol/l	14.28 ±0.47	11.69 ±0.43**	14.02 ±0.35
Cholesterol, mmol/l	4.58 ±0.79	3.34 ±1.21	3.90 ±0.35
Triglycerides, mmol/l	19.89 ±3.35	11.34 ±5.12	17.83 ±1.29
VLDL, mmol/l	10.62 ±0.91	5.15 ±2.33	8.10 ±0.59
ALAT, IU/ml	7.65 ±1.31	6.33 ±0.46	7.56 ±0.50
ASAT, IU/ml	196.13 ±8.99	204.25 ±10.36	294.50 ±27.71*
Total calcium, mmol/l	11.28 ±1.60	8.18 ±2.50	10.03 ±0.53
Inorganic phosphorus, mmol/l	2.52 ±0.37	2.29 ±0.68	2.20 ±0.19

Содержание глюкозы в крови кур-несушек в 24-недельном возрасте было практически одинаковым у всего подопытного поголовья, находясь в средних пределах нормы. Незначительно ниже контрольного (на 8,34 %) было содержание глюкозы у кур второй опытной группы в возрасте 24 недель. Это не стоит рассматривать как нарушение углеводного обмена, так как, по сообщению уровень сахара в крови является величиной относительно постоянной для животных одного вида и возраста. В 40 неделю количество глюкозы в крови всех подопытных несушек было одинаковым, а в 84 недели наблюдали снижение данного показателя в крови птиц первой опытной группы в сравнении с контролем на 18,14 % ($P \leq 0,01$).

В крови кур контрольной группы наблюдался рост холестерина с возрастом, что характерно для накопления липидов в печени и усиления липогенеза. В первой и второй опытных группах этот рост менее выраженный и статистически незначимый.

Это согласуется с гистологическими результатами, где наблюдали менее выраженную жировую дистрофию печени в опытных группах.

Анализ уровня триглицеридов в крови помогает выявить нарушения липидного обмена веществ, оценить риск сердечно-сосудистых заболеваний и определить причины острого и хронического панкреатита. Триглицериды в крови увеличиваются с возрастом птицы, а меньшее их количество в крови кур первой и второй опытных групп во все исследуемые периоды (24, 40, 84 недели) может говорить о том, что применяемые добавки положительно влияют на усвоение и обмен веществ, и подтверждает их гепатопротекторное действие. В контроле нужно отметить, что количество триглицеридов резко растет с возрастом: 24 недели – 12,72 ммоль/л, в 40 и 84 недели – 16,69 и 19,89 ммоль/л соответственно, что являлось маркером жирового гепатоза и липидного стресса.

В крови контрольных несушек содержание липопротеинов очень низкой плотности (ЛПОНП) было выше, чем в первой и второй опытных группах, на 6,05 и 3,29 % в 24-недельном возрасте и на 23,06 и 6,06 % – в 40-недельном возрасте соответственно. Повышение данного показателя может говорить о патологических явлениях, но повышенные ЛПОНП могут наблюдаться также и при интенсивной продуктивности птицы. В 84-недельном возрасте количество липопротеидов в крови птиц первой и второй опытных групп соответствовало уровню предыдущих исследований, составив соответственно 5,15 и 8,10 ммоль/л. При этом в контроле данный показатель возрос по сравнению с первой опытной группой в 2,1 раза, а по сравнению со второй опытной группой – на 23,73 %. Существенное повышение уровня липопротеидов очень низкой плотности в крови контрольных кур к концу технологического цикла может явиться свидетельством развития патологии, так как они обладают большой способностью прикрепляться к стенкам сосудов, нарушая процессы кровообращения. Более низкое значение ЛПОНП в крови опытных кур, особенно в 84-недельном возрасте, прямо указывало на снижение продукции липопротеинов очень низкой плотности печенью, что коррелировало с меньшей жировой инфильтрацией. В этом плане использование испытуемых кормовых добавок, содержащих фитобиотики, оказывает оптимизирующее влияние на жировой обмен и способствует предотвращению появления атеросклеротических эффектов, что очень важно учитывать при содержании промышленных кур, ориентируясь на продление периода их продуктивного использования.

В отношении ферментов АЛАТ и АСАТ в крови подопытных птиц видно, что в возрасте 24 и 40 недель колебания в их количестве между группами были незначительными. В 84 недели отмечено повышение уровня АСАТ в сыворотке крови несушек второй опытной группы на 50,16 % по сравнению с контролем ($P \leq 0,05$).

Таблица 4

Зоотехнические показатели кур-несушек за период 18–100 недель жизни

Показатель	Группа		
	Контрольная	Опытная 1	Опытная 2
Возраст снесения первого яйца, дней	107	109	107
Возраст достижения 50-процентной продуктивности, дней	136	135	135
Пик продуктивности, %	97,75	97,71	97,54
Возраст достижения пика продуктивности, дней	155	152	155
Яйценоскость на начальную несушку, шт. (норматив – 454,2 яйца)	489,80	493,96	501,30
Яйценоскость на среднюю несушку, шт. (норматив – 468,8 яйца)	514,12	515,12	515,38

Table 4

Zootechnical indicators of laying hens for the period of 18–100 weeks of life

Indicator	*Group*		
	Control	*Experienced 1*	*Experienced 2*
Age of laying of the 1st egg, days	*107*	*109*	*107*
Age of reaching 50 % productivity, days	*136*	*135*	*135*
Peak productivity, %	*97.75*	*97.71*	*97.54*
Age of peak productivity, days	*155*	*152*	*155*
Egg production per initial laying hen, pcs. (normal = 454.2 eggs)	*489.80*	*493.96*	*501.30*
Egg production per medium laying hen, pcs. (normal = 468.8 eggs)	*514.12*	*515.12*	*515.38*

Количество общего кальция в крови несушек увеличивалось с возрастом во всех подопытных группах, вероятно, ввиду усиленной резорбции его из костной ткани. При этом у кур опытных групп уровень данного минерала был ниже по сравнению с контролем, что может указывать на меньшее использование скелета несушек в качестве источника кальция для формирования скорлупы яиц.

При использовании фитобиотических кормовых добавок в крови опытного поголовья увеличилась концентрация неорганического фосфора. В 24-недельном возрасте куры первой и второй опытных групп превосходили по данному показателю особей контрольной группы на 2,07 и 19,31 % ($P \leq 0,01$), в 40-недельном возрасте – на 2,76 и 8,97 % соответственно. Уровень неорганического фосфора в крови несушек первой и второй опытных групп в 84-недельном возрасте снизился по отношению к контролю на 9,1 и 12,7 % соответственно.

Анализ полученных результатов зоотехнических показателей (таблица 4) демонстрировал, что куры всех подопытных групп имели высокую яйценоскость – выше рекомендуемой нормы. При этом показатели продуктивности на начальную и среднюю несушку в опытных группах превышали контрольные значения: в первой опытной группе – на 0,85 и 0,2 %, во второй опытной группе – на 2,35 и 0,25 % соответственно.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Результаты исследований показали, что включение в рацион кур-несушек кормовых добавок «Гербастор» и «Биостронг 510» оказывает положительное влияние на обменные процессы в организме птицы. Так, под воздействием испытуемых препаратов отмечалось снижение мононуклеарной инфильтрации стромы печени в опытных образцах, в то время как в контрольной группе инфильтрация была более выражена и с формирующимися лимфоидными узелками, свидетельствуя о хроническом воспалительном процессе. Кроме того, печень птиц, получавших исследуемые препараты, характеризовалась менее выраженными признаками жировой дистрофии по сравнению с контролем, что указывает на ее преимущественную функциональную полноценность. При использовании изучаемых кормовых средств наблюдали более высокую морфологическую сохранность, а соответственно, и функциональную активность тимуса – центрального органа иммунной системы у птиц, обеспечивающего клеточный иммунитет в организме. Благоприятные изменения во внутренних органах и биохимических показателях крови у опытных несушек сопровождались увеличением их яйценоскости.

Таким образом, с целью поддержания наилучшего баланса продуктивности и здоровья птицы и обеспечения более высокой интенсивности яйценоскости до конца технологического цикла рекомендуем применять в программах кормления кур-несушек кормовые добавки «Гербастор» и «Биостронг 510» по предлагаемой схеме.

Библиографический список

1. Российское птицеводство: итоги, прогнозы и тренды [Электронный ресурс]. URL: https://www.tsenovik.ru/news/Novosti-APK/Ptitsevodstvo/Rossiyskoe-ptitsevodstvo-itogi-prognozy-i-trendy/ (дата обращения: 06.06.2026).

2. Росптицесоюз ждет производства в стране в 2024 году яиц и мяса птицы на уровне 2023 года [Электронный ресурс]. URL: https://www.interfax.ru/russia/995122 (дата обращения: 06.06.2026).

3. Минсельхоз ожидает роста производства яиц и мяса птицы в РФ к концу года [Электронный ресурс]. URL: https://tass.ru/ekonomika/20925661 (дата обращения: 06.06.2026).

4. Новости птицеводства России [Электронный ресурс]. URL: https://www.pticegrad.ru/news/2023/mezhdunarodnyy-forum-ptitsevodstvo-rossii-2023-/ (дата обращения: 06.06.2026).

5. Международный форум «Птицеводство России 2023» [Электронный ресурс]. URL: https://www.pticegrad.ru/news/2023/mezhdunarodnyy-forum-ptitsevodstvo-rossii-2023-/ (дата обращения: 06.06.2026).

6. Цындрина Ю. Развитие птицеводства: рост спроса и импортозамещение // Животноводство России. Тематический выпуск «Птицеводство». 2023. С. 2–4.

7. Губанов Р. С. Проблемы и перспективы развития предприятий птицеводства в России // Птицеводство. 2025. № 4. С. 62–68. DOI: 10.33845/0033-3239-2025-74-4-62-68.

8. Буяров В. С., Комоликова И. В., Буяров А. В. Развитие животноводства и птицеводства России в условиях импортозамещения: монография. Орел: Изд-во ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2024. 205 с.

9. Андреева О. Н. Эффективность применения препаратов «Апекс» и «Эмицидин» в технологии производства мяса бройлеров: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.02.10. Сергиев Посад, 2022. 25 с.

10. Усова Т. В. Технологическое и биологическое обоснование использования новой пробиотической добавки БКК в рационах цыплят-бройлеров: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.02.10. Новосибирск, 2022. 26 с.

11. Кавтарашвили А. Ш., Головкина О. О., Чекалева А. В. Научные основы продления срока продуктивного использования кур: монография. Вологда: ВолНЦ РАН, 2020. 159 с.

12. Талегон Г., Корралес Н. Л., Агуирре Л., Камара Л., Фондевила Г., Матеос Г. Г. Обзор последних достижений в питании кур-несушек // Комбикорма. 2024. № 12. С. 46–48.

13. Мартынова Е. Г. Влияние пробиотической кормовой добавки Амилоцин на рост, развитие и продуктивность кур яичных кроссов: автореф. дис. … канд. с.-х. наук: 06.02.10. Белгород, 2020. 20 с.

14. Буяров В. С., Червонова И. В., Меднова В. В., Ильичева И. Н. Эффективность применения фитобиотиков в птицеводстве (обзор) // Вестник аграрной науки. 2020. № 3. С. 44–60.

15. Мокин С. В. Влияние сорбционно-пробиотических добавок на продуктивность ремонтного молодняка и кур-несушек родительского стада: дис. … канд. с.-х. наук: 4.2.4. Троицк, 2023. 136 с.

16. Urban J., Kareem K.Y., Matuszewski A., Bień D., Ciborowska P., Lutostański K., Michalczuk M. Enhancing broiler chicken health and performance: the impact of phytobiotics on growth, gut microbiota, antioxidants, and immunity // Phytochemistry Reviews. 2025. Vol. 24. Pp. 2131–2145. DOI: 10.1007/s11101-024-09994-0.

17. Егоров И. А., Манукян В. А., Ленкова Т. Н. [и др.]. Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника. Сергиев Посад: Весь Сергиев Посад, 2013. 51 с.

Об авторах:

Елена Викторовна Шацких, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой кормления и биологии сельскохозяйственных животных, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0009-4848-8053, AuthorID 1223057. *E-mail: evshackih@yandex.ru*

Екатерина Николаевна Латыпова, кандидат биологических наук, преподаватель, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-0857-520X, AuthorID 892644. *E-mail: latkol@mail.ru*

References

1. *Russian poultry farming: results, forecasts and trends* [Internet]. 2023 [cited 2026 Jun 06]. Available from: https://www.tsenovik.ru/news/Novosti-APK/Ptitsevodstvo/Rossiyskoe-ptitsevodstvo-itogi-prognozy-i-trendy/. (In Russ.)

2. *Rosptitsesoyuz expects poultry egg and meat production in the country in 2024 to be at the level of 2023* [Internet]. 2024 [cited 2026 Jun 06]. Available from: https://www.interfax.ru/russia/995122. (In Russ.)

3. *The Ministry of Agriculture expects an increase in egg and poultry meat production in Russia by the end of the year* [Internet]. 2023 [cited 2026 Jun 06]. Available from: https://tass.ru/ekonomika/20925661. (In Russ.)

4. *News from the Russian poultry industry* [Internet]. 2024 [cited 2026 Jun 06]. Available from: https://www.pticegrad.ru/news/2023/mezhdunarodnyy-forum-ptitsevodstvo-rossii-2023-/. (In Russ.)

5. *International Forum "Poultry Farming in Russia 2023"* [Internet]. 2023 [cited 2026 Jun 06]. Available from: https://www.pticegrad.ru/news/2023/mezhdunarodnyy-forum-ptitsevodstvo-rossii-2023-/. (In Russ.)

6. Tsyndrina Yu. Development of poultry farming: growth in demand and import substitution. *Livestock Farming of Russia. Thematic issue "Poultry Farming"*. 2023: 2–4. (In Russ.)

7. Gubanov R. S. Problems and prospects of development of poultry farming enterprises in Russia. *Poultry Farming*. 2025; 4: 62–68. DOI: 10.33845/0033-3239-2025-74-4-62-68. (In Russ.)

8. Buyarov V. S., Komolikova I. V., Buyarov A. V. *Development of animal husbandry and poultry farming in russia under conditions of import substitution: a monograph.* Orel: Publishing House of the Orel State Agrarian University, 2024. 205 p. (In Russ.)

9. Andreeva O. N. *The effectiveness of using the preparations "Apex" and "Emicidin" in the technology of broiler meat production: abstract of the dissertation … candidate of agricultural sciences: 06.02.10*. Sergiev Posad, 2022. 25 p. (In Russ.)

10. Usova T. V. *Technological and biological justification for the use of a new probiotic additive BKK in the diets of broiler chickens: abstract of the dissertation … candidate of agricultural sciences: 06.02.10*. Novosibirsk, 2022. 26 p. (In Russ.)

11. Kavtarashvili A. Sh., Golovkina O. O., Chekaleva A. V. *Scientific foundations for extending the productive use period of chickens: monograph.* Vologda: VolRC RAS, 2020. 159 p. (In Russ.)

12. Talegon G., Corrales N. L., Aguirre L., Camara L., Fondevila G., Mateos G. G. Review of recent advances in the nutrition of laying hens. *Compound Feeds*. 2024; 12: 46–48. (In Russ.)

13. Martynova E. G. *The effect of the probiotic feed additive Amilocin on the growth, development, and productivity of chickens of egg crossbreeds: abstract of the dissertation … candidate of agricultural sciences: 06.02.10.* Belgorod, 2020. 20 p. (In Russ.)

14. Buyarov V. S., Chervonova I. V., Mednova V. V., Ilyicheva I. N. Efficiency of application of phytobiotics in poultry farming (review). *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; 3: 44–60. (In Russ.)

15. Mokin S. V. *The effect of sorption-probiotic supplements on the productivity of replacement young stock and laying hens of the parent flock: dis. ... candidate of agricultural sciences: 4.2.4.* Troitsk, 2023. 136 p. (In Russ)

16. Urban J., Kareem K. Y., Matuszewski A., Bień D., Ciborowska P., Lutostansky K., Michalczuk M. Enhancing broiler chicken health and performance: the impact of phytobiotics on growth, gut microbiota, antioxidants, and immunity. *Phytochemistry Reviews.* 2025; 24: 2131–2145. DOI: 10.1007/s11101-024-09994-0. (In Poland)

17. Egorov I. A., Manukyan V. A., Lenkova T. N., et al. *Methodology of scientific and industrial research on poultry feeding. Molecular-genetic methods for determining intestinal microflora.* Sergiev Posad: Ves' Sergiev Posad, 2013. 51 p. (In Russ.)

Authors' information:

Elena V. Shatskikh, doctor of biological sciences, professor, head of the department of feeding and biology of farm animals, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0009-4848-8053, AuthorID 1223057. *E-mail: evshackih@yandex.ru*

Ekaterina N. Latypova, candidate of biological sciences, teacher, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-0857-520X, AuthorID 892644. *E-mail: latkol@mail.ru*

УДК 331.5:63-05
Код ВАК 5.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2047-2055

Государственная политика в области содействия повышению кадровой обеспеченности предприятий агропромышленного комплекса

А. Р. Валиева
Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия
E-mail: valieva.ar@rambler.ru

Аннотация. Обеспечение кадрами – ключевое направление в системе управления сельским хозяйством в современном мире, поскольку выступает важнейшим фактором обеспечения инновационного развития аграрных предприятий в условиях цифровой трансформации. Социально-экономическое развитие сельских территорий также неосуществимо при высокой потребности квалифицированных кадров для сельскохозяйственного производства. **Целью** статьи является анализ государственной политики в области кадрового обеспечения предприятий агропромышленного комплекса согласно концепции «от школьной скамьи до работодателя». **Методы.** В настоящем исследовании были использованы методы институционального анализа, научного обобщения для раскрытия сущности государственной политики в области содействия повышению кадровой обеспеченности предприятий агропромышленного комплекса. Источниками данных послужили федеральные и региональные нормативно-правовые документы, информационные ресурсы органов государственной власти России и ее субъектов, результаты социологических опросов Всероссийского центра изучения общественного мнения. **Научная новизна.** Проанализированы направления реализации государственной политики в области содействия повышению кадровой обеспеченности предприятий аграрного сектора в рамках модели «от школьной скамьи до работодателя», предложены меры по совершенствованию. **Результаты** исследования свидетельствуют о том, что эффективная политика в области кадрового обеспечения предприятий агропромышленного комплекса является необходимым условием для достижения показателей продовольственной безопасности, технологического суверенитета, развития сельского хозяйства в целом.

Ключевые слова: государственная политика, агропромышленный комплекс, кадровая обеспеченность предприятий АПК, кадры АПК, аграрное образование, агротехнические классы, государственная поддержка аграрного образования

Для цитирования: Валиева А. Р. Государственная политика в области содействия повышению кадровой обеспеченности предприятий агропромышленного комплекса // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 2047–2055. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2047-2055.

Дата поступления статьи: 31.03.2026, ***дата рецензирования:*** 07.07.2026, ***дата принятия:*** 03.08.2026.

© Valieva A. R., 2026

State policy in the field of promoting the improvement of personnel availability for enterprises in the agro-industrial complex

A. R. Valieva
Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia
E-mail: valieva.ar@rambler.ru

Abstract. Staffing is a key area of agricultural management in the modern world, as it is a crucial factor in ensuring the innovative development of agricultural enterprises in the context of digital transformation. The socio-economic development of rural areas is also unfeasible given the high demand for qualified personnel for agricultural production. **The purpose** of the article is to analyze state policy in the field of staffing of enterprises in the agro-industrial complex according to the concept "from school to employer". **Methods.** This study utilized the methods of institutional analysis and scientific generalization to reveal the essence of state policy in promoting staffing of enterprises in the agro-industrial complex. The data sources included federal and regional regulatory documents, information resources of government bodies of Russia and its constituent entities, and the results of sociological surveys of the All-Russian Public Opinion Research Center. **Scientific novelty.** The article analyzes the areas of implementation of state policy in the field of promoting staffing of enterprises in the agricultural sector within the framework of the "from school to employer" model, and proposes measures for improvement. The study's **results** demonstrate that an effective staffing policy for agro-industrial enterprises is essential for achieving food security, technological sovereignty, and overall agricultural development.

Keywords: agro-industrial complex, staffing of agro-industrial enterprises, agro-industrial personnel, agricultural education, agricultural classes, state support for agricultural education

For citation: Valieva A. R. State policy in the field of promoting the improvement of personnel availability for enterprises in the agro-industrial complex. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 2047–2055. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2047-2055. (In Russ.)

Date of paper submission: 31.03.2026, ***date of review:*** 07.07.2026, ***date of acceptance:*** 03.08.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Примерно четверть мировой рабочей силы занята в сельском хозяйстве. По мере роста богатства стран количество работающих в данной сфере снижается, поскольку люди переходят на сферу услуг и промышленность. Во многих развитых странах – крупнейших глобальных производителях и экспортерах сельскохозяйственной продукции – доля сельского хозяйства в занятости населения, в том числе сельского, в разы меньше, чем в России [1].

В Российской Федерации обеспеченность кадрами в сельскохозяйственной отрасли продолжает оставаться низкой, что требует незамедлительного принятия комплекса мероприятий в системе государственного управления. Министерство сельского хозяйства РФ установило показатель – не менее 95 % укомплектованности предприятий аграрной отрасли кадрами к 2030 году [2]. Ведомство разработало концепцию, согласно которой особое внимание фокусируется на бесшовной траектории подготовки кадров «от школьной скамьи до работодателя».

Государственная политика в области подготовки кадров для предприятий агропромышленного комплекса (АПК) представляет собой тщательно разработанную систему, состоящую из нескольких взаимосвязанных компонентов, которые в совокупности определяют качественное и доступное образование, формирование престижной для молодежи и конкурентоспособной системы аграрного образования, повышение имиджа и престижности аграрных профессий и специальностей.

Методология и методы исследования (Methods)

Методика настоящего исследования основана на методах институционального анализа, синтеза научных библиографических источников, нормативно-правовых документов. Для институционального анализа были использованы открытые данные Федеральной службы государственной статистики, Министерства сельского хозяйства России, региональных ведомств, Федерального собрания РФ, результаты опросов Всероссийского центра изучения общественного мнения.

Результаты (Results)

Системе образования и обучения отводится важная роль в сфере сельскохозяйственных знаний и инноваций. В современных условиях развития агротехнологий потребность в качественном аграрном образовании очень высокая.

© Валиева А. Р., 2026

Одной из существенных целей политики в области обучения и подготовки сельскохозяйственных кадров является приобретение необходимых навыков и предоставление для молодежи рабочих мест в агропродовольственном секторе. Для разработки учебных программ и компетенций необходимо функционирование обособленных центров [3].

Особое значение тема подготовки кадров в аграрной сфере имеет в Соединенных Штатах. Национальная организация «Будущие фермеры Америки» (далее – FFA) предлагает трехкомпонентную модель содействия эффективному сельскохозяйственному образованию. Организация была создана еще в 1928 году фермерами с целью подготовки будущих поколений к решению задач по обеспечению продовольствием населения. FFA способствует развитию у обучающихся уникальных талантов, увлечению исследованиями в области сельского хозяйства.

Предложенная организацией модель включает:

1) теоретические и лабораторные занятия (получение знаний об агротехнологиях, концепциях ведения сельского хозяйства);

2) программы сельскохозяйственной практики (вовлечение обучающихся в реальные аграрные проекты);

3) студенческие организации для развития личностного роста и лидерских качеств (участие в общественной работе и конкурсах, развитие командной работы, ответственности, коммуникативных навыков) [4].

Организация реализует систематическую программу обучения для студентов, желающих изучить аграрную науку, бизнес, технологии растениеводства и животноводства, экологические направления. Продвижение образования в области сельского хозяйства невозможно без совместной работы с другими субъектами государственной политики: Министерство образования США, Национальный совет по сельскохозяйственному образованию, Национальная ассоциация преподавателей сельского хозяйства, Американская ассоциация сельскохозяйственного образования и др. Отметим, что еще в 1917 году обучение в области сельского хозяйства стало частью системы государственного образования Соединенных Штатов, когда Конгресс США принял закон Смита – Хьюза. Данный закон впервые внедрил федеральную помощь по среднему образованию в целях подготовки преподавателей и создания учебных программ профессионального обучения. Сегодня более миллиона студентов обучаются по программам образования аграрной отрасли во всех 50 штатах и трех территориях США [4]. Регулированием сферы изучения основ агрономии и животноводства, охраной окружающей среды на школьном уровне занимается Национальный совет по сельскохозяйственному образованию [5]. Советом разработаны Национальные программы и критерии для среднего образования в области сельского хозяйства, продовольствия и природных ресурсов.

Китай на сегодняшний день уделяет больше внимание развитию сельского хозяйства и является крупным производителем аграрной продукции. КНР стремится ускорить модернизацию сельского хозяйства путем углубленной реформы и технологических инноваций для повышения производственных мощностей, а также качества продукции. Министерство сельского хозяйства и сельских дел КНР осуществляет разработку и реализацию планов развития кадров отрасли совместно с другими органами власти, реализует аграрное образование и развитие профессиональных навыков, участвует в программах практической подготовки в сельской местности [6]. Ключ к модернизации сельского хозяйства заключается в развитии аграрной науки и техники. Согласно «Плану ускорения строительства сильной аграрной нации (2024–2035)», Китай считает необходимым совершенствовать национальные лаборатории и национальные платформы инноваций в области сельскохозяйственной науки и техники. В целях формирования сильной кадровой команды для АПК. План предусматривает систему поддержки сельскохозяйственным кадрам, включающую местное обучение и укрепление аграрных специальностей в университетах, совершенствование профессионального образования, создание кадрового резерва [7].

В стране признают нехватку высококвалифицированных кадров в аграрной отрасли, влияющую на развитие сельскохозяйственной отрасли. Основной кузницей кадров в рамках модернизации сельского хозяйства в стране являются университеты и научно-исследовательские институты. Со стороны государства университетам оказывается поддержка в создании баз для подготовки специалистов послевузовского уровня или специализированных центров совместно с научно-исследовательскими институтами и предприятиями. Особое внимание в стране уделяют внимание тесной интеграции высшего аграрного образования с развитием сельских районов [8].

Проблемой подготовки кадров для предприятий аграрного сектора озабочено Правительство Индии. В Рамках «Национальной образовательной политики 2020» Правительство страны объявило о введении сельскохозяйственного образования на уровне средней школы, а также приведение аграрного образования в соответствие с меняющимися потребностями отрасли, а также стимулирование инноваций и научно-исследовательской деятельности [9].

За обеспечение качества образования студентов отвечает Индийский совет сельскохозяйственных исследований. Совет устанавливает профессиональные стандарты в области аграрного образования. Для привлечения и удержания специалистов в сфере высшего аграрного образования Совет оказывает финансовую помощь посредством различных стипендий и грантов студентам [10].

Рассмотренный зарубежный опыт демонстрирует значимость проблемы подготовки кадров для аграрной отрасли, поскольку затрагивает вопрос устойчивого развития сельских территорий, сельскохозяйственного производства в целом. В США, КНР и Индии государство создает систему подготовки кадров для АПК, опираясь на образовательные учреждения, специализированные ведомства и органы власти, некоммерческие организации.

За 2025 год аграрная отрасль в России продолжила играть ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и экономической стабильности. Сельскохозяйственные предприятия усилили позиции на внутреннем рынке и сохранили экспортную активность. Несмотря на высокие темпы роста за последние два десятилетия, наблюдается неуклонное сокращение численности занятых в аграрном секторе. За 2020–2022 годы в России количество сельскохозяйственных работников уменьшилось на 88 000 человек [1].

В агропромышленном секторе занято 5 млн человек, ежегодная потребность в кадрах составляет 160 тысяч человек [11]. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики за 2024 год, доля выпускников высших учебных заведений 2021–2023 годов, у которых основная работа связана с полученной профессией в сфере сельского, лесного и рыбного хозяйства, составляет 52,1 %. Среди выпускников средних профессиональных учебных заведений (специалистов среднего звена) указанная доля составила 42,9 %. Из выпускников, получивших среднее профессиональное образование по аграрным специальностям в рамках программы подготовки квалифицированных рабочих, связали профессиональную деятельность с сельским хозяйством лишь 37,3 % [12].

По результатам мониторингового опроса россиян о престижности профессий работник сельского хозяйства не вошел даже в первую десятку рейтинга, заняв 14 позицию. На вопрос о самой доходной профессии только 1 % опрошенных указал на работника сельского хозяйства (20-я позиция в рейтинге) [13].

Статистические данные и результаты опроса свидетельствуют о проблеме престижности, имиджа аграрных профессий и специальностей в стране. Для регулирования сложившейся ситуации необходимо разработать государственную политику в области обеспечения кадрами предприятий агропромышленного комплекса, способную сформировать для молодежи конкурентоспособную систему аграрного образования.

Государственную политику можно обозначить как совокупность действий и руководящих принципов, разработанных органами государственной власти для достижения конкретных целей. Государственная политика в области содействия повышению кадровой обеспеченности в аграрном секторе должна быть нацелена прежде всего на качественное и доступное образование, комплексную поддержку специалистов в АПК. Принятые управленческие решения должны ориентироваться на удовлетворение потребности общества и способствовать эффективному развитию экономики в целом. Наконец, стратегическая цель государственного управления – это повышение благосостояния населения страны.

Государственная политика включает в себя формирование и разработку нормативно-правовой основы для осуществления комплекса соответствующих мероприятий. Принятый новый национальный проект «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности» в том числе направлен на подготовку высокотехнологичных кадров. Его ключевой задачей является обеспечение специалистами АПК не менее чем на 95 %.

Регионы получают дополнительное финансирование на подготовку кадров для аграрной отрасли в рамках федерального проекта «Кадры АПК». Общий объем субсидий бюджетам субъектов России на реализацию мероприятий по содействию повышения кадровой обеспеченности предприятий АПК на 2025 год составил более 6 млрд рублей [14].

Немаловажным направлением в решении проблем является включение школьного уровня в процесс реализации государственной политики по подготовке сельскохозяйственных кадров. Сельское хозяйство – область, которая понятна ученикам, поскольку встречается в повседневной жизни. Важной особенностью является внедрение основ сельского хозяйства посредством создания междисциплинарной интеграции с естественными науками (биология, экология, математика). Практический опыт для школьников (создание школьных садов, теплиц и др.) также способствует усвоению знаний, развитию командной работы и ответственности.

В России было принято решение о запуске пилотного проекта по созданию агротехнологических классов, поскольку непрерывная подготовка будущих специалистов начинается со школьной скамьи. Агротехнологический класс представляет собой форму организации образовательной деятельности при реализации образовательной программы основного общего или среднего общего образования, предусматривающую углубленное изучение профильных агротехнологических предметов в рамках урочной и внеурочной деятельности [15].

С 1 сентября 2025 года в агроклассах школьники занимались в 67 регионах. Их количество выросло до 600, а к 2030 году планируется довести до 18 000 [16]. Агротехнологические классы – это начальное звено всей линии (траектории) подготовки кадров от школьной скамьи до работодателя, где дети узнают основы сельского хозяйства.

Для привлечения к аграрной науке создана цифровая образовательная платформа при поддержке Россельхозбанка, где можно найти перечень общеобразовательных учреждений в субъектах России, в которых созданы подобные классы. Портал «Агроклассы» включает в себя увлекательные уроки, конспекты, видеолекции, методические материалы для преподавателей. Школьники более подробно могут познакомиться с сельскохозяйственными профессиями от агронома до сити-фермера в разделе «Профориентация». По результатам опроса система выдаст перечень подходящих профессий для каждого ученика.

Отметим, что Правительство России субсидирует проекты по созданию агротехнологических классов и возмещает до 90 % фактически понесенных затрат на выплаты стимулирующего характера специалистам с аграрных университетов (в размере до 40 000 рублей в месяц на одного), а также до 95 % понесенных затрат на выплаты учителям (в размере до 30 000 рублей в месяц на одного).

В рамках реализации государственной политики в области кадрового обеспечения аграрной отрасли необходимо затронуть и среднее профессиональное образование. В целях повышения эффективности обучения студентов в средних профессиональных организациях Правительство подготовило изменения по следующим направлениям: ветеринария, сельское, лесное и рыбное хозяйство, промышленная экология и биотехнологии. Государство готово предоставлять субсидии на финансовое обеспечение затрат аграрных колледжей для реализации проектов их развития. В течение трех лет федеральный бюджет направит пять млрд рублей на эти цели [16]. Более того, профильные колледжи могут получить грант «Агропрофи». Данные средства будут направлены на модернизацию образовательной инфраструктуры, реконструкцию и ремонт зданий, приобретение программного обеспечения, учебников, пособий. Для получения данных ресурсов необходимо привлечение внебюджетного финансирования.

Отметим федеральный проект «Профессионалитет», согласно которому предусматривается создание образовательно-производственных кластеров, где предприятия и работодатели готовят будущих специалистов в тесном контакте с колледжами. В 86 регионах насчитывается уже 506 кластеров, где обучаются 1,89 млн студентов. На официальном сайте проекта размещен перечень колледжей и высших учебных заведений, где можно пройти обучение по различным специальностям и получить профессию, в том числе в аграрной отрасли.

Поддержка со стороны государства осуществляется на уровне высшего аграрного образования. Государство субсидирует целевое обучение студентов аграрных университетов, расходы на их проживание. В рамках федерального проекта «Кадры АПК» национального проекта «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности» государство предоставляет субсидии для возмещения сельскохозяйственным организациям (индивидуальным предпринимателям, осуществляющим деятельность в аграрной отрасли) до 90 % понесенных затрат по заключенным договорам о целевом обучении со студентами аграрных высших учебных заведениях, и затрат по их проживанию, а также до 30 % фактически понесенных затрат по заключенным договорам о целевом обучении со студентами иных вузов, их проживанию. Субсидии выплачиваются за каждый год обучения. За организацию производственной практики студентов из агровузов государство готово возместить до 90 % понесенных расходов сельскохозяйственным предприятиям [15].

Предприятия АПК готовы принимать активное участие в подготовке кадров, тем самым закрепляя молодых специалистов за своими организациями. Крупнейший производитель мясной продукции группы «Черкизово» активно привлекает студентов аграрных вузов на стажировки, практики, в студенческие отряды. При этом зарплаты для них начинаются от 50 тысяч рублей. На предприятиях «ЭкоНивы» ежегодно проходят практику более 2400 студентов. Организация предлагает программы стажировок по ветеринарии, зоотехнии, агрономии, механизации и переработке сельскохозяйственной продукции. По целевой подготовке от «Мираторга» в 2024 году заключили договоры 124 студента, в 2025 – 200 человек. Оплачиваемые практики прошли 500 обучающихся, 200 работали в студенческих отрядах, 170 начали работать на экспертных должностях, 45 совмещают учебу и работу [17].

Особую важность имеют партнерство и координация между образовательными учреждениями и сельскохозяйственными предприятиями, заинтересованным сообществом, участвующих в процессах принятия решений и разработки учебных программ. Совместная работа позволит создать эффективное сочетание теории и практики в учебных программах.

Важным направлением в реализации государственной политики подготовки кадров для предприятий АПК является создание цифрового информационного ресурса, необходимого как для выпускников колледжей, вузов, так и для специалистов с образованием, а также для сельскохозяйственных организаций. При участии Россельхозбанка функционирует портал «Я в Агро», который содержит информацию по колледжам и высшим аграрным учебным заведениям в России. На сайте размещаются вакансии от работодателей – предприятий АПК, действует раздел по поиску работы в сельскохозяйственной сфере.

Подобные платформы могут создаваться в отдельных регионах. Так, Ассоциация сельхозпроизводителей Липецкой области организовала соз-

дание портала «АгроКарьера» для студентов и агропредприятий, колледжей и высших учебных заведений Липецкой области. Сайт позволяет познакомить обучающихся с современными практиками, стажировками и программами развития, работодателям предоставить возможность искать мотивированных специалистов для проектов в области сельского хозяйства.

Важной задачей в системе государственного управления кадровым обеспечением аграрной отрасли является повышение престижа профессии этой сферы, развития малых территорий и повышения привлекательности сельского образа жизни. Одним из подобных направлений в формировании и реализации государственной политики является совместный проект Министерства сельского хозяйства, Федерального агентства по делам молодежи, Россельхозбанка и Российского Союза Молодежи. Конкурсный проект «Я в Агро» направлен на поддержку молодых людей на селе и работающих в аграрной сфере, создание условий для самореализации молодых людей. В конкурсе могут участвовать молодые люди от 14 до 35 лет по направлениям:

– «Выбирай будущее» – для учащихся агротехнических классов и студентов аграрных специальностей средних профессиональных и высших образовательных организаций;

– «Меняй к лучшему» – для сотрудников и специалистов предприятий агропромышленного сектора, проживающих на территории сельских населенных пунктов;

– «Вдохновляй других» – для блогеров, создающих цифровой контент на сельской территории;

– «Создавай свое» – для предпринимателей аграрной отрасли.

Победители конкурса получат экспертную, ресурсную и инвестиционную поддержку от учредителей, партнеров проекта для реализации своих инициатив.

Для российских и зарубежных руководителей сельскохозяйственной отрасли в возрасте от 18 лет с управленческим опытом от двух лет и опытом работы в аграрной отрасли организован конкурс «Лидеры агропромышленного комплекса». Проект реализуется по поручению президента России от 16 июля 2025 года платформой «Россия – страна возможностей» и Министерством сельского хозяйства России. Конкурс дает возможность выяснить оценку компетенций участников, участвовать в программе наставничества с ведущими управленцами в АПК, получить возможность обмена опытом, пройти обучение по программе для управленцев высшего звена и войти в кадровый резерв. По итогам заявочной кампании 2025 года было подано более 7500 заявок.

Рассмотрим еще одно из направлений реализации государственной политики в области содействия повышению кадрового обеспечения в сельскохозяйственной сфере – государственную поддержку специалистов предприятий АПК. В субъектах России принимаются решения по обеспечению единовременными и (или) ежемесячными пособиями для молодых специалистов, выпускников с высшим образованием в области сельского хозяйства либо со средним профессиональным образованием, которые заключили трудовой договор с предприятием агропромышленного комплекса. Сумма пособий различается в регионах страны. В Республике Башкортостан на государственную поддержку могут претендовать молодые специалисты (как выпускники высших и средних профессиональных учебных заведений) в возрасте до 35 лет, имеющий непрерывный стаж в организациях АПК не менее 6 месяцев. Размер единовременной поддержки составляет 750 000 рублей. Аналогичная сумма установлена в Республике Татарстан, где, помимо единовременных пособий, был увеличен размер стипендий для обучающихся учебных заведений. В Ивановской области с 2026 года размер единовременного пособия молодым специалистам при трудоустройстве в сельскохозяйственные предприятия составляет 150 000 рублей, в Республике Коми – 600 000 рублей для специалистов и 400 000 рублей для рабочих профессий. Подобная система выплат молодым специалистам действует не во всех регионах страны. По данным информационного обзора Федерального экспертно-правового центра АПК, предоставление социальных выплат молодым специалистам предусмотрено лишь в 28 субъектах России (по состоянию на январь 2024 года) [18].

Развитию человеческого капитала в аграрном секторе способствует система непрерывного образования, профессиональной переподготовки, стажировок, повышения квалификации работников [19].

Для обеспечения квалифицированными кадрами в аграрном секторе необходимо формирование системы непрерывного образования, которая позволяет использовать человеческий потенциал и самореализацию гражданина в течение всей его жизни. По данным исследователей, только 16 % работающих в АПК участвовали в системе дополнительного образования в течение года, что демонстрирует минимальный охват среди других отраслей экономики [20].

Во всех аграрных высших учебных заведениях, специализированных отраслевых учреждениях существует программы подготовки и профессиональной переподготовки, повышения квалификации для работников АПК. Помимо высших учебных заведений, объектами дополнительного профессионального образования могут быть сельскохозяйственные предприятия, коллективные и фермерские хозяйства как для обучения кадров, так и для примера распространения опыта.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Государственная политика в области содействия повышению кадровой обеспеченности предприятий АПК в современной России, основанная на концепции «от школьной скамьи до работодателя», содержит несколько ключевых направлений:

– внедрение аграрной науки в школьной системе (агротехнические классы);

– модернизация и развитие аграрных колледжей, повышение качества и обновление образовательной инфраструктуры среднего профессионального образования (создание образовательно-производственных кластеров «Профессионалитет»);

– государственная поддержка аграрных высших учебных заведений (федеральный проект «Кадры АПК»);

– субсидирование государством агропромышленных предприятий в части затрат на целевое обучение студентов, предоставление площадок для производственных практик, стажировок с оплатой для обучающихся;

– создание цифровых платформ, объединяющих выпускников аграрных учебных заведений (как высших, так и средних профессиональных) и работодателей – сельскохозяйственных организаций, а также информационно-образовательные порталы для школьников и студентов;

– организация профессиональных конкурсов на федеральном и региональном уровне по повышению престижа и повышению конкурентоспособности аграрных профессий («Я в Агро», «Лидеры АПК»);

– федеральная и региональная поддержка молодых специалистов аграрных предприятий;

– развитие дополнительного профессионального образования у работников сельского хозяйства.

Тем не менее в целях совершенствования политики в рамках установленной концепции требуется:

– продолжить обновление материально-технической базы высших учебных и средних профессиональных заведений для подготовки квалифицированных специалистов;

– создать единую школьную программу в области сельского хозяйства, продовольствия и природных ресурсов во всех субъектах Российской Федерации. На данном направлении возможно применить зарубежный опыт (США) введения основ по сельскому хозяйству во всех школах страны;

– улучшить качество жизни и модернизировать инфраструктуру в сельских территориях для повышения интереса молодежи в работе в отрасли;

– расширить меры социальной поддержки работников, проживающих в сельских территориях во всех регионах страны;

– установить единовременные и (или) ежемесячные пособия для заключивших трудовой договор с организациями АПК молодых специалистов, выпускников учебных заведений во всех субъектах России;

– развивать сотрудничество региональных правительств и сельскохозяйственных компаний в части создания в субъектах России проектов непрерывного аграрного образования согласно концепции «со школьной скамьи до окончания карьеры». Подобное сотрудничество уже действует в некоторых регионах страны. К примеру, в Ростовской области было подписано долгосрочное партнерство между правительством Ростовской области и компанией «Иннопрактика»;

– повысить уровень включенности работников сельскохозяйственной отрасли в систему дополнительного профессионального образования и повышения квалификации;

– осуществлять федеральный мониторинг проекта «Кадры АПК России» по соответствующим показателям.

Таким образом, тема подготовки специалистов для предприятий АПК является значимой в интересах укрепления сельского хозяйства, возрождения сельскохозяйственных территорий, где сосредоточена большая часть сельскохозяйственных земель. Сохранение кадрового потенциала, качество его подготовки имеют решающее значение для достижения технологической обеспеченности продовольственной безопасности страны. Эффективная аграрная политика определяется согласованностью и координацией всех ее составляющих. Синхронизация всего процесса подготовки кадров в рамках модели «от школьной скамьи до работодателя» позволит добиться эффективности. Понимание концепции государственной политики, ее различных компонентов позволяет оценить усилия государства по повышению качества подготовки специалистов, обеспечения кадров в аграрной сфере.

Библиографический список

1. Потапова А. А. Нехватка работников в сельском хозяйстве России: есть ли потенциал для восполнения? // ЭКО. 2024. № 2. С. 146–168. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2024-2-146-168.

2. В Совете Федерации выступила Министр сельского хозяйства РФ О. Лут [Электронный ресурс] // Официальный сайт Совета Федерации. URL: http://council.gov.ru/events/news/160871 (дата обращения: 16.03.2026).

3. Kurtsal Y., Rinaldi G. M., Savini F., et al. Improving the education and training policies of the agri-food and forestry sectors: identifying new strategies to meet the needs of the sector and farm-to-fork priorities // Sustainability. 2024. Vol. 16, No. 3. Article number 1267. DOI: 10.3390/su16031267.

4. Agricultural education [Электронный ресурс]. URL: https://www.ffa.org/agricultural-education (дата обращения: 16.03.2026).

5. Bylaws for the National Council for Agricultural Education [Электронный ресурс]. URL: https://ffa.app.box.com/s/xu1qdewyo9nutur3ybb6ntx30pq9d50p (дата обращения: 16.03.2026).

6. Agriculture in China IV [Электронный ресурс]. URL: https://english.moa.gov.cn/overview/201910/t20191009_296613.html (дата обращения: 12.03.2026).

7. Plan for accelerating the construction of China into an agricultural powerhouse (2024–2035) [Электронный ресурс]. URL: https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0636_china_agricultural_powerhouse_plan_EN.pdf (дата обращения: 12.03.2026).

8. 孙其信 大力推进农业教育科技人才体制机制一体改革 [Электронный ресурс]. URL: https://news.cau.edu.cn/qgzk/d49a72294ef0444bb5a49bed30bd0e89.htm (дата обращения: 16.03.2026).

9. National Education Policy 2020. Ministry of Human Resource Development Government of India [Электронный ресурс] URL: https://static.pib.gov.in/WriteReadData/userfiles/NEP_Final_English_0.pdf (дата обращения: 26.02.2026).

10. Agrawal R. C. New paradigms in agricultural education in India // Indian Journal of Plant Genetic Resources. 2022. Vol. 35, No. 3. Pp. 50–52. DOI: 10.5958/0976-1926.2022.00041.9

11. Интеграция IT-компетенций в аграрное образование является ключом к цифровой трансформации АПК [Электронный ресурс] // Официальный сайт Совета Федерации. URL: http://council.gov.ru/events/news/171000 (дата обращения: 27.01.2026).

12. Федеральная служба государственной статистики. Итоги выборочного обследования рабочей силы [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13265 (дата обращения: 17.03.2026).

13. Аналитический центр ВЦИОМ. Наиболее престижные и доходные профессии: мониторинг [Электронный ресурс]. URL: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/naibolee-prestizhnye-i-dokhodnye-professii-monitoring (дата обращения: 17.03.2026).

14. Распоряжение Правительства РФ от 5 декабря 2025 г. № 3631-р [Электронный ресурс]. URL: http://static.government.ru/media/files/6wZAM4OlF7ugp6vubdRp8EhTaXMKZwsu.pdf (дата обращения: 17.01.2026).

15. Правила предоставления и распределения субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на реализацию мероприятий по содействию повышению кадровой обеспеченности предприятий агропромышленного комплекса: постановлением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2024 года № 1893 [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/902361843 (дата обращения: 17.01.2026).

16. Михаил Мишустин провел стратегическую сессию о развитии агропромышленного сектора и обеспечении продовольственной безопасности [Электронный ресурс] // Официальный сайт Правительства Российской Федерации. URL: http://government.ru/news/56892 (дата обращения: 07.02.2026).

17. Кадры решают. Помогут ли новый федеральный проект и господдержка привлечь больше специалистов в АПК [Электронный ресурс] // Агроинвестор. 2025. № 2. URL: https://www.agroinvestor.ru/markets/article/43714-kadry-reshayut-pomogut-li-novyy-federalnyy-proekt-i-gospodderzhka-privlech-bolshe-spetsialistov-v-ap (дата обращения: 08.02.2026).

18. Меры государственной поддержки молодых специалистов в сфере агропромышленного комплекса: информационный обзор [Электронный ресурс]. URL: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/474/dj7edp6c2tne45o3ha5owkvz8xexvpak.docx (дата обращения: 20.02.2026).

19. Kuts V., Abdullayev I., Shichiyakh R., et al. State support for agriculture in the region: economic and social aspects // Cadernos de Educação, Tecnologia e Sociedade. 2024. Vol. 17, No. 2. Pp. 789–802. DOI: 10.14571/brajets.v17.n2.789-802.

20. Ляшок В. Ю., Варшавская Е. Я. Практики дополнительного профессионального обучения российских работников // Экономическая политика. 2025. Vol. 20, No. 4. Pp. 118–141. DOI: 10.18288/1994-5124-2025-4-118–141.

Об авторе:

Альбина Рифовна Валиева, кандидат политических наук, доцент кафедры социально-экономических и гуманитарных дисциплин, Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия;
ORCID 0009-0006-1142-5225, AuthorID 564779. *E-mail: valieva.ar@rambler.ru*

References

1. Potapova A. A. Shortage of workers in Russia's agriculture: is there potential to recover? *ECO.* 2024; 2: 146–168. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2024-2-146-168. (In Russ.)

2. *Minister of Agriculture of the Russian Federation addressed the Federation Council* [Internet]. 2024 [cited 2026 Mar 16]. Available from: http://council.gov.ru/events/news/160871. (In Russ.)

3. Kurtsal Y., Rinaldi G. M., Savini F., et al. Improving the education and trainingpolicies of the agri-food and forestrysectors: identifying new strategies to meet the needs of the sector and farm-to-fork priorities. *Sustainability.* 2024; 16 (3): 1267. DOI: doi.org/10.3390/su16031267.

4. *Agricultural education* [Internet]. 2023–2024 [cited 2026 Mar 16]. Available from: https://www.ffa.org/agricultural-education.

5. *Bylaws for the National Council for Agricultural Education* [Internet]. 2025 [cited 2026 Mar 16]. Available from: https://ffa.app.box.com/s/xu1qdewyo9nutur3ybb6ntx30pq9d50p.

6. *Agriculture in China IV* [Internet]. 2017 [cited 2026 Mar 12]. Available from: https://english.moa.gov.cn/overview/201910/t20191009_296613.html.

7. *Plan for accelerating the construction of China into an agricultural powerhouse (2024–2035)* [Internet]. 2025 [cited 2026 Mar 12]. Available from: https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/t0636_china_agricultural_powerhouse_plan_EN.pdf.

8. Qixin S. *Vigorously advance the integrated reform of systems and mechanisms for agricultural education, science and technology, and talent development* [Internet]. 2025 [cited 2026 Mar 16]. Available from: https://news.cau.edu.cn/qgzk/d49a72294ef0444bb5a49bed30bd0e89.htm. (In Chin.)

9. *National Education Policy 2020. Ministry of Human Resource Development Government of India* [Internet]. 2020 [cited 2026 Feb 26]. Available from: https://static.pib.gov.in/WriteReadData/userfiles/NEP_Final_English_0.pdf.

10. Agrawal R. C. New paradigms in agricultural education in India. *Indian Journal of Plant Genetic Resources.* 2022; 35 (3): 50–52. DOI: 10.5958/0976-1926.2022.00041.9.

11. *Integrating IT competencies into agricultural education is key to the digital transformation of the agro-industrial complex* [Internet]. 2025 [cited 2026 Jan 27]. Available from: http://council.gov.ru/events/news/171000. (In Russ.)

12. *Results of the sample survey of the labor force* [Internet]. 2024 [cited 2026 Mar 17]. Available from: https://rosstat.gov.ru/folder/11110/document/13265. (In Russ.)

13. The most prestigious and profitable professions: monitoring. *Russian Public Opinion Research Center* [Internet]. 2024 [cited 2026 Mar 17]. Available from: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/naibolee-prestizhnye-i-dokhodnye-professii-monitoring. (In Russ.)

14. *Order of the Government of the Russian Federation of 5 december 2025 No. 3631-p* [Internet]. 2025 [cited 2026 Jan 17]. Available from: http://static.government.ru/media/files/6wZAM4OlF7ugp6vubdRp8EhTaXMKZwsu.pdf. (In Russ.)

15. *Rules for the provision and distribution of subsidies from the federal budget to the budgets of constituent entities of the Russian Federation for the implementation of measures to promote the improvement of staffing levels in enterprises of the agro-industrial complex: Resolution of the Government of the Russian Federation of 25 december 2024 No. 1893* [Internet]. 2024 [cited 2026 Jan 17]. Available from: https://docs.cntd.ru/document/902361843. (In Russ.)

16. *Mikhail Mishustin held a strategic session on the development of the agro-industrial sector and ensuring food security* [Internet]. 2025 [cited 2026 Feb 07]. Available from: http://government.ru/news/56892. (In Russ.)

17. It comes down to personnel: will a new federal project and state support help attract more specialists to the agro-industrial complex? *Agroinvestor* [Internet]. 2025 [cited 2026 Feb 08]; 2. Available from: https://www.agroinvestor.ru/markets/article/43714-kadry-reshayut-pomogut-li-novyy-federalnyy-proekt-i-gospodderzhka-privlech-bolshe-spetsialistov-v-ap. (In Russ.)

18. *Informational review "State support measures for young specialists in the agro-industrial complex"* [Internet]. 2024 [cited 2026 Feb 20]. Available from: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/474/dj7edp6c2tne45o3ha5owkvz8xexvpak.docx.

19. Kuts V., Abdullayev I., Shichiyakh R., Abushenkova M., Poltarykhin A., Vaslavskaya I. State support for agriculture in the region: economic and social aspects. *Cadernos de Educação, Tecnologia e Sociedade*. 2024; 17 (2): 789–802. DOI: 10.14571/brajets.v17.n2.789-802.

20. Lyashok V. Yu., Varshavskaya E. Ya. Vocational education and training of Russian employees. *Economic Policy*. 2025; 20 (4): 118–141. DOI: 10.18288/1994-5124-2025-4-118-141. (In Russ.)

Author's information:

Albina R. Valieva, candidate of political sciences, associate professor of department of social, economic and humanitarian sciences, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia; ORCID 0009-0006-1142-5225, AuthorID 564779. *E-mail: valieva.ar@rambler.ru*

УДК 338.27
Код ВАК 5.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2056-2069

Пространственная оценка неоднородности цен на рынке молока с использованием модели многослойного перцептрона

А. А. Дубовицкий✉, **Э. А. Климентова, В. А. Шацкий**
Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Тамбовская область, Россия
✉*E-mail: daa1-408@yandex.ru*

Аннотация. **Цель** работы – оценка пространственной неоднородности и факторов дифференциации цен на рынке молока. **Методы.** Исследование построено на использовании элементов статистико-экономического анализа в сочетании эмпирического, дескриптивного, аналитического, динамического, сравнительно-пространственного и прогностического подходов. Выявление факторов, оказывающих определяющее влияние на региональную дифференциацию цен на рынке молока, основано на нейросетевом анализе с использованием модели многослойного перцептрона, позволяющем обеспечить изучение скрытых представлений посредством нелинейных преобразований. **Научная новизна.** Определены параметры пространственной неоднородности, выявлены факторы, оказывающие определяющее влияние на региональную дифференциацию цен на рынке молока, сформулированы рекомендации улучшения размещения молочного скотоводства на региональном уровне. **Результаты.** В процессе исследования были выявлены ключевые тенденции развития молочного скотоводства, характеризующиеся увеличением объемов производства молока и одновременным сокращением поголовья; определены параметры изменения цен на молоко, отличающиеся положительной динамикой, особенно в течение второй половины 2024 г. и начале 2025 г. с формированием «парадокса перепроизводства» в начале 2026 г., когда рост производства превысил платежеспособный спрос, что привело к снижению цен. Проведение нейросетевого анализа позволило локализовать факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на формирование прогноза цен регионального рынка сырого молока, среди которых удельный вес городского населения (*NI* = 0,079), среднедушевые денежные доходы (*NI* = 0,074), доля населения моложе трудоспособного возраста (*NI* = 0,073), удой молока на 1 корову (*NI* = 0,071), численность населения региона (*NI* = 0,067) и валовой надой молока в регионе (*NI* = 0,068). Обоснована значимость этих факторов как основы прогнозирования цен на сырое молоко, реализуемое сельскохозяйственными организациями, и предикторов совершенствования конъюнктуры рынка.

Ключевые слова: агропродовольственная система, регион, молочное скотоводство, размещение, рынок молока, рентабельность, цена, прогнозирование, машинное обучение, нейронные сети

Благоларности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-01313 (https://rscf.ru/project/25-28-01313/).

Для цитирования: Дубовицкий А. А., Климентова Э. А., Шацкий В. А. Пространственная оценка неоднородности цен на рынке молока с использованием модели многослойного перцептрона // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 2056–2069. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2056-2069.

Дата поступления статьи: 20.07.2026, ***дата рецензирования:*** 28.08.2026, ***дата принятия:*** 16.09.2026.

© Дубовицкий А. А., Климентова Э. А., Шацкий В. А., 2026

Spatial estimation of the heterogeneity of prices in the milk market using the multilayer perceptron model

A. A. Dubovitskiy✉, **E. A. Klimentova, V. A. Shatskiy**
Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Tambov region, Russia
✉*E-mail: daa1-408@yandex.ru*

Abstract. **The purpose** of the study is to assess spatial heterogeneity and price differentiation factors in the milk market. **Methods.** The research is based on the use of elements of statistical and economic analysis in a combination of empirical, descriptive, analytical, dynamic, comparative spatial and predictive approaches. The identification of factors that have a decisive impact on regional price differentiation in the milk market is based on neural network analysis using a multilayer perceptron model, which allows for the study of hidden representations through nonlinear transformations. **The scientific novelty.** The parameters of spatial heterogeneity are determined and the factors that have a decisive influence on the regional differentiation of prices in the milk market are identified, recommendations for improving the placement of dairy cattle breeding at the regional level are formulated. **Results.** In the course of the study, key trends in the development of dairy cattle breeding were identified, characterized by an increase in milk production and a simultaneous reduction in livestock; parameters of changes in milk prices were determined, characterized by positive dynamics, especially during the second half of 2024 and early 2025, with the formation of the "overproduction paradox" in early 2026, when production growth exceeded effective demand, which led to lower prices. The neural network analysis made it possible to localize the factors that have the most significant impact on the formation of the forecast of prices for the regional raw milk market, including: the proportion of the urban population (*NI* = 0.079), average per capita monetary income (*NI* = 0.074), the proportion of the population younger than working age (*NI* = 0.073), milk yield per cow (*NI* = 0.071), the population of the region (*NI* = 0.067) and the gross milk yield in the region (*NI* = 0.068). The importance of these factors as a basis for forecasting prices for raw milk sold by agricultural organizations and predictors of improving market conditions is substantiated.

Keywords: agro-food system, region, dairy cattle breeding, location, milk market, profitability, price, forecasting, machine learning, neural networks

Acknowledgements. The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 25-28-01313 (https://rscf.ru/project/25-28-01313/).

For citation: Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A., Shatskiy V. A. Spatial estimation of the heterogeneity of prices in the milk market using the multilayer perceptron model. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 2056–2069. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2056-2069. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.07.2026, ***date of review:*** 28.08.2026, ***date of acceptance:*** 16.09.2026.

© Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A., Shatskiy V. A., 2026

Постановка проблемы (Introduction)

Молочное скотоводство является одной из ключевых подотраслей агропромышленного комплекса Российской Федерации. Оно участвует в обеспечении продовольственной безопасность страны, снабжая население базовыми продуктами питания (молоком, кисломолочными продуктами, сыром и маслом) и создавая рабочие места в сельской местности [1; 2].

Потребление молока на душу населения в России, по данным за 2025 год, выросло до 255 кг, но это все еще ниже рекомендованной Минздравом нормы потребления в 322 кг (в ред. Приказа Минздрава РФ от 30.12.2022 № 821), что свидетельствует о наличии значительного потенциала для роста внутреннего рынка. Согласно Доктрине продовольственной безопасности РФ, перед отраслью стоит амбициозная задача – нарастить к 2030 году производство более чем на 10 %, доведя его до 38,5 млн т, а самообеспеченность страны молоком увеличить с 85,3 % до требуемых 90 % [3]. Важнейшим условием повышения продовольственной безопасности является экономический рост сельскохозяйственных предприятий, производящих молочную продукцию [4].

Основное условие расширения производства – рентабельное ведение отрасли. Сегодня молочное скотоводство функционирует в условиях высокой волатильности и макроэкономической нестабильности. По мере того как отрасль сталкивается с новыми экономическими вызовами, ключевым аспектом становится обеспечение эффективности и прежде всего рентабельности отрасли [1]. Тра-

диционно формирование рентабельности молочного скотоводства рассматривается чаще всего через призму себестоимости производства: снижение себестоимости единицы продукции ведет к росту прибыли [4] и рентабельности [5].

В свою очередь, себестоимость производства молока связывается с продуктивностью молочного стада [6; 7] и уровнем затрат на производство и реализацию 1 ц молока [8]. Отдельным фактором является обеспеченность кормами и стоимость кормовых рационов [9]. Отмечается также влияние на рентабельность структуры себестоимости [10] и ряда других организационно-экономических параметров.

При этом основные направления развития молочного скотоводства строятся на основе технологического развития в области генетики, селекции и разведения крупного рогатого скота молочных пород [11; 12]. интенсификации производства [13], автоматизации и роботизации производственных процессов [14–16], развитии интегрированных формирований [17] и господдержки сельхозтоваропроизводителей [1]. Особое внимание в данном процессе уделяется пространственному размещению производства сырого молока с учетом региональной специфики и эффективности [18].

Большинством авторов именно себестоимость считается тем эндогенным фактором, влияя на который производители могут управлять рентабельностью, что является вполне очевидным фактом, не требующем дополнительных доказательств. Другая составляющая рентабельности – цена реализации произведенной продукции [19; 20]. Цена выступает тем экзогенным фактором, который слабо поддается влиянию отдельных товаропроизводителей, что в определенной степени ограничивает внимание исследователей к данному вопросу.

Однако цена важна не только для формирования итоговых финансовых показателей деятельности предприятий и организаций – она служит еще и ориентиром на этапе планирования и прогнозирования развития отрасли [21–23].

Молочное скотоводство относится к числу наиболее капиталоемких отраслей сельского хозяйства [24; 25]. Строительство ферм, закупка племенного скота и оборудования требуют огромных вложений. Поэтому развитие этой отрасли неразрывно связано с необходимостью масштабных инвестиций, которые характеризуются длительным периодом возврата вложенных средств.

При этом для инвестиций необходима благоприятная среда [26]. Подчеркивается роль уровня цен на рынке молока для привлечения средств.

Инвестор не вложит деньги в проект, если не будет уверен, что цена реализации продукции позволит покрыть операционные расходы и вернуть инвестиции.

В соответствии с этим понимание механизмов ценообразования, ценовой конъюнктуры и факторов, определяющих уровень цен на рынке сырого молока, необходимо для эффективного управления молочным скотоводством и инвестиционными процессами в отрасли, совершенствования пространственного размещения производства и выработки эффективных мер государственной поддержки.

Отмеченные положения послужили основой для выбора темы настоящего исследования, целью которого выступила оценка пространственной неоднородности и факторов дифференциации цен на рынке молока.

Методология и методы исследования (Methods)

В процессе написания данной статьи авторы опирались на результаты российских и зарубежных научных исследований в области ценообразования, развития и размещения сельскохозяйственного производства. Данное исследование основано на использовании элементов статистико-экономического анализа в сочетании эмпирического, дескриптивного, аналитического, динамического, сравнительно-пространственного и прогностического подходов.

Выявление факторов, оказывающих определяющее влияние на региональную дифференциацию цен на рынке молока, основано на нейросетевом анализе с использованием модели многослойного перцептрона (Multi-Layer Perceptron – MLP), являющегося наиболее распространенным алгоритмом сетей с прямой связью. Метод позволяет обеспечить эффективное решение задач классификации между признаками на основе необработанных входных данных, что сводит к минимуму необходимость в ручном конструировании признаков и обеспечивает гибкость при работе с непрерывными и категориальными входными переменными [27; 28]. Архитектура MLP построена на основе входного, скрытого и выходного слоев нейронов, поток сигналов между которыми формирует сеть на основе преобразования исходных данных посредством матриц весов, обеспечивающих изучение скрытых представлений путем нелинейных преобразований [29–31]. Практическая реализация модели проводилась в программе SPSS Forecastiνng (IBM).

Эмпирическая база исследования построена на использовании открытых данных, размещенных на сайте Федеральной службы государственной статистики (https://rosstat.gov.ru/), содержащих информацию о поголовье скота, объемах производства и продуктивности, объемах потребления молока, ценах, численности, структуре и доходах населения. Источником данных по рентабельности производства молока послужила информация, размещенная на сайте аудиторского портала TEST FIRM (https://www.testfirm.ru/).

Результаты (Results)

В последние годы в России происходят увеличение объемов производства молока в сельскохозяйственных организациях и одновременное сокращение поголовья (таблица 1).

За период с 2021 по 2025 год поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий сократилось на 1989,6 тыс. голов в натуральном исчислении, или 11,3 % в относительном выражении. Только за последний год поголовье уменьшилось на 575,1 тыс. голов, что составило 3,5 %.

В большей степени это происходит за счет малых форм хозяйствования – хозяйств населения и крестьянских (фермерских) хозяйств. В сельскохозяйственных организациях уменьшение поголовья происходит более медленными темпами. За представленный период оно составило 7,1 %, или 569,7 тыс. голов, в том числе за последний год – 0,6 %, или 48,5 тыс. голов.

Аналогичная ситуация наблюдается и с поголовьем коров. Сокращение составило 823,8 тыс. голов, или 10,6 %, в том числе в сельскохозяйственных организациях 213,9 тыс. голов, или 6,4 %. В результате доля сельскохозяйственных организаций в структуре стада за это время выросла с 45,2 % до 47,3 %, в том числе коров – с 41,5 % до 43,2 %.

На фоне уменьшения поголовья коров происходит незначительное увеличение объемов производства молока. В хозяйствах всех категорий за 2021–2025 годы оно выросло на 5,8 %, или 1867,8 тыс. тонн. В сельскохозяйственных организациях наблюдается более значительное увеличение, которое в целом за пять лет составило 18,5 %, или 3368,1 тыс. тонн.

Рост производства происходит за счет повышения удоя молока от одной коровы на основе внедрения инновационных технологий и технического развития отрасли, улучшения кормления и обновления породного состава поголовья. Среднегодовой удой молока на 1 корову в хозяйствах всех категорий за это время вырос на 17,7 %, или 882,4 кг, составив в 2025 году 5870 кг. Продуктивность в сельскохозяйственных организациях выросла еще более значительно. Прирост удоя коров составил 26,4 %, или 568,2 кг, а его абсолютная величина в 2025 году – 8858 кг.

Развитие отрасли происходит неравномерно, что сказывается на пространственной структуре размещения производства. Если в Центральном, Северо-Западном, Северо-Кавказском и Приволжском федеральных округах наблюдается уверенный рост (на 11,2 %, 13,4 %, 10,8 %, 10,0 % соответственно), то на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке фиксируется снижение объемов производства (на 3,3 %, 6,6 %, 8,1 % соответственно). Это усугубляет зависимость потребления конечной продукции от межрегионального обмена и дополнительных логистических издержек.

Таблица 1

Поголовье крупного рогатого скота, продуктивность и объемы производства молока в РФ

Показатели	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Поголовье крупного рогатого скота, на конец года, тыс. гол.	17 649,6	17 489,0	17 074,1	16 235,1	15 660,0
в т. ч. сельскохозяйственные организации	7 978,6	7 959,7	7 802,2	7 457,3	7 408,8
Поголовье коров, тыс. гол.	7 783,6	7 734,7	7 548,4	7 222,0	6 959,8
в т. ч. сельскохозяйственные организации	3 227,5	3 227,4	3 147,5	3 028,6	3 013,6
Производство молока, тыс. т	32 339,3	32983,8	33 810,6	34 034,8	34 207,1
в т. ч. сельскохозяйственные организации	18 161,5	19 013,4	20 091,4	20 711,2	21 529,6
Надой молока на 1 корову, кг	4 988	5 194	5 322	5 518	5 870*
в т. ч. сельскохозяйственные организации	7 007	7 440	7 911	8 290	8 858*

*Примечание. * По данным Росстата за январь – декабрь, без учета корректировки по итогам года.*

Table 1

Cattle population, productivity and milk production volumes in the Russian Federation

Indicators	*2021*	*2022*	*2023*	*2024*	*2025*
Number of cattle, at the end of the year, thousand heads	*17 649.6*	*17 489.0*	*17 074.1*	*16 235.1*	*15 660.0*
including agricultural organizations	*7 978.6*	*7 959.7*	*7 802.2*	*7 457.3*	*7 408.8*
Number of cows, thousand heads	*7 783.6*	*7 734.7*	*7 548.4*	*7 222.0*	*6 959.8*
including agricultural organizations	*3 227.5*	*3 227.4*	*3 147.5*	*3 028.6*	*3 013.6*
Milk production, thousand tons	*32 339.3*	*32983.8*	*33 810.6*	*34 034.8*	*34 207.1*
including agricultural organizations	*18 161.5*	*19 013.4*	*20 091.4*	*20 711.2*	*21 529.6*
Milk yield per 1 cow, kg	*4 988*	*5 194*	*5 322*	*5 518*	*5 870**
including agricultural organizations	*7 007*	*7 440*	*7 911*	*8 290*	*8 858**

*Note. * According to Rosstat data for January – December, excluding year-end adjustments.*

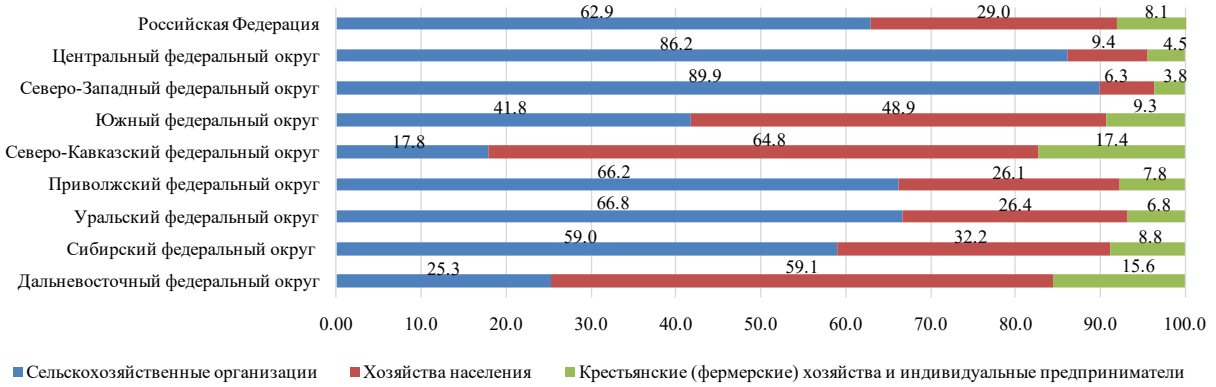


Рис. 1. Пространственная структура производства молока по категориям хозяйств, 2025 г.
Источник: составлено авторами на основе данных Росстата (https://rosstat.gov.ru/)

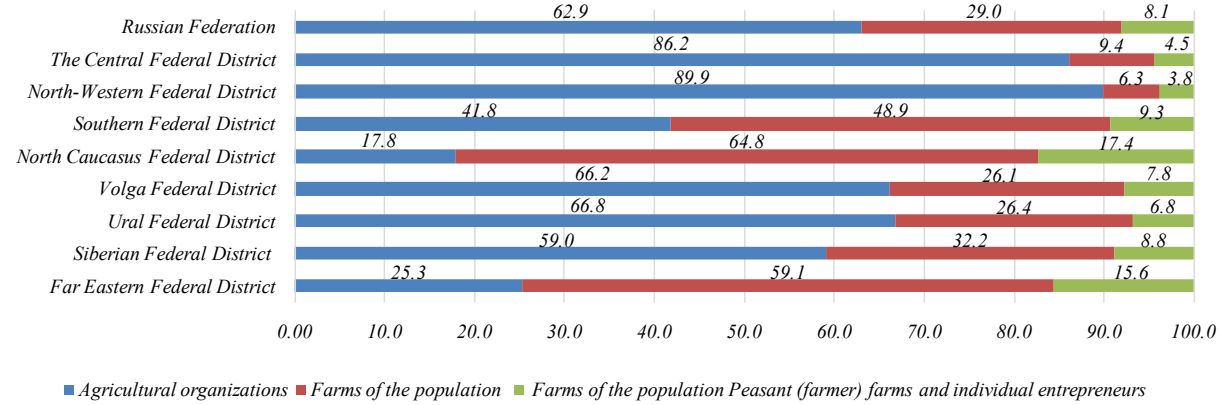


Fig. 1. Spatial structure of milk production by categories of farms, 2025
Source: compiled by the authors based on Rosstat data (https://rosstat.gov.ru /)

Основными производителями молока в большинстве федеральных округов РФ являются сельскохозяйственные организации (рис. 1).

За прошедшие пять лет их удельный вес в структуре производства в среднем вырос на 6,9 п. п. Наибольший прирост данной формы хозяйствования зафиксирован в Южном (+7,4 п. п.), Приволжском (+8,4 п. п.) и Дальневосточном (9,7 п. п.) федеральных округах.

По данным за 2025 год, наибольший удельный вес данной категории хозяйств сформирован в Центральном (86,2 %) и Северо-Западном (89,9 %) федеральных округах. Промежуточное положение занимают Приволжский (66,2 %), Уральский (66,8 %) и Сибирский (59 %) федеральные округа. Наименьшую долю общественного сектора имеют два федеральных округа: Северо-Кавказский (17,8) и Дальневосточный (25,3%).

При этом в 10 регионах удельный вес сельскохозяйственных организаций составляет 90 % и более. Это Владимирская (95,5 %), Вологодская (96,4 %), Калужская (96,4 %), Кировская (96,7 %), Рязанская (93,7 %), Ярославская (93,5 %) области, Республика Карелия (93,5 %), Архангельская (90,3 %), Ленинградская (93,9 %) и Мурманская (90,4 %) области.

В некоторых субъектах доля организаций составляет менее 10 %. Это Карачаево-Черкессия (7,8 %), республики Алтай (7,1 %), Бурятия (4,2 %), Ингушетия (3,5 %), Северная Осетия – Алания (3,1 %), Тыва (2,6 %), Забайкальский край (0,1 %).

Размещение молочного скотоводства определяется особенностями природно-климатических и экономических условий регионов, которые определяют возможности обеспечения эффективного производства молока, одновременно оказывая влияние на структуру потребления и конъюнктуру рынка, включая уровень и динамику цен в регионах.

Несмотря на давление неблагоприятных макроэкономических факторов (рост цен на энергоносители, оборудование и корма), отрасль демонстрирует положительную динамику рентабельности. По данным портала TEST FIRM, медианное значение уровня рентабельности продаж сырого коровьего молока сельскохозяйственными организациями с 2021 по 2025 год выросло с 1,7 % до 11,4 %. Прирост составил существенные 9,7 п. п., в т. ч. только за 2025 год – 8 п. п. Наибольший прирост и, соответственно, достигнутый уровень рентабельности получен крупными предприятиями, где по итогам 2025 года он составил 26,1 %. В секторе средних предприятий рентабельность продаж молока составила только 8,3 %, снизившись по отношению к предыдущему году на 0,5 п. п., в секторе малых предприятий – 12,3 % с приростом за год на 2,8 п. п.

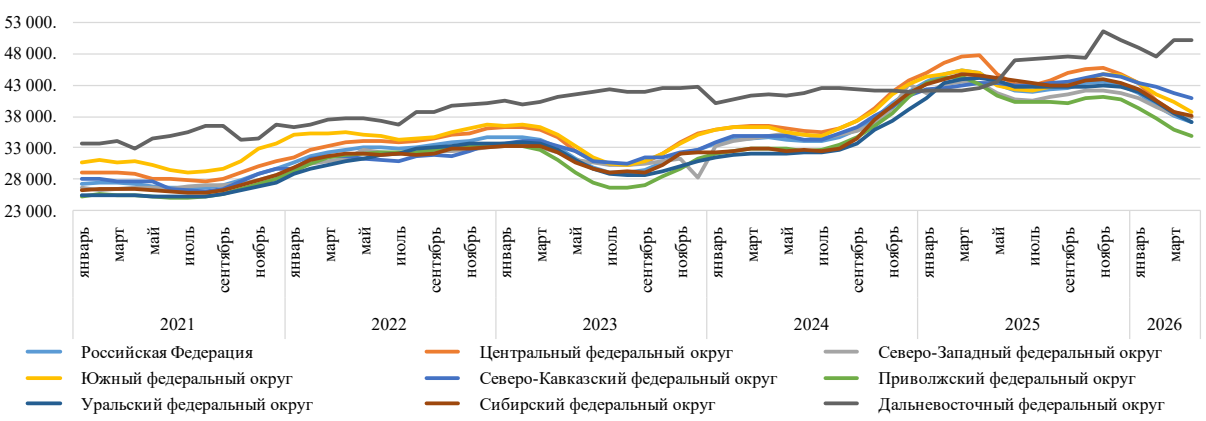


Рис. 2. Динамика цен на молоко, реализуемого сельскохозяйственными организациями
Источник: составлено авторами на основе данных Росстата (https://rosstat.gov.ru/)

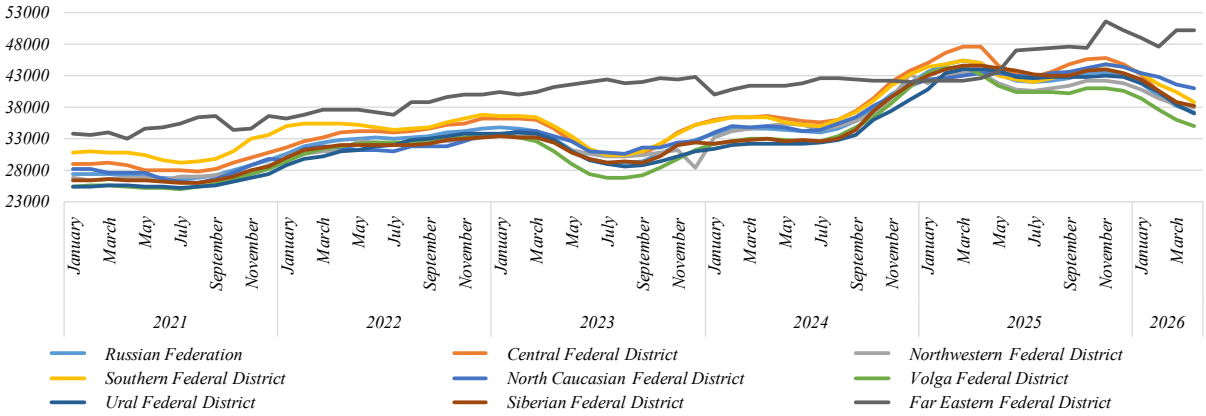


Fig. 2. The dynamics of milk prices sold by agricultural organizations
Source: compiled by the authors based on Rosstat data (https://rosstat.gov.ru/)

Основным фактором роста рентабельности выступила наблюдаемая положительная динамика цен на молоко, особенно в течение второй половины 2024 года и начале 2025 года (рис. 2).

Средняя цена 1 т сырого молока, реализованного сельскохозяйственными организациями РФ, выросла с 27 451,27 руб. в 2021 году до 43 362,35 руб. в 2025 году. Темп прироста составил 58 %, что в абсолютном выражении составило 15 911,08 рубля. Только за период с 2024 по 2025 год среднегодовой уровень цен увеличился на 7 561,47 руб., или 21,1 %, что существенно выше темпов инфляции в стране.

Наибольшими темпами на фоне снижения объемов производства растут цены на Урале и в Сибири. Индекс роста в течение пяти лет здесь составил 167,1 % и 164,3 %, в том числе только за последний год – 128,3 % и 127,2 % соответственно. Самый медленный рост цен зафиксирован на Дальнем Востоке (+31,2 %) и в Южном федеральном округе (+42,6 %).

Рост закупочных цен улучшает возможности производителей покрывать растущую себестоимость (корма, энергия, зарплаты) и формировать прибыль для реинвестирования в развитие: строительство новых ферм, закупку оборудования и обновление поголовья. В то же время опережающий рост цен на какай-либо товар (в данном случае – молоко) сокращает потребительскую способность населения приобретать этот товар, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на емкости рынка. Она в лучшем случае при прочих равных условиях не растет, а в худшем сокращается.

Подобная ситуация в результате формирует так называемый «парадокс перепроизводства», когда рост производства опережает платежеспособный спрос, что приводит к кризису перепроизводства и падению цен. Для переработчиков это выгодно, но для животноводов катастрофично: постоянные затраты остаются высокими, а доходы падают. Это запускает негативный цикл: низкий спрос → снижение цены → сокращение инвестиций и поголовья → падение предложения → последующий рост цен. Нечто подобное наблюдается в 2026 году, когда цена на сырое молоко снизилась на 10,8 % – с 41 696,51 руб. за 1 т в январе до 37 178,7 руб. в апреле.

Интервальные и различные по темпам тенденции изменения цен формируют высокий уровень их пространственной дифференциации (таблица 2).

Таблица 2

Статистические параметры пространственной дифференциации цены 1 т молока, реализуемого сельскохозяйственными организациями, 2025 год

Федеральные округа	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение	Асимметрия	Диапазон	Минимум	Максимум
Центральный	45 138,71	44 541,01	3 183,60	0,002	9 912,04	39 501,03	49 413,07
Северо-Западный	41 945,1	41 865,91	19 573,64	2,909	74 348,36	27 966,47	102 314,83
Южный	43 842,92	42 161,52	1 581,44	0,112	4 313,83	40 108,26	44 422,09
Северо-Кавказский	43 339,91	39 764,89	6 943,06	–1,815	19 777,63	24 727,44	44 505,07
Приволжский	41 683,7	42 032,56	1 619,66	–0,110	5 772,83	38 915,62	44 688,45
Уральский	42 976,46	44 013,64	7 150,76	1,999	18 895,69	41 288,25	60 183,94
Сибирский	43 699,73	42 449,26	4 273,81	0,154	13 421,16	36 591,40	50 012,56
Дальневосточный	45 677,27	47 216,63	12 388,08	1,332	38 315,03	39 419,94	77 734,97
Российская Федерация	43 707,65	42 243,05	10 062,26	3,075	77 587,39	24 727,44	102 314,83

Источник: рассчитано авторами на основе данных Росстата (https://rosstat.gov.ru/).

Table 2

Statistical parameters of spatial differentiation of price of 1 ton of milk sold by agricultural organizations, 2025

Federal districts	*Average*	*Median*	*Standard deviation*	*Skewness*	*Range*	*Minimum*	*Maximum*
Central	*45 138.71*	*44 541.01*	*3 183.60*	*0.002*	*9 912.04*	*39 501.03*	*49 413.07*
North-Western	*41 945.1*	*41 865.91*	*19 573.64*	*2.909*	*74 348.36*	*27 966.47*	*102 314.83*
Southern	*43 842.92*	*42 161.52*	*1 581.44*	*0.112*	*4 313.83*	*40 108.26*	*44 422.09*
North Caucasus	*43 339.91*	*39 764.89*	*6 943.06*	*–1.815*	*19 777.63*	*24 727.44*	*44 505.07*
Volga	*41 683.7*	*42 032.56*	*1 619.66*	*–0.110*	*5 772.83*	*38 915.62*	*44 688.45*
Ural	*42 976.46*	*44 013.64*	*7 150.76*	*1.999*	*18 895.69*	*41 288.25*	*60 183.94*
Siberian	*43 699.73*	*42 449.26*	*4 273.81*	*0.154*	*13 421.16*	*36 591.40*	*50 012.56*
Far Eastern	*45 677.27*	*47 216.63*	*12 388.08*	*1.332*	*38 315.03*	*39 419.94*	*77 734.97*
Russian Federation	*43 707.65*	*42 243.05*	*10 062.26*	*3.075*	*77 587.39*	*24 727.44*	*102 314.83*

Source: calculated by the authors based on Rosstat data (https://rosstat.gov.ru/).

Наиболее благоприятный для производителей уровень цен сложился на агропродовольственных рынках Центрального федерального округа, где средняя цена на молоко составила 45 138,71 руб. за 1 т, Сибирского (43 699,73 руб.), Южного (43 842,92 руб.) и Дальневосточного (45 677,27 руб.) федеральных округов. Регионы этих федеральных округов отличает также высокий уровень медианного значения цены. Наименее благоприятный уровень цен – в Северо-Западном (41 945,10 руб.) и Приволжском (41 683,7 руб.) федеральных округах.

Высокая пространственная неоднородность цен на рынке молока фиксируется в разрезе не только федеральных округов, но и отдельных субъектов федерации.

Максимальный диапазон пространственной дифференциации имеют регионы Северо-Западного и Дальневосточного федеральных округов, где он составляет 74 348,36 руб. и 77 587,39 руб. соответственно. Здесь наблюдаются самые высокие значения максимума цен в разрезе регионов (102 314,83 руб. и 77 734,97 руб.), определяющие и наивысшие параметры размаха вариации и стандартного отклонения.

Относительно более равномерным разбросом цен отличаются регионы четырех федеральных округов: Центрального, Южного, Приволжского и Сибирского. В них наблюдаются минимальные значения стандартного отклонения, асимметрии и размаха вариации, что свидетельствует о более однородных социально-экономических условиях в них.

Для оценки важности факторов, влияющих на формирование цены на региональном уровне, была использована нейросетевая модель на основе MLP. Для построения аналитической модели был сформирован массив данных из показателей, потенциально способных оказывать влияние на величину цены. Входными факторами модели выбраны следующие параметры: потребление молока и молочных продуктов, кг на душу населения в год (VAR00001); площадь территории, тыс. км^2 (VAR00002); численность населения на 1 января 2024 года, тыс. человек (VAR00003); среднегодовая численность занятых, тыс. человек (VAR00004); среднедушевые денежные доходы (в месяц), руб.

(VAR00005); потребительские расходы в среднем на душу населения (в месяц), руб. (VAR00006); среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций, руб. (VAR00007); суммарный коэффициент рождаемости, число детей (VAR00008); удельный вес городского населения (VAR00009); соотношение мужчин и женщин (VAR00010); доля населения моложе трудоспособного возраста, % (VAR00011); доля населения в трудоспособном возрасте, % (VAR00012); доля населения старше трудоспособного возраста, % (VAR00013); валовой надой, т (VAR00014); поголовье коров, голов (VAR00015); удельный вес производства молока сельскохозяйственными организациями, % (VAR00016); удой молока на 1 корову, кг (VAR00017). Выходной координатой модели является цена 1 т молока, руб. (VAR00018).

Пропуски данных локализованы посредством визуальной проверки в Data View. Для повышения устойчивости системы и снижения неопределенности в прогнозах проведена множественная импутация данных посредством реализации процедуры Impute Missing Data Values в SPSS.

С целью устранения возможных смещений результатов данные с различными масштабами признаков, не в равной степени влияющие на подбор модели, были нормализованы методом стандартного масштабирования: все признаки приведены к диапазону от 0 до 1. Нормализация гарантирует, что ни одна характеристика, особенно агрономическая, не влияет непропорционально на процесс обучения, что позволяет модели оценивать каждый предиктор на справедливой статистической основе во время обучения.

На базе сформированного обучающего массива данных по 78 регионам (с учетом выбросов) проведено обучение и тестирование нейросетевых моделей на основе многослойного перцептрона. Набор данных разделен на два отдельных подмножества в соответствии с принципами тестирования и обучения. Около 70 % данных предназначены для обучения, а оставшиеся 30 % – для проверки работоспособности модели. В результате было построено несколько рабочих моделей, каждая из которых продемонстрировала различные метрики качества. С целью оценки качества обучения моделей использовались стандартные метрики точности. Лучшие характеристики продемонстрировала модель на основе трехслойного перцептрона, состоящая из 11 единиц скрытого слоя. Общее количество нейронов модели – 1065. Функции активации скрытого слоя реализованы на основе гиперболического тангенса, выходного слоя – на основе тождества. Регуляризация реализована с помощью дропаута с коэффициентом +0,5. Зависимая переменная – цена 1 т молока, реализованного сельскохозяйственными организациями (VAR00018).

Сводка метрик лучшей нейросетевой модели приведена в таблице 3.

Обучение базовой многослойной нейронной сети с перцептроном сводится к минимизации функции ошибок путем многократного обновления весов. Средняя относительная ошибка лучшей модели составила 0,001. Это означает, что ожидаемое значение не соответствуют истинному значению в среднем на 0,1 % и модель эффективно использует информацию независимых переменных для прогнозирования.

Построенная нейросетевая модель анализа пространственной неоднородности цен на рынке молока позволила локализовать относительную важность признаков формирования цены реализации молока в процессе прогнозирования на региональных рынках (рис. 3).

Таблица 3

Значения метрик модели MLP нейронной сети

Сводка для модели		
Параметры обучения	Ошибка: сумма квадратов	0,033
	Относительная ошибка	0,001
	Используемое правило остановки	Получен критерий отношения погрешности обучения (0,001)
	Время обучения	00:00,75

Примечание. Зависимая переменная – VAR00018.
Источник: расчеты авторов.

Table 3

Metric values of the MLP neural network model

Summary for the model		
Training parameters	*Error: sum of squares*	*0.033*
	Relative error	*0.001*
	The stopping rule used	*Criterion of the learning error ratio (0.001) was obtained*
	Training time	*00:00.75*

Note. Dependent variable – VAR00018.
Source: the authors' calculations.

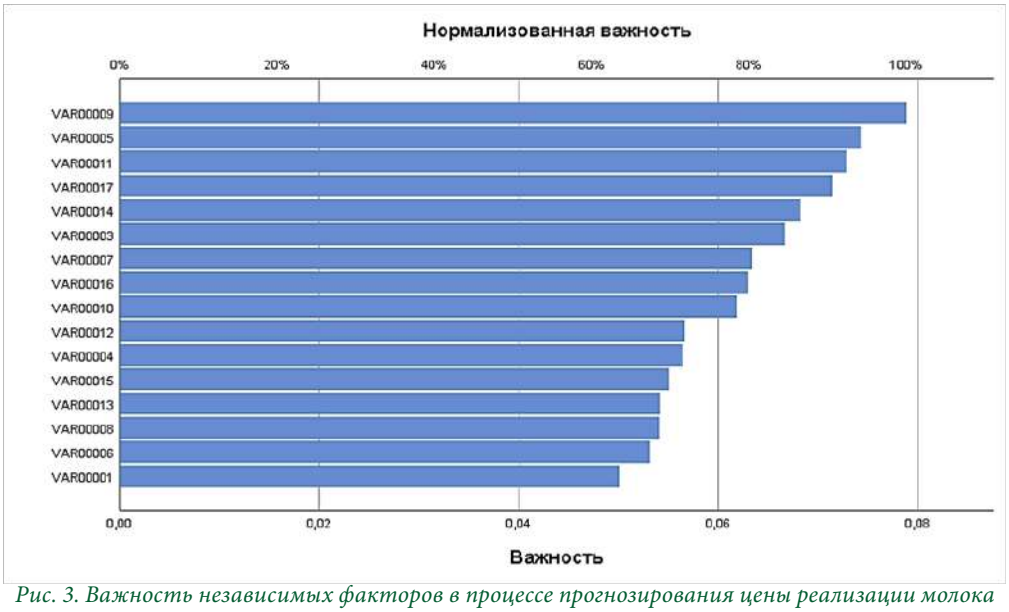


Рис. 3. Важность независимых факторов в процессе прогнозирования цены реализации молока
Источник: расчеты авторов

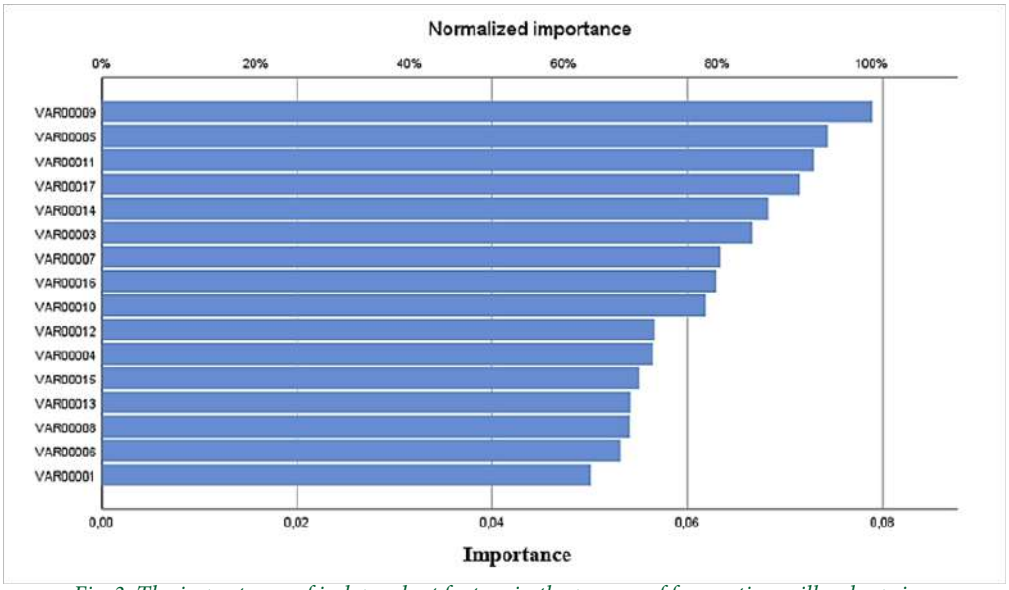


Fig. 3. The importance of independent factors in the process of forecasting milk sales prices
Source: the authors' calculations

Такими факторами на региональном уровне выступают удельный вес городского населения (VAR00009, *NI* = 0,079), среднедушевые денежные доходы (VAR00005, *NI* = 0,074), доля населения моложе трудоспособного возраста (VAR00011, *NI* = 0,073), удой молока на 1 корову (VAR00017, *NI* = 0,071), численность населения региона (VAR00003, *NI* = 0,067) и валовой надой молока в регионе (VAR00014, *NI* = 0,068). Численность и структурные показатели населения формируют целевую аудиторию потребителей молока, среднедушевые денежные доходы влияют на потенциальную величину платежеспособности населения, удой молока на 1 корову косвенно определяет уровень себестоимости продукции, а валовой надой отражает объемы предложения молока на рынке.

Именно эти факторы могут служить основой прогнозирования при аппроксимации значений цен на сырое молоко, реализуемое сельскохозяйственными организациями, и одновременно предикторами совершенствования конъюнктуры рынка. Остальные факторы имеют меньшее значение для формирования цены, хотя сбрасывать их со счетов в процессе экономического анализа и прогнозирования не следует.

Визуально фактические и смоделированные ожидаемые значения потенциала устойчивого развития сельского хозяйства представлены на рисунке 4.

Поле распределения совокупностей фактических данных и предсказанных значений цены указывает на непосредственную и, вероятно, линей-

ную связь между представленными значениями. Данные имеют относительно низкий уровень дисперсии; фактическое смещение цены наблюдается в сторону как повышения, так и снижения от ожидаемых значений. Коэффициент корреляции Пирсона фактических и прогнозных значений 0,997 с уровнем значимости $p = 0{,}0001$.

Цены не формируются сами по себе: их уровень является отражением сложившейся рыночной ситуации. Рассмотренные факторы являются элементами внешней среды и являются экзогенными по своей сути по отношению к производителям молока. Они оказывают существенное воздействие на формирование конъюнктуры рынка, но повлиять на них отдельные товаропроизводители не в состоянии. Они могут в большей или меньшей степени учесть, спрогнозировать действие этих факторов при формировании и достижении поставленных целей.

Понимание факторов ценообразования на региональных рынках молока – это не просто инструмент прогнозирования, а фундаментальная необходимость для выживания и развития всей цепочки молочной индустрии. Прогноз цен служит основой любого бизнес-планирования и операционных решений. Если прогноз указывает на стагнацию или падение цен, логично вкладываться в снижение себестоимости, а не в расширение производства. Это позволяет компаниям заранее планировать закупки кормов, удобрений и других ресурсов, искать новые рынки сбыта и диверсифицировать производство.

В то же время на региональном и федеральном уровнях рассмотренные факторы являются эндогенными по своему характеру проявления, т. е. теми, на которые государство может и должно оказывать влияние с целью стабилизации рынков и сглаживания ценовых шоков. Прогноз цен должен служить основой разработки мер субсидирования производства молока, льготного кредитования и государственной поддержки инвестиций.

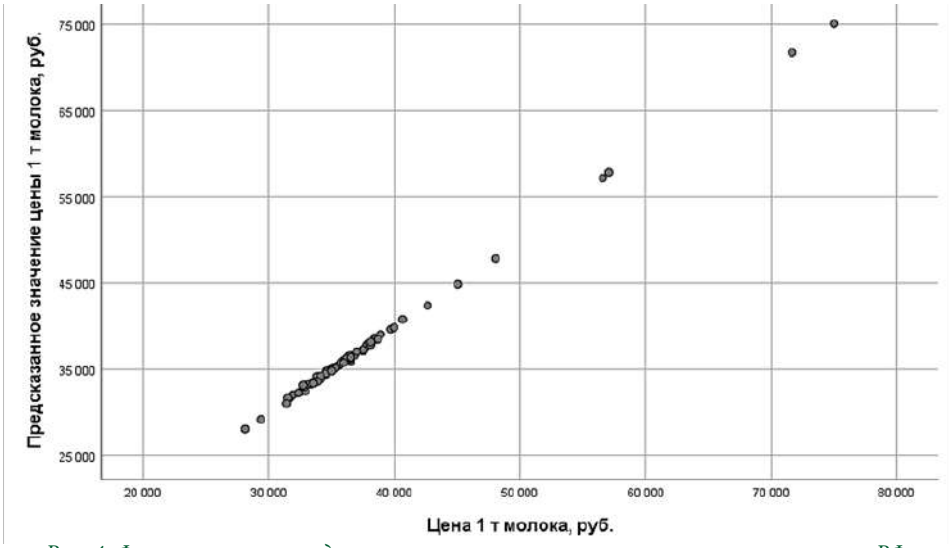


Рис. 4. Фактические и ожидаемые значения цены реализации молока в регионах РФ
Источник: расчеты авторов

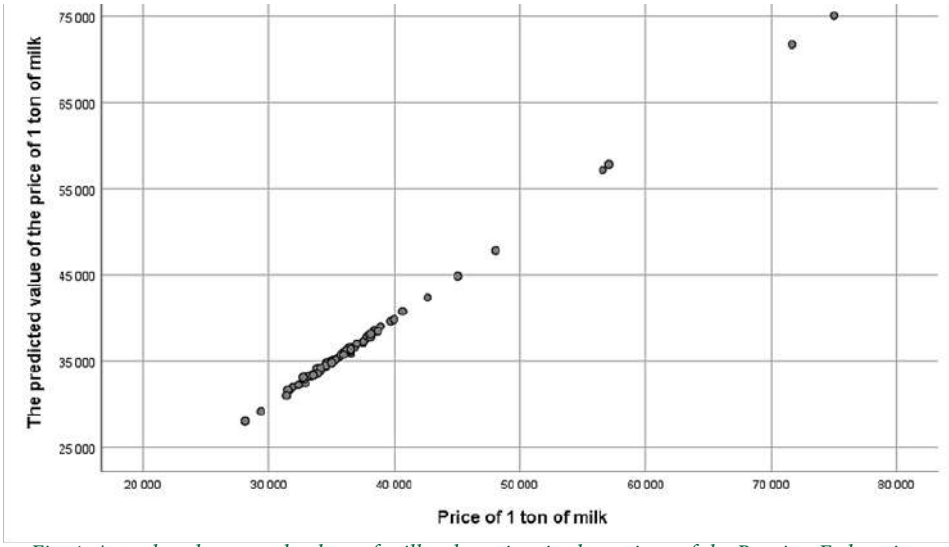


Fig. 4. Actual and expected values of milk sales prices in the regions of the Russian Federation
Source: the authors' calculations

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенный анализ показывает сложную взаимозависимость между ценами на молоко и развитием скотоводства. Высокие цены необходимы для покрытия растущей себестоимости, но их чрезмерный рост бьет по потребителю и перерабатывающей промышленности. Низкие же цены лишают производителей средств для инвестиций, приводя к деградации молочного скотоводства. В последние годы в России наблюдается увеличение объемов производства молока в сельскохозяйственных организациях и одновременное сокращение поголовья. В стратегии развития товаропроизводители ориентируются преимущественно на экономию затрат и снижение себестоимости.

Оценка статистических параметров пространственной дифференциации свидетельствует о существенной неоднородности не только среди федеральных округов, но и внутри каждого из них. Максимальный диапазон дифференциации имеют регионы Северо-Западного и Дальневосточного федеральных округов, где самые высокие значения размаха вариации и асимметрии цен. Относительно более равномерным разбросом цен отличаются регионы четырех федеральных округов: Центрального, Южного, Приволжского и Сибирского, – в которых наблюдаются минимальные значения стандартного отклонения, асимметрии и размаха вариации, что свидетельствует о более однородных социально-экономических условиях.

Наиболее значимое влияние на уровень цен регионального рынка сырого молока оказывают удельный вес городского населения, среднедушевые денежные доходы, доля населения моложе трудоспособного возраста, удой молока на 1 корову, численность населения региона и валовой надой молока в регионе. Именно эти факторы могут служить основой прогнозирования при аппроксимации значений цен на сырое молоко, реализуемое сельскохозяйственными организациями, а также предикторами совершенствования конъюнктуры рынка.

Библиографический список

1. Шарапова Н. В., Шарапова В. М., Шарапов Ю. В. Господдержка сельхозтоваропроизводителей и ее роль в развитии молочного скотоводства // АПК: экономика, управление. 2022. № 11. С. 74–80. DOI: 10.33305/2211-74.

2. Святова О. В., Добринова Т. В., Наджафова М. Н. [и др.]. Эффективность организаций молочной отрасли Курского региона // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 7. С. 109–116.

3. Листов Б. Генетика и инвестиции: что необходимо для развития молочной отрасли [Электронный ресурс] // РБК. 5 февраля 2026. URL: https://www.rbc.ru/industries/news/6981e70a9a79474a1d1455e1 (дата обращения: 05.06.2026).

4. Наседкина Т. И., Черных А. И., Демешева И. А. Учетно-аналитическая информация как основа управления себестоимостью продукции молочного скотоводства // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2024. № 1 (41). С. 85–92.

5. Соболев О. С. Территориально-экономическая модель рентабельности производства молока в регионах России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2024. № 4. С. 20–26. DOI: 10.31442/0235-2494-2024-0-4-20-26.

6. Овсянко Л. А., Майер Р. В. Оценка эффективности производства и реализации молока в регионе на основе факторной модели // Продовольственная политика и безопасность. 2025. Т. 12, № 1. С. 171–182. DOI: 10.18334/ppib.12.1.122658.

7. Schorr A., Lips M. Influence of milk yield on profitability – a quantile regression analysis // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, Iss. 9. Pp. 8350–8368. DOI: 10.3168/jds.2018-14434.

8. Александрова Н. Р., Субаева А. К., Мавлиева Л. М., Титов Н. Л. Тенденции и перспективы развития производства молока // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15, № 1 (57). С. 94–98. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-94-98.

9. Hanrahan L., McHugh N., Hennessy T., Moran B., Kearney R., Wallace M., Shalloo L. Factors associated with profitability in pasture-based systems of milk production // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, Iss. 6. Pp. 5474–5485. DOI: 10.3168/jds.2017-13223.

10. Ситникова О. В., Филимонова Ю. Н., Воробьев С. П., Воробьева В. В. Статистический анализ финансовых результатов организаций производства молочной продукции Алтайского края // Вопросы статистики. 2024. Т. 31, № 1. С. 43–54. DOI: 10.34023/2313-6383-2024-31-1-43-54.

11. Измалков А. А., Шилова Н. П. Животноводство Воронежской области: современное состояние, проблемы и направления их решения // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 4 (79). С. 185–195. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_4_185.

12. Кибкало Л. И. Перспективы развития молочного скотоводства в Центрально-Черноземном регионе // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2020. № 4 (18). С. 117–123.

13. Цыбина В. В., Святова О. В., Ноздрачева Е. Н. Эффективность интенсификации производства молока // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 9. С. 229–233.

14. Аванесян Д. Н. Факторы экономической эффективности отечественного молочного скотоводства // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 100. С. 15–21. DOI: 10.21515/1999-1703-100-15-21.

15. Скворцова Е. Г., Чепуштанова О. В. Влияние роботизированного доения коров на эффективность производства молока // Аграрный вестник Урала. 2022. № 1 (216). С. 66–75. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-66-75.

16. Терновых К. С., Китаев Ю. А. Оценка эффективности функционирования молочного скотоводства в сельскохозяйственных организациях ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14, № 3 (70). С. 141–146. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_141.

17. Воробьев С. П., Макулова А. Т. Моделирование рентабельности производства сельскохозяйственных организаций в составе агрохолдингов региона // Экономическое развитие региона: управление, инновации, подготовка кадров. 2020. № 7. С. 75–79.

18. Грибкова А. В. Оценка развития и размещения молочного скотоводства в регионе // Финансовый менеджмент. 2024. № 6. С. 35–46.

19. Олейник А. Н., Тонкая А. В. Анализ эффективности молочного животноводства (на примере АО фирма «Агрокомплекс») // Заметки ученого. 2021. № 11-1. С. 161–166.

20. Wolf C. A. Understanding the milk-to-feed price ratio as a proxy for dairy farm profitability // Journal of Dairy Science. 2010. Vol. 93, Iss. 10. Pp. 4942–4948. DOI: 10.3168/jds.2009-2998.

21. Васильева О. Г., Деревянных Е. А. Моделирование и прогнозирование цены на молоко в регионе (на примере Чувашской Республики) // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 8. С. 95–101. DOI: 10.32651/238-95.

22. Светлов Н. М., Маслова В. В., Зарук Н. Ф. Анализ цен производителей в сценариях поддержки инвестиций в молочное скотоводство // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2025. № 12 (131). С. 56–67. DOI: 10.33938/2512-56.

23. Guo Y., Tang D., Tang W., Yang S., Tang Q., Feng Y., Zhang F. Agricultural price prediction based on combined forecasting model under spatial-temporal influencing factors // Sustainability (Switzerland). 2022. Vol. 14, No. 17. DOI: 10.3390/su141710483.

24. Молочное животноводство: первый шаг на пути интенсификации производства (пресс-конференция В. В. Лабинова) // Молочная промышленность. 2013. № 2. С. 4–6.

25. Espinoza-Sandoval O. R., Calsamiglia S. Modeling the profitability of investing in cooling systems in dairy farms under several intensities of heat stress in the Mediterranean // Journal of Dairy Science. 2023. Vol. 106, Iss. 8. Pp. 5485–5500. DOI: 10.3168/jds.2022-22816.

26. Грудкина М. А. Совершенствование системы государственной поддержки молочного скотоводства: дис. … канд. экон. наук. Москва, 2019, 212 с.

27. Chatterjee A., Saha J., Mukherjee J. Clustering with multi-layered perceptron // Pattern Recognition Letters. 2022. No. 155. Pp. 92–99. DOI: 10.1016/j.patrec.2022.02.009

28. Shang Y., Liu X., Zhang H., Sun Y., Huang L., Guo J. Regional marine geoid modelling by integrating multi-source marine geodetic data with multi-layer perceptron method // Advances in Space Research. 2026. Vol. 77, No. 4. Pp. 4489–4505. DOI: 10.1016/j.asr.2025.12.016.

29. Дубовицкий А. А., Климентова Э. А., Бабкина Е. С. Подходы и информационная составляющая экономического прогнозирования с использованием искусственных нейронных сетей // Экономика сельского хозяйства России. 2026. № 2. С. 67–73. DOI: 10.32651/262-67.

30. Дубовицкий А. А., Климентова Э. А., Бабкина Е. С. Теоретико-методические основы нейросетевого прогнозирования параметров функционирования агропродовольственной системы // Journal of New Economy. 2025. Т. 26, № 3. С. 124–146. DOI: 10.29141/2658-5081-2025-26-3-7.

31. Dubovitski A. A., Klimentova E. A., Rogov M. A. Applicability of machine learning models using a neural network for predicting the parameters of the development of food markets // Journal of Process Management and New Technologies. 2022. Vol. 10, No. 3-4. Pp. 93–105. DOI: 10.5937/jpmnt10-41317.

32. Воробьев С. П., Воробьева В. В., Клецкова Е. В., Савченко А. С. Тенденции пространственного размещения и эффективности производства молока в Алтайском крае // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 4 (83). С. 251–260. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_251.

Об авторах:

Александр Алексеевич Дубовицкий, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры экономики и коммерции, заведующий научно-исследовательской лабораторией экономического прогнозирования,

Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Тамбовская область, Россия; ORCID 0000-0003-4542-1119, AuthorID 315247. *E-mail: daa1-408@yandex.ru*

Эльвира Анатольевна Климентова, доктор экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики и коммерции, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экономического прогнозирования, Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Тамбовская область, Россия; ORCID 0000-0001-7628-7181, AuthorID 343886. *E-mail: klim1-408@yandex.ru*

Владислав Александрович Шацкий, аспирант, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории экономического прогнозирования, Мичуринский государственный аграрный университет, Мичуринск, Тамбовская область, Россия; ORCID 0009-0006-0354-8022, AuthorID 1224845. *E-mail: site.mgau@yandex.ru*

References

1. Sharapova N. V., Sharapova V. M., Sharapov Yu. V. State support for agricultural producers and its role in the development of dairy cattle breeding. *AIC: Economics, Management*. 2022; 11: 74–80. DOI: 10.33305/2211-74. (In Russ.)

2. Svyatova O. V., Dobrinova T. V., Nadzhafova M. N., et al. Efficiency of organizations in the dairy industry of the Kursk region. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2021; 7: 109–116. (In Russ.)

3. Listov B. Genetics and investments: what is necessary for the development of the dairy industry. *RBC*. February 5, 2026 [Internet] [cited 2026 May 06]. Available from: https://www.rbc.ru/industries/news/6981e70a9a79474a1d1455e1. (In Russ.)

4. Nasedkina T. I., Chernykh A. I., Demesheva I. A. Accounting and analytical information as a basis for managing the cost of dairy cattle production. *Innovations in Agriculture: Problems and Prospects*. 2024; 1 (41): 85–92. (In Russ.)

5. Sobolev O. S. Territorial and economic model of profitability of milk production in the regions of Russia. *Economics of Agricultural and Processing Enterprises*. 2024; 4: 20–26. DOI: 10.31442/0235-2494-2024-0-4-20-26. (In Russ.)

6. Ovsyanko L. A., Mayer R. V. Evaluation of the efficiency of milk production and sale in the region based on a factor model. *Food Policy and Safety*. 2025; 12 (1): 171–182. DOI: 10.18334/ppib.12.1.122658. (In Russ.)

7. Schorr A., Lips M., Influence of milk yield on profitability – a quantile regression analysis. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101 (9): 8350–8368. DOI: 10.3168/jds.2018-14434.

8. Aleksandrova N. R., Subaeva A. K., Mavlieva L. M., Titov N. L. Trends and prospects of milk production development. *Bulletin of Kazan State Agrarian University.* 2020; 15 (7): 94–98. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-94-98. (In Russ.)

9. Hanrahan L., McHugh N., Hennessy T., Moran B., Kearney R., Wallace M., Shalloo L. Factors associated with profitability in pasture-based systems of milk production. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101 (6): 5474–5485. DOI: 10.3168/jds.2017-13223.

10. Sitnikova O. V., Filimonova Yu. N., Vorobyev S. P., Vorobyeva V. V. Statistical analysis of financial results of dairy production organizations in the Altai Territory. *Statistical Issues*. 2024; 31 (1): 43–54. DOI: 10.34023/2313-6383-2024-31-1-43-54. (In Russ.)

11. Izmalkov A. A., Shilova N. P. Animal husbandry of the Voronezh region: current state, problems and directions of their solution. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University.* 2023; 16 (4): 185–195. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_4_185. (In Russ.)

12. Kibkalo L. I. Prospects for the development of dairy cattle breeding in the Central Chernozem region. *Actual Issues of Agricultural Biology*. 2020; 4 (18): 117–123. (In Russ.)

13. Tsybina V. V., Svyatova O. V., Nozdracheva E. N. Efficiency of milk production intensification. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2023; 9: 229–233. (In Russ.)

14. Avanesyan D. N. Digitalization as an efficiency factor in the domestic dairy cattle breeding. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022; 100: 15–21. DOI: 10.21515/1999-1703-100-15-21. (In Russ.)

15. Skvortsova E. G., Chepushtanova O. V. Influence of robotic milking of cows on milk production efficiency. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2022; 1 (216): 66–75. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-66-75. (In Russ.)

16. Ternov K. S., Kitaev Yu. A. Evaluation of the effectiveness of dairy cattle breeding in agricultural organizations of the Central Asian Republic. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2021; 14 (3): 141–146. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_141. (In Russ.)

17. Vorobyev S. P., Makulova A. T. Modeling the profitability of production of agricultural organizations as part of agricultural holdings in the region. *Economic Development of the Region: Management, Innovation, Personnel Training.* 2020; 7: 75–79. (In Russ.)

18. Gribkova A. V. Assessment of the development and placement of dairy cattle breeding in the region. *Financial Management*. 2024; 6: 35–46. (In Russ.)

19. Oleynik A. N., Tonkaya A. V. Analysis of the effectiveness of dairy farming (using the example of Agrocomplex JSC). *Notes of a Scientist*. 2021; 11-1: 161–166. (In Russ.)

20. Wolf C. A. Understanding the milk-to-feed price ratio as a proxy for dairy farm profitability. *Journal of Dairy Science*. 2010; 93 (10): 4942–4948. DOI: 10.3168/jds.2009-2998.

21. Vasilyeva O. G., Derevyannyy E. A. Modeling and forecasting of milk prices in the region (on the example of the Chuvash Republic). *Economics of Agriculture in Russia.* 2023; 8: 95–101. DOI: 10.32651/238-95. (In Russ.)

22. Svetlov N. M., Maslova V. V., Zaruk N. F. Analysis of producer prices in scenarios to support investments in dairy cattle breeding. *Economics, Labor, Management in Agriculture.* 2025; 12 (131): 56–67. DOI: 10.33938/2512-56. (In Russ.)

23. Guo Y., Tang D., Tang W., Yang S., Tang Q., Feng,Y., Zhang F. Agricultural price prediction based on combined forecasting model under spatial-temporal influencing factors. *Sustainability (Switzerland).* 2022; 14 (17): 10483. DOI: 10.3390/su141710483.

24. Dairy farming: the first step towards production intensification (Press conference by V. V. Labinov). *Dairy Industry*. 2013; 2: 4–6. (In Russ.)

25. Espinoza-Sandoval O. R., Calsamiglia S. Modeling the profitability of investing in cooling systems in dairy farms under several intensities of heat stress in the Mediterranean. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106 (8): 5485–5500. DOI: 10.3168/jds.2022-22816.

26. Grudkina M. A. *Improving the system of state support for dairy cattle breeding: dissertation ... candidate of economic sciences.* Moscow, 2019. 212 p. (In Russ.)

27. Chatterjee A., Saha J., Mukherjee J. Clustering with multi-layered perceptron. *Pattern Recognition Letters*. 2022; 155: 92–99. DOI: 10.1016/j.patrec.2022.02.009.

28. Shang Y., Liu X., Zhang H., Sun Y., Huang L., Guo J. Regional marine geoid modelling by integrating multi-source marine geodetic data with multi-layer perceptron method. *Advances in Space Research*. 2026; 77 (4): 4489–4505. DOI: 10.1016/j.asr.2025.12.016.

29. Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A., Babkina E. S. Approaches and information component of economic forecasting using artificial neural networks. *Economics of Agriculture in Russia.* 2026; 2: 67–73. DOI: 10.32651/262-67. (In Russ.)

30. Dubovitskiy A. A., Klimentova E. A., Babkina E. S. Theoretical and methodological foundations of neural network forecasting of parameters of functioning of the agro-food system. *Journal of New Economy*. 2025; 26 (3): 124–146. DOI: 10.29141/2658-5081-2025-26-3-7. (In Russ.)

31. Dubovitski A. A., Klimentova E. A., Rogov M. A. Applicability of machine learning models using a neural network for predicting the parameters of the development of food markets. *Journal of Process Management and New Technologies.* 2022; 10 (3-4): 93–105. DOI: 10.5937/jpmnt10-41317.

32. Vorobyev S. P., Vorobyeva V. V., Kletskova E. V., Savchenko A. S. Trends in spatial distribution and efficiency of milk production in the Altai Territory. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2024; 17 (4): 251–260. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_4_251. (In Russ.)

Authors' information:

Aleksandr A. Dubovitskiy, doctor of economic sciences, associate professor, professor of the department of economics and commerce, head of the research laboratory of economic forecasting, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Tambov region, Russia; ORCID 0000-0003-4542-1119, AuthorID 315247.
E-mail: daa1-408@yandex.ru

Elvira A. Klimentova, doctor of economic sciences, associate professor, associate professor of economics and commerce, senior researcher at the research laboratory of economic forecasting, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Tambov region, Russia; ORCID 0000-0001-7628-7181, AuthorID 343886.
E-mail: klim1-408@yandex.ru

Vladislav A. Shatskiy, postgraduate, junior researcher at the research laboratory of economic forecasting, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Tambov region, Russia; ORCID 0009-0006-0354-8022, AuthorID 1224845. *E-mail: site.mgau@yandex.ru*

УДК 631.115.1
Код ВАК 5.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2070-2080

Крестьянские (фермерские) хозяйства как драйвер развития аграрной экономики Омской области

О. В. Косенчук✉, **Н. Л. Сысоев**
Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, Омск, Россия
✉*E-mail: ov.kosenchuk@omgau.org*

Аннотация. В статье исследуется роль крестьянских (фермерских) хозяйств (К(Ф)Х) в развитии аграрного сектора экономики Омской области. Аграрная экономика регионов Западной Сибири в ближайшие десятилетия развивается за счет малого и среднего аграрного бизнеса. Фермерский бизнес играет ключевую роль в агропромышленном комплексе Омской области, обеспечивая более четверти объема производимой сельскохозяйственной продукции в 2019–2023 гг. Их вклад особенно заметен как в растениеводстве, особенно по зерновым и масличным культурам, так и в производстве животноводческой продукции. В условиях внешнего санкционного давления и необходимости обеспечения импортозамещения со стороны агробизнеса фермерские хозяйства становятся драйвером развития аграрной экономики Омской области и основой продовольственной безопасности региона. **Цель** исследования – проанализировать роль К(Ф)Х в динамике аграрной экономики Омской области, выявить тенденции их развития, оценить эффективность государственной поддержки и перспективы роста сектора. **Методы.** В ходе исследования применялись методы статистического наблюдения, сравнительного анализа, были рассчитаны показатели структуры и динамики. **Результаты.** Подчеркивается, что развитие крестьянских фермерских хозяйств не только способствует увеличению производства сельскохозяйственной продукции, но и играет ключевую роль в создании рабочих мест, улучшении качества жизни на селе и обеспечении продовольственной безопасности Омской области. **Научная новизна.** Выявлены экономические, социальные, экологические и институциональные факторы, влияющие на развитие крестьянских фермерских хозяйств в Омской области. Проведен анализ изменений в агропроизводстве региона за последние годы, выявлены ключевые проблемы и тенденции, с которыми сталкиваются фермеры. Полученные результаты позволяют более глубоко понять многогранные аспекты развития фермерских хозяйств, что, в свою очередь, может служить основой для выработки эффективных стратегий государственной поддержки и повышения социальной ответственности в аграрном секторе экономики.

Ключевые слова: аграрный бизнес, крестьянские (фермерские) хозяйства, Омская область, аграрная экономика, сельскохозяйственная продукция, государственная поддержка

Для цитирования: Косенчук О. В., Сысоев Н. Л. Крестьянские (фермерские) хозяйства как драйвер развития аграрной экономики Омской области // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 2070–2080. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2070-2080.

Дата поступления статьи: 30.03.2026, ***дата рецензирования:*** 14.07.2026, ***дата принятия:*** 02.09.2026.

© Косенчук О. В., Сысоев Н. Л., 2026

Peasant farms as a driver of agricultural economic development in the Omsk region

O. V. Kosenchuk✉, **N. L. Sysoev**
Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russia
✉*E-mail: ov.kosenchuk@omgau.org*

Abstract. The article examines the role of peasant farms in the development of the agricultural sector of the Omsk region's economy. The agricultural economy of the regions of Western Siberia in the coming decades is developing at the expense of small and medium-sized agricultural businesses. Farmers' businesses play a key role in the agro-industrial complex of the Omsk region, providing more than a quarter of the volume of agricultural products produced in 2019–2023. Their contribution is particularly noticeable both in crop production, especially for cereals and oilseeds, and in the production of livestock products. In the conditions of external sanctions pressure and the need to ensure import substitution on the part of agribusiness, farms are becoming a driver for the development of the agricultural economy of the Omsk region and the basis for food security in the region. **The purpose** of the study is to analyze the role of peasant farms in the dynamics of the agricultural economy of the Omsk region, to identify trends in their development, to assess the effectiveness of state support and prospects for the growth of the sector. **Methods.** In the course of the study, the following methods were used: statistical observation, comparative analysis, and indicators of structure and dynamics were calculated. **Results.** It is emphasized that the development of peasant farms not only contributes to an increase in agricultural production, but also plays a key role in creating jobs, improving the quality of life in rural areas and ensuring food security in the Omsk region. **Scientific novelty.** The economic, social, environmental and institutional factors influencing the development of peasant farms in the Omsk region have been identified. The analysis of changes in agricultural production in the region in recent years has been carried out, key problems and trends faced by farmers have been identified. The results obtained allow for a deeper understanding of the multifaceted aspects of farm development, which, in turn, can serve as a basis for developing effective strategies for government support and increasing social responsibility in the agricultural sector of the economy.

Keywords: agricultural business, peasant farms, Omsk Region, agricultural economy, agricultural products, state support

For citation: Kosenchuk O. V., Sysoev N. L. Peasant farms as a driver of the Omsk region's agrarian economy development. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 2070–2080. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2070-2080. (In Russ.)

Date of paper submission: 30.03.2026, ***date of review:*** 14.07.2026, ***date of acceptance:*** 02.09.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Субъекты малого и среднего предпринимательства в аграрном секторе экономики в прошедшие десятилетия стали градообразующими предприятиями многих сельских территорий в Сибирском федеральном округе.

Основным звеном малого агробизнеса в Омской области являются крестьянские (фермерские) хозяйства (далее – К(Ф)Х), обеспечивающие занятость сельского населения и поддержку дорожной инфраструктуры.

В условиях, когда агрессивные вызовы недружественных стран направлены на подрыв устойчивости отечественной экономики на макроуровне, в том числе за счет снижения уровня продовольственной безопасности, именно фермерские хозяйства стали авангардом сельского бизнеса в Западной Сибири. При этом К(Ф)Х не только не снижают темпов роста производства сельскохозяйственной продукции, но и постоянно находят оптимальные решения сложных управленческих и финансовых ситуаций ведения агробизнеса в лучших традициях российского крестьянства [1].

В связи с этим аналитическое исследование экономических аспектов фермерского движения Омской области приобретает особенную актуальность.

Методология и методы исследования (Methods)

В ходе подготовки научного исследования посредством осуществления статистического наблюдения, проведенного за период 2019 – 2023 годов, выполнен сравнительный анализ производства сельскохозяйственной продукции в К(Ф)Х Омской области. За каждый год исследуемого периода рассчитаны показатели структуры и динамики (в том числе цепные индексы) по отраслям растениеводства и животноводства. Примененный методический инструментарий позволил определить результативность функционирования К(Ф)Х как драйвера развития аграрной экономики Омской области [2; 3].

© Kosenchuk O. V., Sysoev N. L., 2026



Рис. 1. Факторы, влияющие на развитие крестьянских (фермерских) хозяйств и сельских индивидуальных предпринимателей в России

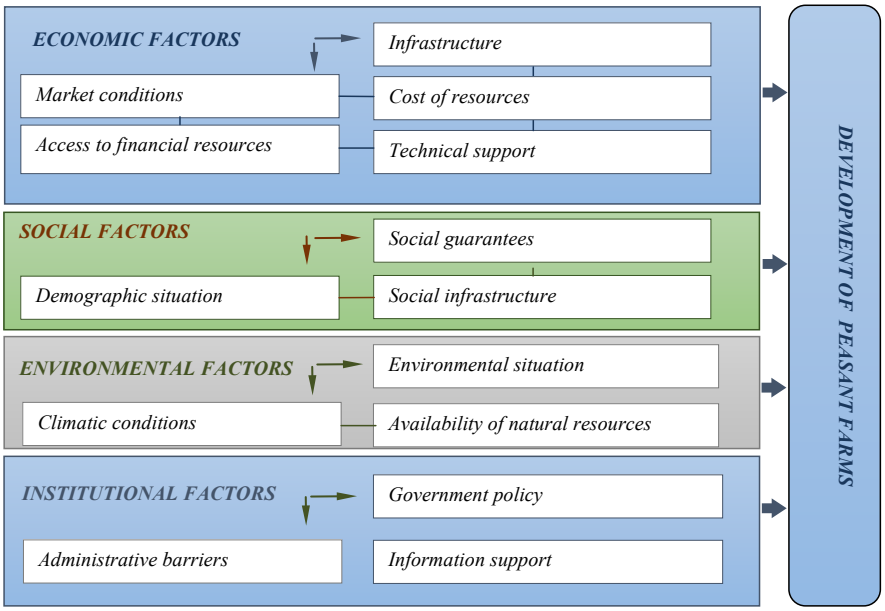


Fig. 1. Factors influencing the development of peasant farms and rural individual entrepreneurs in Russia

Результаты (Results)

Развитие К(Ф)Х играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности, поддержании экономической и социальной стабильности и является фундаментом для развития сельских территорий. В свою очередь, развитие К(Ф)Х обеспечивают ряд факторов, базой для реализации которых стала экономическая составляющая. Инфраструктурные особенности в сельских территориях, связанные с наличием качественных дорог и современных складских помещений для хранения продукции, доступности энергоносителей, влияют на уровень затрат и эффективность аграрного производства [4]. Также авторы считают, что в условиях дефицита кадров в агробизнесе немаловажными факторами, способствующими успешному развитию К(Ф)Х, являются техническое обеспечение производства, наличие современной сельскохозяйственной техники, ее доступность и стоимость обслуживания (рис. 1).

По мнению авторов, одними из весомых аспектов, оказывающих прямое и косвенное влияние на развитие К(Ф)Х, считаются *социальные* факторы. Нехватка квалифицированных кадров, связанная с миграционным оттоком молодежи в города и старением сельского населения, приводит к дефициту специалистов аграрных профессий (агрономов, ветеринаров, механизаторов). Вместе с тем доступность качественной медицинской помощи на селе, наличие современных школ и детских садов, культурных учреждений и спортивных объектов создают объективные причины по формированию у людей желания жить и работать в сельской местности [5].

В условиях, когда сельскохозяйственное производство относится к зоне рискованного земледелия, для малых форм хозяйствования большое значение имеют природно-климатические факторы: резкое изменение погодных условий, наводнения, засухи, заморозки; плодородие почвы по содержанию гумуса, наличие питательных веществ и ее кислотность; доступность водных ресурсов для орошения полей. Немаловажную роль в деятельности К(Ф)Х играют неблагоприятные экологические ситуации, обостряющие проблемы загрязнения почвы, воды и воздуха химическими веществами; утилизации отходов производства, провоцирующие, в свою очередь, снижение эффективности аграрного производства [6].

Непосредственное влияние на развитие малых и средних организаций в сельском хозяйстве оказывают институциональные факторы. Особенности государственной политики в сфере законодательства, регулирования и господдержки способствуют у хозяйствующих субъектов в агробизнесе формированию системы мотивации к предпринимательской деятельности, готовности внедрять новые технологии и методы ведения хозяйства, стимулируют приток инвестиций в производство [7].

Развитие К(Ф)Х – это сложный и многогранный процесс, который зависит от взаимодействия большого количества факторов. Для обеспечения их устойчивого развития необходимо создавать благоприятную экономическую, социальную и институциональную среду, поддерживать их финансово, обеспечить техническую и информационную поддержку, а также параллельно способствовать формированию и совершенствованию предпринимательских компетенций у фермеров.

Только при таком комплексном и системном подходе можно значительно повысить конкурентоспособность и эффективность К(Ф)Х, как и их вклад в развитие сельских территорий и продовольственную безопасность [8].

Из данных таблицы 1 видно, что в целом по Российской Федерации наблюдается нестабильная динамика: так, в 2022 году отражается значительный рост, который сменяется резким снижением в 2023 году, что особенно заметно по значениям показателей Сибирского федерального округа (90,1 %) и Омской области (90,8 %). В растениеводстве отображено резкое уменьшение значений в 2023 году: они опустились ниже уровня 2019 года после пикового роста в 2021–2022 годах.

Таблица 1

Индексы производства продукции сельскохозяйственной продукции в фермерских хозяйствах (в процентах к предыдущему году)

Субъект	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Всего					
Российская Федерация	110,4	103,8	101,7	121,8	100,3
Сибирский федеральный округ	102,1	104,9	118,2	104,3	90,1
в т. ч. Омская область	109,4	109,4	107,5	97,4	90,8
Растениеводство					
Российская Федерация	111,8	103,5	101,4	125,7	100,1
Сибирский федеральный округ	102,0	104,3	122,8	104,5	88,2
в т. ч. Омская область	109,7	109,7	107,9	96,3	89,8
Животноводство					
Российская Федерация	104,9	105,3	103,0	101,0	100,9
Сибирский федеральный округ	102,4	107,1	98,3	103,1	100,2
в т. ч. Омская область	106,6	106,3	102,8	112,4	100,6

Источник: составлено с использованием данных с портала fedstat.ru (https://www.fedstat.ru) [9].

Table 1

Indices of agricultural production in farms (in percent to the previous year)

Subject	*2019*	*2020*	*2021*	*2022*	*2023*
Total					
Russian Federation	*110.4*	*103.8*	*101.7*	*121.8*	*100.3*
Siberia Federal District	*102.1*	*104.9*	*118.2*	*104.3*	*90.1*
including Omsk region	*109.4*	*109.4*	*107.5*	*97.4*	*90.8*
Crop production					
Russian Federation	*111.8*	*103.5*	*101.4*	*125.7*	*100.1*
Siberia Federal District	*102.0*	*104.3*	*122.8*	*104.5*	*88.2*
including Omsk region	*109.7*	*109.7*	*107.9*	*96.3*	*89.8*
Animal husbandry					
Russian Federation	*104.9*	*105.3*	*103.0*	*101.0*	*100.9*
Siberia Federal District	*102.4*	*107.1*	*98.3*	*103.1*	*100.2*
including Omsk region	*106.6*	*106.3*	*102.8*	*112.4*	*100.6*

Source: compiled using data from the fedstat.ru portal (https://www.fedstat.ru) [9].

Таблица 2

Доля продукции крестьянских (фермерских) хозяйств (в процентах от хозяйств всех категорий)

Субъект	2019	2020	2021	2022	2023
Всего					
Российская Федерация	13,7	14,9	15,4	15,8	14,8
Сибирский федеральный округ	15,1	16,6	18,8	17,9	16,0
в т.ч. Омская область	22,4	25,5	27,6	25,6	22,8
Растениеводство					
Российская Федерация	20,8	21,9	22,5	23,1	22,0
Сибирский федеральный округ	25,8	266	28,4	27,5	27,1
в т.ч. Омская область	37,9	41,3	41,3	40,6	39,2
Животноводство					
Российская Федерация	5,7	6,0	5,8	5,9	5,9
Сибирский федеральный округ	6,0	6,3	5,9	6,3	6,0
в т.ч. Омская область	4,4	4,8	4,8	5,5	5,4

Источник: составлено с использованием данных с портала fedstat.ru (https://www.fedstat.ru) [9].

Table 2

The share of production of peasant farms (in percent of farms of all categories)

Subject	*2019*	*2020*	*2021*	*2022*	*2023*
Total					
Russian Federation	*13.7*	*14.9*	*15.4*	*15.8*	*14.8*
Siberia Federal District	*15.1*	*16.6*	*18.8*	*17.9*	*16.0*
including Omsk region	*22.4*	*25.5*	*27.6*	*25.6*	*22.8*
Crop production					
Russian Federation	*20.8*	*21.9*	*22.5*	*23.1*	*22.0*
Siberia Federal District	*25.8*	*266*	*28.4*	*27.5*	*27.1*
including Omsk region	*37.9*	*41.3*	*41.3*	*40.6*	*39.2*
Animal husbandry					
Russian Federation	*5.7*	*6.0*	*5.8*	*5.9*	*5.9*
Siberia Federal District	*6.0*	*6.3*	*5.9*	*6.3*	*6.0*
including Omsk region	*4.4*	*4.8*	*4.8*	*5.5*	*5.4*

Source: compiled using data from the fedstat.ru portal (https://www.fedstat.ru) [9].

В категории «Растениеводство» доля К(Ф)Х в Российской Федерации выросла с 20,8 % в 2019 году до 22,0 % в 2023 году. В Сибирском федеральном округе отмечается стабильный рост с 25,8 % в 2019 году до 27,1 % в 2023 году. Однако в Омской области наблюдается противоположная ситуация: доля К(Ф)Х в растениеводстве снизилась с 37,9 % в 2019 году до 39,2 % в 2023 году.

В категории «Животноводство» доля К(Ф)Х в Российской Федерации остается относительно стабильной, колеблясь в диапазоне 5,7–6,0 %. В Сибирском федеральном округе наблюдается небольшое снижение с 6,0 % в 2019 году до 5,9 % в 2023 году. В Омской области доля К(Ф)Х в животноводстве демонстрирует рост с 4,4 % в 2019 году до 5,4 % в 2023 году.

Анализ данных, представленных в таблице 3, позволил выявить ключевые барьеры, а также способы их преодоления.

При этом целесообразно проанализировать механизмы поддержки, которые способствуют развитию малого и среднего агробизнеса. Представленные выше барьеры создают существенные препятствия для эффективной деятельности и роста сельскохозяйственных организаций, в особенности малого и среднего агробизнеса. Для преодоления проанализированных барьеров были предложены такие меры, как участие в программах государственной поддержки, партнерство с образовательными заведениями для подготовки специалистов, диверсификация производства. Реализация данных мер способствуют улучшению условий для субъектов малого и среднего аграрного бизнеса [17].

Получение субъектами агробизнеса средств государственной поддержки влечет, в свою очередь, усиление качества внутреннего контроля как управленческой функции в деятельности фермерских хозяйств. Поскольку значительная часть бюджетного целевого финансирования предназначена для поддержки животноводческих отраслей, рассмотрим данный вопрос более подробно. Специфика этого направления предпринимательской деятельности в аграрном секторе экономики коренится в уникальной природе основного актива отрасли – живых, растущих и продуктивных животных.

Таблица 3

Барьеры, сдерживающие развитие малого и среднего агробизнеса Омской области

Барьеры	Пути преодоления	Структуры господдержки, способствующие преодолению барьеров
Ограниченный доступ к финансированию	Участие в государственных программах поддержки	Омский региональный фонд микрофинансирования субъектов малого и среднего предпринимательства [10]
Высокие капитальные затраты	Кооперация по совместному использованию техники с другими К(Ф)Х	Региональный гарантийный центр (в составе центра «Мой бизнес» Омской области) [11]
Административные сложности	Использовать услуги юридических консультантов, участвовать в соответствующих обучающих семинарах	Центр компетенций в сфере сельского хозяйства [11]; Омский региональный бизнес-инкубатор [12]
Высокий уровень конкуренции и зависимость от рынка	Диверсификация производства продукции	Центр компетенций в сфере сельского хозяйства [11]
Дефицит квалифицированных специалистов	Сотрудничество с учебными заведениями аграрного профиля в части целевой подготовки студентов	Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина (Омский ГАУ) [13]
Высокий уровень налоговой нагрузки	Выбор оптимального для бизнес-модели деятельности субъекта АПК режима налогообложения	Центр компетенций в сфере сельского хозяйства [11]; Центр юридического сопровождения деятельности СМСП [11]
Сложность с арендой и приобретением земельных участков и помещений сельскохозяйственного назначения	Налаживание отношений с органами местного самоуправления в рамках правового поля	Администрации муниципальных районов [14]; Центр компетенций в сфере сельского хозяйства [11]
Высокая стоимость и дефицит современного сельскохозяйственного оборудования и передовых агротехнологий	Получение средств государственной поддержки как источника финансирования приобретения активов	Региональный гарантийный центр (в составе центра «Мой бизнес» Омской области) [11]; Центр компетенций в сфере сельского хозяйства [11]
Высокий уровень транзакционных издержек в связи с необходимостью оформления во ФГИС	Аутсорсинг внесения информации во ФГИС, возможна кооперация с другими фермерами [15]	Центр юридического сопровождения деятельности СМСП [11]; Министерство экономического развития Омской области [16]

Table 3

Barriers hindering the development of small and medium-sized agribusinesses in the Omsk region

Barriers	*Ways to overcome*	*Government support structures that help overcome barriers*
Limited access to funding	*Participation in government support programs*	*Omsk Regional Microfinance Fund for Small and Medium-Sized Businesses [10]*
High capital costs	*Cooperation in the shared use of equipment with other peasant (farmer) enterprises*	*Regional Guarantee Center (part of the My Business center in Omsk regin) [11]*
Administrative difficulties	*Use the services of legal consultants and participate in relevant training seminars*	*Competence Center in Agriculture [10]; Omsk Regional Business Incubator [12]*
High level of competition and market dependence	*Diversification of product production*	*Center of Excellence in Agriculture [11]*
Shortage of qualified specialists	*Cooperation with agricultural educational institutions in terms of targeted training of students*	*Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin [13]*
High tax burden	*Selecting the optimal tax regime for the business model of an agro-industrial complex entity*	*Center of Excellence in Agriculture [11]; Center for legal support of SME activities [11]*

Difficulty in leasing and acquiring agricultural land and premises	*Establishing relations with local governments within the legal framework*	*Administrations of municipal districts [14]; Competence Center in Agriculture [11]*
High cost and shortage of modern agricultural equipment and advanced agricultural technologies	*Obtaining government support funds as a source of financing for the acquisition of assets*	*Regional Guarantee Center (part of the My Business Center of the Omsk region) [11]; Competence Center in Agriculture [11]*
High level of transaction costs due to the need to register with the Federal State Information System	*Outsourcing of data entry into Federal State Information Systems (FGIS); cooperation with other farmers is possible [15]*	*Center for legal support of SME activities [11]; Ministry of Economic Development of the Omsk Region [16]*

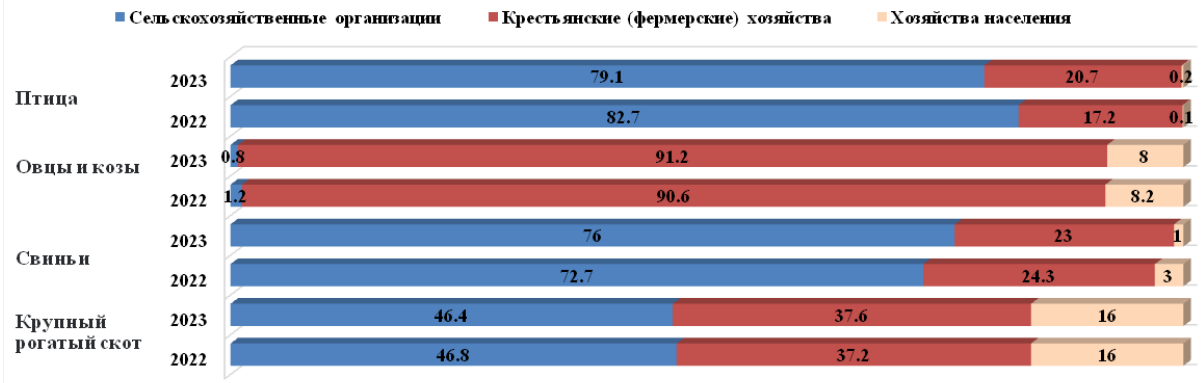


Рис. 2. Структура поголовья сельскохозяйственных животных по категориям хозяйств (на конец года; в процентах от хозяйств всех категорий)
Источник: составлено с использованием статистических данных [27]

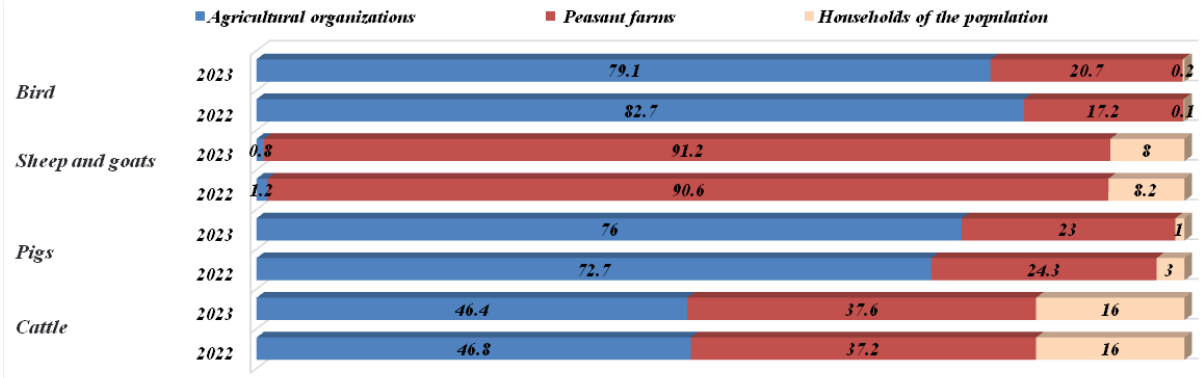


Fig. 2. Structure of the number of farm animals by category of farms (end of year; in per cent of farms of all categories)
Source: compiled using statistical data [27]

Это накладывает глубокий отпечаток на применяемые методы, превращая эндогенные контрольно-надзорные мероприятия в комплексную проверку, лежащую на стыке экономики, биологии и технологий. Применение основных методов контроля в животноводстве обладает ярко выраженной отраслевой спецификой. Центральное место занимают методы фактического контроля – в первую очередь инвентаризация, которая предполагает не просто сверку с регистрами, а личное участие главы К(Ф)Х в сплошном или выборочном пересчете и взвешивании поголовья с привлечением современных технологий видеонаблюдения и RFID-меток [18].

Неотъемлемой частью является экспертная оценка качества стада с привлечением зоотехников и (или) ветеринаров для определения упитанности и породности, что напрямую влияет на балансовую стоимость, а также сверка фактических данных с технологическими картами и зоотехническим учетом. Методы управленческого контроля имеют отраслевой характер и сфокусированы на ключевых рисковых зонах:

– проверке правильности оценки животных и калькуляции себестоимости приплода, привеса и молока; особое внимание уделяется методам калькуляции себестоимости приплода, привеса, молока; фермер анализирует, корректно ли распределяются затраты между основным стадом и молодняком;

– тщательном мониторинге операций по выбытию (падеж, забой, реализация) для исключения сокрытия хищений; при падеже проверяются на правильность и наличие акты с обязательным указанием причины, заключения ветслужбы [19];

– контроле над расходом кормов, составляющих основу затрат, через сравнение фактических норм с зоотехническими нормативами; на корм приходится до 70 % себестоимости продукции, сравниваются фактические нормы расхода кормов на голову с зоотехническими нормативами;

– проверке документов на заготовку, закупку, хранение и выдачу кормов; выявлении несоответствий, указывающих на возможные хищения или неэффективное использование [20];

– анализе показателей продуктивности для оценки эффективности (удой на корову, привес, конверсия корма); сравнение этих данных со средними по отрасли или с прошлыми периодами позволяет объективно оценить эффективность управления.

В процессе реализации функции внутреннего контроля в К(Ф)Х активно используются визуальное наблюдение за условиями содержания, опрос персонала и сравнительный анализ данных (например, динамики поголовья и объемов кормов). Выбор методов напрямую определяется ключевыми рисками: против манипуляций с поголовьем применяется обязательная инвентаризация; против завышения стоимости активов – экспертная оценка; против хищения материальных ценностей – глубокая проверка движения товарно-материальных ценностей; а против искажения себестоимости – аудит учетной документации [21; 22].

Методы осуществления управленческого контроля концентрируются на ключевых зонах повышенного риска. К ним относятся, во-первых, возможные манипуляции с поголовьем, такие как сокрытие приплода, незаконная реализация или фиктивный падеж, для выявления которых применяется обязательная фактическая инвентаризация с участием профильных специалистов. Во-вторых, это риск завышения балансовой стоимости активов, когда на баланс может быть поставлено малопродуктивное или низкокачественное стадо; противодействием здесь служит экспертная оценка физиологического состояния и продуктивных качеств животных [23; 24].

В-третьих, высока вероятность хищения материальных ценностей: кормов, ветеринарных препаратов, биопродукции (например, спермодоз) – для минимизации этого риска требуется глубокий анализ движения товарно-материальных ценностей и сверка их фактического расхода с установленными технологическими нормами. Наконец, отдельным объектом внимания является риск искажения себестоимости готовой продукции вследствие некорректного распределения затрат, который нивелируется тщательной проверкой алгоритмов калькуляционных расчетов. Современная тенденция повышения экономической эффективности в животноводстве включает в себя интеграцию цифровых инструментов, таких как анализ данных из автоматизированных систем управления фермами, доильными залами, системами микроклимата; анализ электронной идентификации животных (RFID, чипы), а также геоданных и спутниковых снимков для контроля земельных угодий и мониторинга использования пастбищ и земельных участков, предназначенных для выращивания кормовых культур [25; 26].

Таким образом, у фермера появляется цифровая возможность оценить реальную стоимость «живых активов» и эффективность их использования, что обеспечивает высокую степень достоверности и объективности, в том числе по приобретенным на средства государственной поддержки животным и сельскохозяйственной технике. Данные рис. 2 иллюстрируют, что наибольший вклад в развитие поголовья сельскохозяйственных животных вносится сельскохозяйственными организациями. Они имеют набольшую долю в разведении птицы и свиней, также имеют значительный удельный вес в разведении крупного рогатого скота. К(Ф)Х занимают значительную долю в структуре поголовья всех сельскохозяйственных животных, однако разведение овец и коз имеет наибольший вес. Хозяйства населения имеют наименьшую долю, но их вклад заметен в разведении крупного и мелкого рогатого скота.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Подводя итог, следует отметить, что крестьянские (фермерские) хозяйства являются драйвером развития аграрной экономики Омской области по трем основным причинам. Во-первых, фермерский агробизнес на протяжении ближайших пяти лет демонстрирует устойчивый экономический рост – выше, чем в среднем по Сибирскому федеральному округу. При этом удельный вес фермерской продукции в объеме аграрного производства региона постоянно увеличивается. Кроме того, именно в фермерских хозяйствах трудоустроена и работает значительная часть сельского населения, не являющегося работниками бюджетной сферы, вследствие чего хозяйствующие субъекты малого агробизнеса являются градообразующими предприятиями сельских территорий, что обосновывает третью причину значимости крестьянских фермерских хозяйств для аграрного сектора экономики Омской области.

Библиографический список

1. Шамшитдинов М. Д. Малый бизнес и частное предпринимательство в сельском хозяйстве // Экономика и социум. 2022. № 12-2 (103). С. 654–657.

2. Спахов С. В., Федотова О. А., Юшкова В. Э., Федоров Р. В. Проблемы инвестирования в малый и средний бизнес в АПК и способы решения // Экономика и предпринимательство. 2024. № 4 (165). С. 720–722. DOI: 10.34925/EIP.2024.165.4.139.

3. Чупина И. П., Симачкова Н. Н., Зарубина Е. В. [и др.]. Развитие рынка «умного фермерства» в регионах России // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65, № 5. DOI: 10.55186/25876740_2022_6_5_18.

4. Аджикова А. С., Канцеров Р. А., Школьникова Н. Н. Государственная поддержка развития сельского хозяйства в регионе с аграрным профилем экономики // Аграрный вестник Урала. 2022. № 2 (217). С. 60–70. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-60-70.

5. Криулина Е. Н., Оганян Л. Р. Тенденции и перспективы развития многоукладной аграрной экономики региона // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 4. С. 542–558. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-04-542-558.

6. Михайлова Л. В., Мухаметгалиев Ф. Н., Валиев А. Р. Фермерство в Республике Татарстан: их роль в системе аграрного бизнеса и тенденция развития // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 2. С. 148–153. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-148-153.

7. Белкина Е. Н., Биушкин И. В., Артюх Д. В., Мельцов В. О. Роль фермерства в развитии сельских территорий // Экономика и предпринимательство. 2023. № 1 (150). С. 467–471. DOI: 10.34925/EIP.2023.150.1.093.

8. Широбоков В. Г., Мандрова А. А, Сигидов Ю. И. Основные направления совершенствования системы государственного регулирования развития фермерства (на примере Липецкой области) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 2. С. 151–158. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_151.

9. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс]. URL: https://www.fedstat.ru (дата обращения: 02.10.2025).

10. Омский региональный фонд микрофинансирования субъектов малого и среднего предпринимательства [Электронный ресурс]. URL: https://mfofond.ru (дата обращения: 25.02.2026).

11. Омский региональный фонд поддержки и развития малого предпринимательства [Электронный ресурс]. URL: https://мойбизнес-55.рф/services/ (дата обращения: 25.02.2026).

12. Омский региональный бизнес-инкубатор [Электронный ресурс]. URL: https://www.omrbi.ru (дата обращения: 25.02.2026).

13. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина» [Электронный ресурс]. URL: https://www.omgau.ru (дата обращения: 25.02.2026).

14. Портал правительства Омской области [Электронный ресурс]. URL: https://omskportal.ru/omsu (дата обращения: 25.02.2026).

15. Епанчинцев В. Ю. Отраслевые особенности финансового контроля субъектов агропромышленного комплекса // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2026. № 1. С. 142–149.

16. Министерство экономического развития Омской области [Электронный ресурс]. URL: https://mec.omskportal.ru/oiv/mec (дата обращения: 25.02.2026).

17. Younis A., Yaseen Al. H., Ghaida A. R., Nizar Ja. H. A smart vertical farming hub at Isra University, Jordan: toward the development of resilient cities // Sustainable Development of Mountain Territories. 2024. Vol. 16, No. 1 (59). Pp. 379–396. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-379-396.

18. Шобдоева Н. В., Баженова В. С., Бардаханова Т. Б., Корнилова Д. Д.-Н. Влияние региональной поддержки на развитие малого предпринимательства в АПК // Вестник Академии знаний. 2024. № 3 (62). С. 525–528.

19. Чупина И. П., Журавлева Л. А., Зарубина Е. В. [и др.]. Экономические показатели деятельности малого предпринимательства в АПК региона // Московский экономический журнал. 2024. Т. 9, № 9. С. 268–280. DOI: 10.55186/2413046X_2024_9_9_385.

20. Ахмедова М. Р., Клещева Ю. С. Развитие малого бизнеса с помощью усиления трехсторонних отношений между государством, банковским сектором и малым предпринимательством // Индустриальная экономика. 2022. Т. 2, № 4. С. 197–204. DOI: 10.47576/2712-7559_2022_4_2_197.

21. Троянская М. А. Развитие и поддержка малого предпринимательства в малых городах // Экономика и предпринимательство. 2022. № 10 (147). С. 662–666. DOI: 10.34925/EIP.2022.147.10.126.

22. Гордина В. В. Развитие и поддержка малого предпринимательства как фактор устойчивого развития региона // Экономическое развитие региона: управление, инновации, подготовка кадров. 2022. № 9. С. 40–46.

23. Петрушевская В. В., Шарый А. Н. Методический инструментарий оценки уровня развития малого предпринимательства в экономической системе региона // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Т. 14, № 4-1. С. 503–514.

24. Семенова Н. Н., Аверин А. Ю. Оценка эффективности государственной поддержки страхования в сельском хозяйстве России // Регионология. 2022. Т. 30, № 2 (119). С. 299–323. DOI: 10.15507/2413-1407.119.030.202202.299-323.

25. Рюмкин С. В., Рюмкина И. Н. Институциональная среда устойчивого развития сельских территорий Сибирского федерального округа // Журнал институциональных исследований. 2023. Т. 15, № 2. С. 45–60. DOI: 10.17835/2076-6297.2023.15.2.045-060.

26. Карлова Н. А., Паюрова Е. Н., Галактионова Е. А. Потери продукции в сельском хозяйстве России: последствия для продовольственной безопасности и экологической устойчивости // Вопросы экономики. 2024. № 11. С. 76–89. DOI: 10.32609/0042-8736-2024-11-76-89.

27. Министерство сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности Омской области [Электронный ресурс]. URL: https://msh.omskportal.ru/oiv/msh (дата обращения: 25.12.2025).

Об авторах:

Ольга Виталиевна Косенчук, доктор экономических наук, профессор кафедры агроинженерии, Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, Омск, Россия;
ORCID 0000-0003-1096-5722, AuthorID 352926. *E-mail: oliakos55@yandex.ru*

Николай Леонидович Сысоев, аспирант кафедры экономики, бухгалтерского учета и финансового контроля, Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, Омск, Россия;
ORCID 0009-0004-3328-7092, AuthorID 1250375. *E-mail: nl.sysoev1937@omgau.org*

References

1. Shamshitdinov M. D. Small business and private entrepreneurship in agriculture. *Economics and Society*. 2022; 12-2 (103): 654–657. (In Russ.)

2. Spakhov S. V., Fedotova O. A., Yushkova V. E., Fedorov R. V. Problems of investing in small and medium-sized businesses in the agro-industrial complex and solutions. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2024; 4 (165): 720–722. DOI: 10.34925/EIP.2024.165.4.139. (In Russ.)

3. Chupina I. P., Simachkova N. N., Zarubina E. V., et al. Development of the market of "smart farming" in the regions of Russia. *International Agricultural Journal*. 2022; 65 (5). DOI: 10.55186/25876740_2022_6_5_18. (In Russ.)

4. Adzhikova A. S., Kanzerov R. A., Shkolnikova N. N. State support for the development of agriculture in the region with an agrarian profile of the economy. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 2 (217): 60–70. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-60-70. (In Russ.)

5. Kriulina E. N., Ohanyan L. R. Trends and prospects for the development of the diversified agrarian economy of the region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (4): 542–558. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-04-542-558.

6. Mikhaylova L. V., Mukhametgaliev F. N., Valiev A. R. Farming in the Republic of Tatarstan: its role in the agricultural business system and development trend. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2024; 19 (2): 148–153. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-148-153. (In Russ.)

7. Belkina E. N., Biushkin I. V., Artyukh D. V., Meltsov V. O. The role of farming in rural development. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2023; 1 (150): 467–471. DOI: 10.34925/EIP.2023.150.1.093. (In Russ.)

8. Shirobokov V. G., Mandrova A. A., Sigidov Yu. I. Priorities for improving the system of State regulation of the development of farming (in a specific context of Lipetsk oblast). *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022; 15 (2): 151–158. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_151. (In Russ.)

9. *Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS)* [Internet] [cited 2026 Feb 10]. Available from: https://www.fedstat.ru. (In Russ.)

10. *Omsk Regional Microfinance Fund for Small and Medium-sized Businesses* [Internet] [cited 2026 Feb 25]. Available from: https://mfofond.ru. (In Russ.)

11. *Omsk Regional Fund for Support and Development of Small Business* [Internet] [cited 2026 Feb 25]. Available from: https://мойбизнес-55.рф/services. (In Russ.)

12. *Omsk Regional Business Incubator* [Internet] [cited 2026 Feb 25]. Available from: https://www.omrbi.ru. (In Russ.)

13. *Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin"* [Internet] [cited 2026 Feb 25]. Available from: https://www.omgau.ru. (In Russ.)

14. *Portal of the Government of the Omsk region* [Internet] [cited 2026 February 25]. Available from: https://omskportal.ru/omsu

15. Epanchintsev V. Yu. Sectoral peculiarities of financial control of the subjects of the Agro-Industrial Complex. *Economics of Agricultural and Processing Enterprises*. 2026; 1: 142–149.

16. *Ministry of Economic Development of the Omsk Region* [Internet] [cited 2026 Feb 25]. Available from:

https://mec.omskportal.ru/oiv/mec. (In Russ.)

17. Younis A., Yaseen Al. H., Ghaida A. R., Nizar Ja. H. A smart vertical farming hub at Isra University, Jordan: toward the development of resilient cities. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2024; 16 (1): 379–396. DOI: 10.21177/1998-4502-2024-16-1-379-396.

18. Shobdoeva N. V., Bazhenova V. S., Bardakhanova T. B., Kornilova D. D.-N. The influence of regional support on the development of small business in the agro-industrial complex. *Vestnik Akademii Znanij*. 2024; 3 (62): 525–528. (In Russ.)

19. Chupina I. P., Zhuravleva L. A., Zarubina E. V., et al. Economic indicators of small business activities in the regional agro-industrial complex. *Moscow Economic Journal*. 2024; 9 (9): 268–280. DOI: 10.55186/2413046X_2024_9_9_385. (In Russ.)

20. Akhmedova M. R., Kleshcheva Yu. S. Development of small business through the strengthening of tripartite relations between the state, the banking sector and small business. *Industrial Economy*. 2022; 2 (4): 197–204. DOI: 10.47576/2712-7559_2022_4_2_197. (In Russ.)

21. Troyanskaya M. A. Development and support of small business in small towns. *Economics and Entrepreneurship*. 2022; 10 (147): 662–666. DOI: 10.34925/EIP.2022.147.10.126. (In Russ.)

22. Gordina V. V. Development and support of small business as a factor of sustainable development of the region. *Economic Development of the Region: Management, Innovations, Personnel Training*. 2022; 9: 40–46. (In Russ.)

23. Petrushevskaya V. V., Shariy A. N. Methodological toolkit for assessing the level of small business development in the regional economic system. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*. 2024; 14 (4-1): 503–514. (In Russ.)

24. Semenova N. N., Averin A. Yu. Assessment of the effectiveness of state support for insurance in agriculture in Russia. *Russian Journal of Regional Studies*. 2022; 30 (2): 299–323. DOI: 10.15507/2413-1407.119.030.202202.299-323. (In Russ.)

25. Ryumkin S. V., Ryumkina I. N. The institutional environment of sustainable rural development in the Siberian Federal District. *Journal of Institutional Studies*. 2023; 15 (2): 45–60. DOI: 10.17835/2076-6297.2023.15.2.045-060. (In Russ.)

26. Karlova N. A., Payurova E. N., Galaktionova E. A. Production losses in Russian agriculture: impact on food security and environmental sustainability. *Economic Issues*. 2024; 11: 76–89. DOI: 10.32609/0042-8736-2024-11-76-89. (In Russ.)

27. *Ministry of Agriculture, Food and Processing Industry of the Omsk region* [Internet] [cited 2026 Dec 25]. Available from: https://msh.omskportal.ru/oiv/msh. (In Russ.)

Authors' information:

Olga V. Kosenchuk, doctor of economics sciences, professor of the department of agricultural engineering, Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russia; ORCID 0000-0003-1096-5722, AuthorID 352926. *E-mail: oliakos55@yandex.ru*

Nikolay L. Sysoev, postgraduate of the department of economics, accounting and financial control, Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, Omsk, Russia; ORCID 0009-0004-3328-7092, AuthorID 1250375. *E-mail: nl.sysoev1937@omgau.org*

УДК 631.153.7
Код ВАК 5.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2081-2095

Экономически обоснованная система культуртехнических мероприятий по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения со сроками окупаемости затрат

Л. В. Кузнецова✉, **В. Н. Мазуров**
Калужский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха, Калуга, Россия
✉*E-mail: torg.kniish@mail.ru*

Аннотация. **Цель** исследования – разработка экономически обоснованной системы культуртехнических мероприятий по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения, временно выбывших из оборота, со сроками окупаемости в зависимости от степени залесения и посева разных культур. Исследования проведены в Калужском НИИСХ – филиале ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха» в 2025 г., научное направление исследований – экономика и организация согласно **методикам** под редакцией академика В. Р. Боева, Е. В. Фастовой и др., И. Г Ушачев и др. **Научная новизна.** Впервые в условиях Калужской области разработана экономически обоснованная система культуртехнических мероприятий по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения, временно выбывших из оборота, со сроками окупаемости в зависимости от степени залесения и посева разных культур, которая поможет руководителям и специалистам сельскохозяйственных организаций в принятии перспективных решений. **В результате** исследований проанализированы две организации области, определена классификация земель по степени их зарастания по пяти вариантам (слабая; средняя – 70 % кустарников и 30 % деревьев; средняя – 50 % кустарников и 50 % деревьев; средняя – 30 % кустарников и 70 % деревьев; сильная – деревья). Выявлено, что по 5 вариантам классификации земель себестоимость 1 га культуртехнических работ по степени зарастания составляет: 37,4; 91,1; 99,2; 107,6; 114,9 тыс. руб. Срок окупаемости затрат на культуртехнические мероприятия при возделывании: рапса озимого на маслосемена без учета получаемой субсидии составляет от 0,7 до 2,09 года, а с учетом субсидии – от 0,4 до 1,14 года; пшеницы озимой без учета субсидии – от 1,5 до 4,7 года, с учетом субсидии – от 0,8 до 2,6 года.

Ключевые слова: земли, выбывшие из оборота, степень зарастания земель. система культуртехнических мероприятий, срок окупаемости

Для цитирования: Кузнецова Л. В., Мазуров В. Н. Экономически обоснованная система культуртехнических мероприятий по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения со сроками окупаемости затрат // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 2081–2095. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2081-2095.

Дата поступления статьи: 20.02.2026, ***дата рецензирования:*** 22.07.2026, ***дата принятия:*** 22.09.2026.

© Kuznetsova L. V., Mazurov V. N., 2026

An economically sound system of cultural and technical measures for the introduction of agricultural land into circulation with payback periods

L. V. Kuznetsova✉, **V. N. Mazurov**
Kaluga Research Institute of Agriculture – a branch of the Federal Potato Research Center named after A. G. Lorch, Kaluga, Russia
✉*E-mail: torg.kniish@mail.ru*

Abstract. **The purpose** of the study is the development of an economically justified system of cultural and technical measures for the introduction into circulation of agricultural lands that have temporarily been withdrawn from circulation, with payback periods depending on the degree of afforestation and sowing of different crops. The research was conducted at the Kaluga Research Institute of Agriculture, a branch of the Federal Research Center for Potato Research named after A. G. Lorkh, in 2025, with a focus on economics and organization, according to the **methods**: edited by academician V. R. Boev, E. V. Fastova, et al., I. G. Ushachev, et al. **Scientific novelty.** For the first time in the Kaluga region, an economically sound system of cultural and technical measures has been developed to introduce temporarily abandoned agricultural lands into circulation, with payback periods depending on the degree of forestation and the planting of different crops. This system will help agricultural managers and specialists make long-term decisions. As a **result** of the research, two organizations in the region were analyzed, and the classification of land by degree of overgrowth was determined in five options (weak; medium – 70 % shrubs and 30 % trees; medium – 50 % shrubs and 50 % trees; medium – 30 % shrubs and 70 % trees; strong – trees). It was found that the cost of 1 hectare of cultural and technical works depends on the degree of overgrowth: 37.4; 91.1; 99.2; 107.6; 114.9 thousand rubles (for five land classification options). The payback period for the cultivation of winter rapeseed for oilseeds excluding subsidies is between 0.7 and 2.09 years, and with subsidies, it is between 0.4 and 1.14 years; the payback period for winter wheat excluding subsidies is between 1.5 and 4.7 years, and with subsidies, it is between 0.4 and 1.14 years, between 0.8 and 2.6 years.

Keywords: land that has been withdrawn from circulation; degree of land overgrowth; system of cultural and technical measures; payback period

For citation: Kuznetsova L. V., Mazurov V. N. An economically sound system of cultural and technical measures for the introduction of agricultural lands into circulation with payback periods. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 2081–2095. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2081-2095. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.02.2026, ***date of review:*** 22.07.2026, ***date of acceptance:*** 22.09.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Земельный потенциал России – один из ключевых факторов устойчивого экономического развития страны, главной задачей которой является его сохранение и организация рационального использования этого потенциала.

Возврат в сельскохозяйственное производство выбывших из оборота земель и дальнейшее эффективное их использование является на сегодняшний день актуальной проблемой.

Процесс залесения заброшенных пашен в лесостепной и лесной зонах России является одним из наиболее острых проявлений деградации сельскохозяйственных угодий, который приводит к выводу из оборота высокопродуктивных земель, что снижает устойчивость экономики этих регионов [1]. В стране наблюдается тенденция увеличения площадей неиспользуемых сельскохозяйственных угодий на протяжении более чем 30 лет, на что повлияли экономические преобразования в аграрном секторе, некоторые упущения в земельной реформе, отток сельского населения в города и другие причины [2]. В условиях дефицита сельскохозяйственных угодий их вовлечение в оборот приобретает особую актуальность [3]. Проблему возвращения в оборот заброшенных сельскохозяйственных земель активно обсуждают в России с целью обеспечения продовольственной безопасности страны. Часть земель сельскохозяйственного назначения оказалась заброшенной, полностью прекратили обрабатывать либо значительно сократили большие площади пашни, выведены из оборота миллионы гектаров земель сельскохозяйственного назначения, большая часть которых зарастает мелколесьем, кустарником и сорной растительностью [4; 5], сельскохозяйственные угодья переводятся в лесные земли вследствие их

© Кузнецова Л. В., Мазуров В. Н., 2026

деградации – потери почвенного плодородия [6]. Серьезной проблемой являлось сокращение площади земель сельскохозяйственного назначения, по которой не проводилось за эти годы комплексной внутрихозяйственной оценки плодородия [7]. С 2007 до 2022 года посевные площади выросли лишь на 7,6 млн га, а достигнутые в 2022 году значения составляют лишь 70 % от уровня 1990 года [8]. Теперь перед обществом стоит *актуальная научно-производственная задача – оценка продукционного потенциала ценофлор залежных земель и возможность их освоения* [9; 10]. В целом в России к 2030 году планируется ввести в активный сельскохозяйственный оборот не менее 12 млн га залежей [11]. Как правило, это сопряжено с рядом трудностей, связанных с изменениями агрофизических и технологических свойств почвы, вызванными длительным отсутствием механического воздействия [12], зачастую связанными с разрушенным сельскохозяйственным производством и неразвитой сельской инженерной, транспортной и социальной инфраструктурой [13].

В настоящее время в стране с 2022 года действует Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации, в которой предусмотрено к концу 2031 года вести в сельскохозяйственное использование залежные земли площадью не менее 13,235 млн га. В Калужской области с 31 января 2022 года действует постановление № 49 об утверждении Государственной программы Калужской области «Эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развитие мелиоративного комплекса в Калужской области». В программе намечены планы вовлечения в оборот до 2030 года по 3 000 га в год сельскохозяйственных угодий за счет проведения культуртехнических мероприятий.

Комплекс мероприятий, необходимых для введения в оборот земель сельскохозяйственного назначения, временно выбывших из оборота, предусматривает вложение определенного количества материальных затрат, которые в интересах товаропроизводителя должны окупиться полученной впоследствии на этих землях продукцией [14; 15]. В этой связи возникает необходимость расчета вложений в восстановление земель, временно выбывших из сельскохозяйственного назначения, на основе экономически обоснованной системы культуртехнических мероприятий, а также расчета сроков окупаемости произведенных затрат по вариантам исследований в зависимости от степени залесения и посева разных культур.

Исследования проведены в Калужском НИИСХ – филиале ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха» в 2025 году, научное направление исследований – экономика и организация.

Целью работы стала разработка экономически обоснованной системы культуртехнических мероприятий по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения, временно выбывших из оборота, со сроками окупаемости в зависимости от степени залесения и посева разных культур.

Задачи исследования:

1. На основе исследований Калужского НИИСХ по мониторингу земель определить временные рамки по стадиям фитоценоза (степени зарастания земель, выбывших из оборота травянистой, кустарниковой и лесной растительностью).

2. Разработать экономически обоснованную систему культуртехнических мероприятий по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения в зависимости от степени зарастания лесом.

3. Рассчитать технологические карты по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения в зависимости от степени залесения.

4. Определить сроки окупаемости затрат по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектами исследований являются неиспользуемые земли сельскохозяйственного назначения Калужской области. Исследования проведены согласно методикам под редакцией академика В. Р. Боева[1], Е. В. Фастовой и др.[2], И. Г. Ушачева, Е. С. Оглоблина и др.[3] Источниками получения информации для расчета показателей являются бухгалтерские данные исследуемых организаций области.

На проведение культуртехнических работ составляется технологическая карта, где отражаются следующие показатели: намечаемые виды работ по каждой операции, состав агрегата, марка трактора и орудия, выработка за смену, необходимое количество нормосмен на запланированный объем работ. На основе технологии, сформированной в технологической карте, производится расчет затрат на проведение культуртехнических мероприятий по различным классификациям залежных земель. Для расчета сроков окупаемости затрат по культуртехническим мероприятиям формируются технологические карты культур, которые будут возделываться после введения в оборот залежных земель, и рассчитывается сумма затрат на возделываемые культуры.

[1] Методы экономических исследований в агропромышленном производстве / Под ред. акад. В. Р. Боева. Москва: Россельхозакадемия, 1999. 260 с.

[2] Фастова Е. В., Коваленко О. А., Белов Н. Г. [и др.]. Методические рекомендации по бухгалтерскому учету затрат на производство и калькулированию себестоимости продукции (работ, услуг) в сельскохозяйственных организациях. Москва, 2003. 205 с.

[3] Ушачев И. Г, Оглоблин Е. С., Санду И. С. [и др.]. Эффективность сельскохозяйственного производства: методические рекомендации. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, 2005. 155 с.

Окупаемость затрат рассчитывается по формуле:

срок окупаемости =

размер вложений / чистая годовая прибыль (1)

При расчете затрат учитывается сумма субсидии согласно Приказу МСХ Калужской области № 74 от 27.03.2024 «Об утверждении Положения о порядке предоставления из областного бюджета субсидий на возмещение части фактически произведенных затрат в 2023–2024 годах на проведение гидромелиоративных, культуртехнических, агролесомелиоративных и фитомелиоративных мероприятий, а также мероприятий в области известкования кислых почв на пашне», где размер субсидии, предоставляемой получателю» рассчитывается по формуле:

$$Pc = Z \times 50\ \% \leq S \times V, \quad (2)$$

где Рс – размер субсидии, предоставляемой получателю;

Z – сумма фактически произведенных затрат;

50 % – часть затрат в процентном выражении, подлежащая субсидированию за счет средств областного бюджета;

S – предельный размер стоимости работ на 1 га площади земель по мероприятиям, утвержденный в Приложении № 2 к приказу Минсельхоза России от 28.08.2024 № 495 (приложение В);

V – площадь (га), на которой в соответствии с проектом произведены мероприятия.

Результаты (Results)

Исследования Калужского НИИСХ по мониторингу земель, выбывших из оборота, выполнены в центральной части Калужской области (Мещовское ополье), где распространены серые лесные почвы. Изучаемый участок находится без обработки 22 года и характеризуется как молодой лес с густой травянистой растительностью. В результате мониторинга исследуемых участков выявлено, что в начальный период (3–4-й год) прекращения использования пашни происходит интенсивный процесс формирования разнотравно-злаковых фитоценозов. На 6-й год произрастания разнотравно-злаковая растительность сменяется опушечно-лесной. На 8-й год четко прослеживается смена опушечно-лесных фитоценозов кустарниково-древесными, с 12–15-го года формируется древесно-лесной массив.

На основе мониторинга определена классификация земель по степени их зарастания по пяти вариантам (слабая; средняя – 70 % кустарников и 30 % деревьев; средняя – 50 % кустарников и 50 % деревьев; средняя – 30 % кустарников и 70% деревьев; сильная – деревья).

В ходе исследований, проведенных в организациях области, сформированы технологические схемы проведения культуртехнических мероприятий по восстановлению сельскохозяйственных земель, выбывших из оборота (таблица 1)

Таблица 1

Технологические схемы проведения культуртехнических мероприятий по восстановлению сельскохозяйственных земель, выбывших из оборота

Слабая степень зарастания земель (кустарник мелкий и средний, высотой 1–1,5 м)	**Средняя степень зарастания земель (кустарник мелкий и крупный, высотой до 3 метров, диаметр стволов до 10 см)**	**Сильная степень зарастания земель (кустарник мелкий и крупный, деревья высотой более 3, диаметр стволов более 10 см)**
Мульчировка древесно-кустарниковой растительности	Мульчировка древесно-кустарниковой растительности	Выкорчевывание деревьев
Дискование в два следа	Выкорчевывание деревьев	Сгребание деревьев в валы на краю поля
Вспашка	Сгребание деревьев в валы на краю поля	Планировка поверхности поля
	Планировка поверхности поля	Дискование в два следа
	Дискование в два следа	Вспашка
	Вспашка	

Table 1

Technological schemes for carrying out cultural and technical measures to restore agricultural lands that have been withdrawn from circulation

Low degree of land overgrowth (small and medium-sized shrubs, 1–1.5 m high)	***Average degree of land overgrowth (small and large shrubs, up to 3 meters in height and up to 10 cm in trunk diameter)***	***High degree of land overgrowth (small and large shrubs, trees over 3 m and over 10 cm in trunk diameter)***
Mulching of woody and shrubby vegetation	*Mulching of woody and shrubby vegetation*	*Uprooting of trees*
Disking in two tracks	*Uprooting of trees*	*Piling up trees at the edge of the field*
Plowing	*Piling up trees at the edge of the field*	*Field surface layout*
	Field surface layout	*Disking in two tracks*
	Disking in two tracks	*Plowing*
	Plowing	

Таблица 2

Технологическая карта по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения

Наименование работ и качественные показатели	Объем работ		Состав агрегата: марка трактора, с/х машины	Норма выработки (га, ч)	Количество нормосмен	ГСМ на ед. работы, л/га, л/ч	ГСМ всего, л
	ед. изм.	га, ч					
Слабая степень залесения (кустарник)							
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	УЭС-2-280А + М 550м-2410	–	1,25	25,0 л/ч	250
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/км	100 км	К-735 СТ, К-744 Р2+ БДН-3,0М	–	1,0	0,61 л/ч	61
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/км	100 км	К-735 СТ, К-744 Р2 + RN-100, PN-100	–	1,0	0,61 л/ч	61
Мульчировка древесно-кустарниковой растительности	га	100	УЭС-2-280А + М 550м-2410	2,2	45,5	163,6	16 360
Дискование в 2 следа	га	200	К-735 СТ, К-744 Р2+ БДН-3,0М	10,52	19,0	21,14	4 228
Вспашка	га	100	К-735 СТ, К-744 Р2 + RN-100, PN-100	11,5	8,7	22,0	2 200
Итого	–	–	–	–	76,45	–	23 160
Средняя степень залесения (кустарник – 70 %, деревья с диаметром стволов от 10 см и выше – 30 %)							
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	ЧЕТРА Т11.02	–	1,25	16 л/ч	160
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	HITACHI ZX240-5G	–	1,25	18 л/ч	180
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/км	100 км	К-735 СТ, К-744 Р2 + БДН-3,0М	–	1,0	0,61 л/ч	61
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/км	100 км	К-735 СТ, К-744 Р2 + RN-100, PN-100	–	1,0	0,61 л/ч	61
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	УЭС-2-280А + М 550м-2410	–	1,25	25,0 л/ч	250
Мульчировка древесно-кустарниковой растительности	га	70	УЭС-2-280А + М 550м-2410	2,2	31,8	260,5	18 235
Выкорчевывание деревьев	га	30	HITACHI ZX240-5G	0,46	65,2	375,7	11 271
Сгребание деревьев в валы на краю поля	га	100	ЧЕТРА Т11.02 (до 200 л. с.)	1,53	65,4	130,7	13 070
Планировка поверхности	га	100	ЧЕТРА Т11.02	1,71	58,5	88,0	8 800
Дискование в 2 следа	га	200	К-735 СТ, К-744 Р2+ БДН-3,0М	10,52	19,0	21,14	4 228
Вспашка	га	100	К-735 СТ, К-744 Р2 + RN-100, PN-100	11,5	8,7	22,0	2 200
Итого	–	–	–	–	254,35	–	58 516
Средняя степень залесения (кустарник – 50 %, деревья с диаметром стволов 10 см и выше – 50 %)							
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	ЧЕТРА Т11.02	–	1,25	16 л/ч	160
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	HITACHI ZX240-5G	–	1,25	18 л/ч	180

Подъезд техники к месту работы и обратно	л/км	100 км	К-735 СТ, К-744 Р2 + БДН-3,0М	–	1,0	0,61 л/ч	61
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/км	100 км	К-735 СТ, К-744 Р2 + RN-100, PN-100	–	1,0	0,61 л/ч	61
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	УЭС-2-280А + М 550м-2410	–	1,25	25,0 л/ч	250
Мульчировка древесно-кустарниковой растительности	га	50	УЭС-2-280А + М 550м-2410	2,2	22,7	260,5	13 025
Выкорчевывание деревьев	га	50	Экскаватор HITACHI ZX240-5G	0,46	108,7	375,7	18 785
Сгребание деревьев в валы на краю поля	га	100	Бульдозер ЧЕТРА Т11.02 (до 200 л. с.)	1,53	65,4	130,7	13 070
Планировка поверхности	га	100	Бульдозер ЧЕТРА Т11.02	1,71	58,5	88,0	8 800
Дискование в 2 следа	га	200	К-735 СТ, К-744 Р2 + мелиоративная борона БДН-3,0М	10,52	19,0	21,14	4 228
Вспашка	га	100	К-735 СТ, К-744 Р2 + оборотный плуг RN-100, PN-100	11,5	8,7	22,0	2 200
Итого	–	–	–	–	288,75	–	60 820
Средняя степень залесения (кустарник – 30 %, деревья с диаметром стволов 10 см и выше – 70 %)							
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	Бульдозер ЧЕТРА Т11.02	–	1,25	16 л/ч	160
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	Экскаватор HITACHI ZX240-5G	–	1,25	18 л/ч	180
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/км	100 км	К-735 СТ, К-744 Р2 + мелиоративная борона БДН-3,0М	–	1,0	0,61 л/ч	61
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	УЭС-2-280А + мульчерная фреза М 550м-2410	–	1,25	25,0 л/ч	250
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/км	100 км	К-735 СТ, К-744 Р2 + оборотный плуг RN-100, PN-100	–	1,0	0,61 л/ч	61
Мульчировка древесно-кустарниковой растительности	га	30	УЭС-2-280А + мульчерная фреза М 550м-2410	2,2	13,6	260,5	7 815
Выкорчевывание деревьев	га	70	Экскаватор HITACHI ZX240-5G	0,46	152,2	375,7	26 299
Сгребание деревьев в валы на краю поля	га	100	Бульдозер ЧЕТРА Т11.02 (до 200 л. с.)	1,53	65,4	130,7	13 070
Планировка поверхности	га	100	Бульдозер ЧЕТРА Т11.02	1,71	58,5	88,0	8 800
Дискование в 2 следа	га	200	К-735 СТ, К-744 Р2 + мелиоративная борона БДН-3,0М	10,52	19,0	21,14	4 228
Вспашка	га	100	К-735 СТ, К-744 Р2 + оборотный плуг RN-100, PN-100	11,5	8,7	22,0	2 200
Итого	–	–	–	–	323,15	–	63 124
Сильная степень залесения (деревья с диаметром стволов 10 см и выше – 100 %)							
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	Бульдозер ЧЕТРА Т11.02	–	1,25	16 л/ч	160

Подъезд техники к месту работы и обратно	л/ч	10 ч	Экскаватор HITACHI ZX240-5G	–	1,25	18 л/ч	180
Подъезд техники к месту работы и обратно	л/км	100 км	К-735 СТ, К-744 Р2 + мелиоративная борона БДН-3,0М	–	1,0	0,61	61
Выкорчевывание деревьев	га	100	Экскаватор HITACHI ZX240-5G	0,46	217,4	375,7	37 570
Сгребание деревьев в валы на краю поля	га	100	Бульдозер ЧЕТРА Т11.02	1,53	65,4	130,7	13 070
Планировка поверхности	га	100	Бульдозер ЧЕТРА Т11.02	1,71	58,5	88,0	8 800
Дискование в 2 следа	га	200	К-735 СТ, К-744 Р2 + мелиоративная борона БДН-3,0М	10,52	19,0	21,14	4 228
Вспашка	га	100	К-735 СТ, К-744 Р2 + оборотный плуг RN-100, PN-100	11,5	8,7	22,0	2 200
Итого:	–	–	–	–	372,5	–	66 269

Table 2

Technological map for the introduction of agricultural lands into circulation

Name of works and quality indicators	***Scope of work***		***Unit composition: tractor brand, agricultural machinery***	***Production rate (ha, hours)***	***Number of normal shifts***	***Fuel and lubricants per unit of work, l/ha, l/hour***	***Fuel and lubricants total, l***
	units	***ha, hours***					
Low degree of forestation (shrubs)							
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*UES-2-280A + M 550m-2410*	– –	*1.25*	*25.0 l/h*	*250*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/km*	*100 km*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	–	*1.0*	*0.61 l/h*	*61*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/km*	*100 km*	*K-735 ST, K-744 R2+ BDN-3.0M*	–	*1.0*	*0.61 l/h*	*61*
Mulching of woody and shrubby vegetation	*ha*	*100*	*UES-2-280A + M 550m-2410*	*2,2*	*45.5*	*163.6*	*16 360*
Disking in 2 tracks	*ha*	*200*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	*10,52*	*1.,0*	*21.14*	*4 228*
Plowing	*ha*	*100*	*K-735 ST, K-744 R2 + RN-100, PN-100*	*11,5*	*8.7*	*22.0*	*2 200*
Total:	–	–	–	–	*76.45*	–	*23 160*
Average degree of forestation (70 % shrubs, 30 % trees with a trunk diameter of 10 cm or more)							
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*CHETRA T11.02*	–	*1.25*	*16 l/h*	*160*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*HITACHI ZX240-5G*	–	*1.25*	*18 l/h*	*180*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/km*	*100 km*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	–	*1.0*	*0.61 l/h*	*61*

Transportation of equipment to and from the workplace	*l/km*	*100 km*	*K-735 ST, K-744 R2 + RN-100, PN-100*	*–*	*1.0*	*0.61 l/h*	*61*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*UES-2-280A + M 550m-2410*	*–*	*1.25*	*25.0 l/h*	*250*
Mulching of woody and shrubby vegetation	*ha*	*70*	*UES-2-280A + M 550m-2410*	*2.2*	*31.8*	*260.5*	*18 235*
Uprooting trees	*ha*	*30*	*HITACHI ZX240-5G*	*0.46*	*65.2*	*375.7*	*11 271*
Piling up trees in a mound at the edge of a field	*ha*	*100*	*CHETRA T11.02 (до 200 л.с.)*	*1.53*	*65.4*	*130.7*	*13 070*
Surface layout	*ha*	*100*	*CHETRA T11.02*	*1.71*	*58.5*	*8.0*	*8 800*
Disking in 2 tracks	*ha*	*200*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	*10.52*	*19.0*	*21.14*	*4 228*
Plowing	*ha*	*100*	*K-735 ST, K-744 R2 + RN-100, PN-100*	*11.5*	*8.7*	*22.0*	*2 200*
Total:	*–*	*–*	*–*	*–*	*254.35*	*–*	*58 516*
Average degree of forestation (50 % shrubs, 50 % trees with a trunk diameter of 10 cm or more)							
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*CHETRA T11.02*	*–*	*1.25*	*16 l/h*	*160*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/r*	*10 h*	*HITACHI ZX240-5G*	*–*	*1.25*	*18 l/h*	*180*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/km*	*100 km*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	*–*	*1.0*	*0,61 l/h*	*61*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/km*	*100 km*	*K-735 ST, K-744 R2 + RN-100, PN-100*	*–*	*1.0*	*0,61 l/h*	*61*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*UES-2-280A + M 550m-2410*	*–*	*1.25*	*25.0 l/h*	*250*
Mulching of woody and shrubby vegetation	*ha*	*50*	*UES-2-280A + M 550m-2410*	*2.2*	*22.7*	*260.5*	*13 025*
Uprooting trees	*ha*	*50*	*HITACHI ZX240-5G*	*0.46*	*108.7*	*375.7*	*18 785*
Piling up trees in a mound at the edge of a field	*ha*	*100*	*CHETRA T11.02 (up to 200 hp)*	*1.53*	*65.4*	*130.7*	*13 070*
Surface layout	*ha*	*100*	*CHETRA T11.02*	*1.71*	*58.5*	*88.0*	*8 800*
Disking in 2 tracks	*ha*	*200*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	*10.52*	*19.0*	*21.14*	*4 228*
Plowing	*ha*	*100*	*K-735 ST, K-744 R2 + RN-100, PN-100*	*11.5*	*8.7*	*22.0*	*2 200*
Total:	*–*	*–*	*–*	*–*	*288.75*	*–*	*60 820*
Average degree of forestation (30 % shrubs, 70 % trees with a trunk diameter of 10 cm or more)							
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*CHETRA T11.02*	*–*	*1.25*	*16 l/h*	*160*

Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*HITACHI ZX240-5G*	–	*1.25*	*18 l/h*	*180*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/km*	*100 km*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	–	*1.0*	*0.61 l/h*	*61*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*UES-2-280A + M 550m-2410*	–	*1.25*	*25.0 l/h*	*250*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/km*	*100 km*	*K-735 ST, K-744 R2 + RN-100, PN-100*	–	*1.0*	*0.61 l/h*	*61*
Mulching of woody and shrubby vegetation	*ha*	*30*	*UES-2-280A + M 550m-2410*	*2,2*	*13.6*	*260.5*	*7 815*
Uprooting trees	*ha*	*70*	*HITACHI ZX240-5G*	*0,46*	*152.2*	*375.7*	*26 299*
Piling up trees in a mound at the edge of a field	*ha*	*100*	*CHETRA T11.02 (up to 200 hp)*	*1.53*	*65.4*	*130.7*	*13 070*
Surface layout	*ha*	*100*	*CHETRA T11.02*	*1.71*	*58.5*	*88.0*	*8 800*
Disking in 2 tracks	*ha*	*200*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	*10.52*	*19.0*	*21.14*	*4 228*
Plowing	*ha*	*100*	*K-735 ST, K-744 R2 + RN-100, PN-100*	*11.5*	*8.7*	*22.0*	*2 200*
Total	–	–	–	–	*323.15*	–	*63 124*
High degree of forestation (trees with a trunk diameter of 10 cm or more – 100 %)							
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*CHETRA T11.02*	–	*1.25*	*16 l/h*	*160*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/h*	*10 h*	*HITACHI ZX240-5G*	–	*1.25*	*18 l/h*	*180*
Transportation of equipment to and from the workplace	*l/km*	*100 km*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	–	*1.0*	*0.61*	*61*
Uprooting trees	*ha*	*100*	*HITACHI ZX240-5G*	*0.46*	*217.4*	*375.7*	*37 570*
Piling up trees in a mound at the edge of a field	*ha*	*100*	*CHETRA T11.02*	*1.53*	*65.4*	*130.7*	*13 070*
Surface layout	*ha*	*100*	*CHETRA T11.02*	*1.71*	*58.5*	*88.0*	*8 800*
Disking in 2 tracks	*ha*	*200*	*K-735 ST, K-744 R2 + BDN-3.0M*	*10.52*	*19.0*	*21.14*	*4 228*
Plowing	*ha*	*100*	*K-735 ST, K-744 R2 + RN-100, PN-100*	*11.5*	*8.7*	*22.0*	*2 200*
Total	–	–	–	–	*372.5*	–	*66 269*

На основе схемы проведения культуртехнических мероприятий по восстановлению сельскохозяйственных земель, выбывших из оборота, сформированы технологические карты и себестоимость комплекса работ по пяти классификациям зарастания сельскохозяйственных земель (таблица 2).

В результате расчетов выявлено, что по пяти классификациям зарастания земель затраты труда составили 76,45, 254,35, 288,75; 323,15, 372,5 нормо-смен соответственно.

На основе сформированных технологических карт рассчитана сумма затрат на проведение культуртехнических мероприятий по пяти классификациям зарастания земель (таблица 3).

Таблица 3

Свод затрат по введению земель сельскохозяйственного назначения, временно выбывших из оборота (на 100 га)

Статьи затрат, поступлений	Цена за ед., руб.	Технологии по классификации, тыс. руб.				
		Слабая степень зарастания (кустарник)	Средняя степень зарастания (кустарник – 70 %, лес – 30 %)	Средняя степень зарастания (кустарник – 50 %, лес – 50 %)	Средняя степень зарастания (кустарник – 30 %, лес – 70 %)	Сильная степень зарастания (лес)
ГСМ	61/л	1 554,0 тыс. руб.	3 926,4	4 042,4	4 235,6	4 446,6
Оплата труда с отчислениями	3 500/ смена	348,4 тыс. руб.	1 159,1	1 303,7	1 472,6	1 697,5
Амортизация	–	672,3	1 409,5	1 644,6	1 815,0	1 911,0
Текущий ремонт	–	665,6	1 395,4	1 598,5	1 796,8	1 892,0
Итого прямых затрат	–	3 240,3	7 890,4	8 589,2	9 320,0	9 947,1
Общехозяйственные и общепроизводственные расходы	5 %	162,0	394,5	429,5	466,0	497,4
Итого расходов	–	3 402,3	8 284,9	9 018,7	9 786,0	10 444,5
Стоимость сметы	–	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
Всего расходов	–	3 442,3	8 324,9	9 058,7	9 826,0	10 484,5
Всего расходов на 1 га	–	34,4	83,2	90,6	98,3	104,8
Заложенная рентабельность (сметная прибыль)	10 %	340,2	828,5	901,9	978,6	1 044,4
Всего расходов с учетом рентабельности	–	3 742,5	9 113,4	9 920,6	10 764,6	11 488,9
Всего расходов с учетом рентабельности в расчете на 1 га	–	37,4	91,1	99,2	107,6	114,9

Table 3

Summary of costs for the introduction of agricultural lands temporarily withdrawn from circulation (per 100 ha)

Items of expenses and receipts	*Price per unit, rub.*	*Classification technologies, thousand rubles*				
		Low degree of overgrowth (shrubs)	*Average degree of overgrowth (shrubs – 70 %, forest – 30 %)*	*Average degree of overgrowth (shrubs – 50 %, forest – 50 %)*	*Average degree of overgrowth (shrubs – 30 %, forest – 50 %)*	*High degree of overgrowth (forest)*
Fuel and lubricants	*61/l*	*1554.0 thousand rubles*	*3 926.4*	*4 042.4*	*4 235.6*	*4 446.6*
Remuneration with deductions	*3500 (per shift)*	*348.4 thousand rubles*	*1 159.1*	*1 303.7*	*1 472.6*	*1 697.5*
Depreciation	–	*672.3*	*1 409.5*	*1 644.6*	*1 815.0*	*1 911.0*
Current repairs	–	*665.6*	*1 395.4*	*1 598.5*	*1 796.8*	*1 892.0*
Total direct costs	–	*3 240.3*	*7 890.4*	*8 589.2*	*9 320.0*	*9 947.1*
General and administrative expenses	*5 %*	*162.0*	*394.5*	*429.5*	*466.0*	*497.4*
Total expenses	–	*3 402.3*	*8 284.9*	*9 018.7*	*9 786.0*	*10 444.5*
Cost estimates	–	*40.0*	*40.0*	*40.0*	*40.0*	*40.0*
Total expenses	–	*3 442.3*	*8 324.9*	*9 058.7*	*9 826.0*	*10 484.5*
Total expenses per 1 ha	–	*34.4*	*83.2*	*90.6*	*98.3*	*104.8*

Estimated profitability (estimated profit)	*10 %*	*340.2*	*828.5*	*901.9*	*978.6*	*1 044.4*
Total expenses including profitability	–	*3 742.5*	*9 113.4*	*9 920.6*	*10 764.6*	*11 488.9*
Total expenses, taking into account profitability per 1 ha	–	*37.4*	*91.1*	*99.2*	*107.6*	*114.9*

Таблица 4

Расчет субсидий на культуртехнические мероприятия (на 100 га площади),

Слабая степень зарастания (кустарник)	Средняя степень зарастания (кустарник – 70 %, лес – 30 %)	Средняя степень зарастания (кустарник – 50 %, лес – 50 %)	Средняя степень зарастания (кустарник -30 %, лес – 70 %)	Сильная степень зарастания (лес)
Рс = 3 402,3 × 50 % ≤ 29,2 × 100 га Рс = 1 701,15 ≤ 2 920	Рс = 8 284,9 × 50 % ≤ 79,9 × 100 га Рс = 4 142,45 ≤ 7 990	Рс = 9 018,7 × 50 % ≤ 79,9 × 100 га Рс = 4 509,35 ≤ 7 990	Рс = 9 786 × 50 % ≤ 79,9 × 100 га Рс = 4 893,0 ≤ 7 990	Рс = 10 444,5 × 50 % ≤ 97,8 × 100 га Рс = 5 222,25 ≤ 9 780

Table 4

Calculation of subsidies for cultural and technical measures (per 100 hectares of area), thousand rubles

Low degree of overgrowth (shrubs)	*Average degree of overgrowth (shrubs – 70 %, forest – 30 %)*	*Average degree of overgrowth (shrubs – 50 %, forest – 50 %)*	*Average degree of overgrowth (shrubs – 30 %, forest – 50 %)*	*High degree of overgrowth (forest)*
Pc = 3 402.3 × 50 % ≤ 29.2 × 100 ha Pc = 1 701.15 ≤ 2 920	*Pc = 8 284.9 × 50 % ≤ 79.9 × 100 ha Pc = 4 142.45 ≤ 7 990*	*Pc = 9018,7 × 50% ≤ 79,9 × 100 ha Pc = 4 509.35 ≤ 7 990*	*Pc = 9 786 × 50 % ≤ 79.9 × 100 ha Pc = 4 893.0 ≤ 7 990*	*Pc = 10 444.5 × 50 % ≤ 97,8 × 100 ha Pc = 5 222.25 ≤ 9 780*

Таблица 5

Основные результаты расчета по эффективности выращивания рапса озимого на маслосемена и пшеницы озимой (тыс. руб.)

Площадь, га	Урожайность, т/га	Валовой сбор, т	Затраты	Себестоимость 1 т	Цена реализации 1 т	Выручка	Прибыль в год	Прибыль с 1 га
Рапс озимый на маслосемена								
100	4,5	450,0	12 270,45	27,27	39,5	17 775,0	5 503,5	55,03
Пшеница озимая								
100	4,5	450,0	4 319,3	9,60	15,0	6 750,0	2 430,0	24,3

Table 5

Main results of the calculation of the efficiency of growing winter rapeseed for oilseeds and winter wheat (thousand rubles)

Area, ha	*Yield, t/ha*	*Gross revenue, t*	*Fuck you*	*Cost of 1 t*	*The selling price of 1 t*	*Revenue*	*Profit per year*	*Profit from 1 ha*
Winter rapeseed for oil seeds								
100	*4.5*	*450.0*	*12 270.45*	*27.27*	*39.5*	*17 775.0*	*5 503.5*	*55.03*
Winter wheat								
100	*4.5*	*450.0*	*4 319.3*	*9.60*	*15.0*	*6 750.0*	*2 430.0*	*24.3*

Таблица 6

Сроки окупаемости культуртехнических мероприятий после введения сельскохозяйственных площадей в оборот, тыс. руб. на 1 га в год

Показатель	Категории зарастания сельскохозяйственных угодий				
	Слабая (кустарник)	Средняя (кустарник – 70 %, лес – 30 %)	Средняя (кустарник – 50 %, лес – 50 %)	Средняя (кустарник – 30 %, лес – 70 %)	Сильная (лес)
Сумма затрат по восстановлению земель	37,4	91,1	99,2	107,6	114,9
Чистая прибыль от рапса	55,03	55,03	55,03	55,03	55,03
Срок окупаемости при возделывании рапса, лет	0,68	1,65	1,8	1,96	2,09
Субсидия	17,01	41,42	45,09	48,93	52,22
Срок окупаемости при возделывании рапса с учетом субсидии, лет	0,4	0,9	1,0	1,1	1,14
Чистая прибыль от пшеницы	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3
Срок окупаемости при возделывании пшеницы, лет	1,5	3,7	4,1	4,4	4,7
Срок окупаемости при возделывании пшеницы с учетом субсидии, лет	0,8	2,0	2,2	2,4	2,6

Table 6

Payback period for cultural and technical measures after the introduction of agricultural areas into circulation, (thousands of rubles per 1 hectare per year

Indicator	*Categories of overgrowth of agricultural land*				
	Low (shrubs)	*Average (shrubs – 70 %, forest – 30 %)*	*Average (shrubs – 50 %, forest – 50 %)*	*Average (shrubs – 30 %, forest – 50 %)*	*High (forest)*
The amount of land restoration costs	*37.4*	*91.1*	*99.2*	*107.6*	*114.9*
Net profit from rapeseed	*55.03*	*55.03*	*55.03*	*55.03*	*55.03*
Payback period for rapeseed cultivation, years	*0.68*	*1.65*	*1.8*	*1.96*	*2.09*
Subsidy	*17.01*	*41.42*	*45.09*	*48.93*	*52.22*
Payback period for rapeseed cultivation, taking into account subsidies, years	*0.4*	*0.9*	*1.0*	*1.1*	*1.14*
Net profit from wheat	*24.3*	*24.3*	*24.3*	*24.3*	*24.3*
Payback period for wheat cultivation, years	*1.5*	*3.7*	*4.1*	*4.4*	*4.7*
Payback period for wheat cultivation, taking into account subsidies, years	*0.8*	*2.0*	*2.2*	*2.4*	*2.6*

В результате расчетов выявлено, что себестоимость комплекса выполняемых работ по культуртехническим мероприятиям в расчете на 1 га составила 37,4; 91,1; 99,2; 107,6; 114,9 тыс. руб. по пяти классификациям соответственно.

Произведен расчет субсидий согласно формуле (1) в зависимости от степени зарастания земель лесом (таблица 4).

В результате расчетов установлено, что по пяти классификациям субсидия может составлять 17,01, 41,42, 45,09, 48,93, 52,22 тыс. руб. в расчете на 1 га соответственно.

С целью определения сроков окупаемости культуртехнических мероприятий произведен расчет технологических карт по выращиванию рапса озимого на маслосемена и пшеницы озимой по заданным технологиям и ценовым параметрам и рассчитана сумма затрат на выращивание этих культур (таблица 5). В данном случае предлагаются культуры, которые подходят для выращивания на первом этапе после ввода в оборот сельскохозяйственных земель и являются наиболее рентабельными, с целью окупаемости произведенных затрат на культуртехнические мероприятия.

В результате расчета технологических карт по выращиванию рапса озимого на маслосемена и пшеницы озимой выявлено, что затраты при их возделывании на площади 100 га составили 12 270,45 и 4 319,3 тыс. руб. соответственно, годовая масса прибыли по рапсу озимому составила 5 503,5 тыс. руб.,

по пшенице озимой – 2 430 тыс. руб. Уровень рентабельности составил 44,8 % и 56,2 % соответственно, что указывает на высокую эффективность производства данной продукции в Калужском регионе при условии соблюдения технологии производства и стабильности ценового предложения. Полученные показатели положительно характеризуют данные культуры как адаптированные в калужском регионе (таблица 6), расчет приведен ниже.

Произведен расчет сроков окупаемости затрат по введению сельскохозяйственных земель в оборот при производстве озимого рапса и озимой пшеницы без получаемых субсидий и с их учетом (таблица 6).

Результаты исследований показали, что при возделывании на восстановленных землях рапса озимого на маслосемена срок окупаемости затрат на культуртехнические мероприятия без учета получаемой субсидии составил от 0,7 до 2,09 года, а с учетом субсидии – от 0,4 до 1,14 года. При возделывании пшеницы озимой без учета субсидии – от 1,5 до 4,7 года, с учетом субсидии – от 0,8 до 2,6 года.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. В результате исследований разработана экономически обоснованная система культуртехнических мероприятий по введению в оборот земель сельскохозяйственного назначения, временно выбывших из оборота, со сроками окупаемости в зависимости от степени залесения и посева разных культур по пяти классификациям зарастания земель: слабая; средняя (70 % кустарников и 30 % деревьев); средняя (50 % кустарников и 50 % деревьев); средняя (30 % кустарников и 70 % деревьев); сильная (деревья).

2. Выявлено, что:

– согласно сформированным технологическим картам, затраты труда на площади 100 га составили 76,45, 254,35, 288,75; 323,15, 372,5 нормо-смен соответственно;

– себестоимость комплекса выполняемых работ по культуртехническим мероприятиям с учетом рентабельности 10 % в расчете на 1 га составила: 37,4; 91,1; 99,2; 107,6; 114,9 тыс. руб. соответственно (в ценах 2025 года);

– максимальная сумма субсидий за выполненные работы составила 17,01; 41,42; 45,09; 48,93; 52,22 тыс. руб. соответственно;

– при возделывании на восстановленных землях рапса озимого на маслосемена срок окупаемости затрат на культуртехнические мероприятия без учета получаемой субсидии составил от 0,7 до 2,09 года, а с учетом субсидии – от 0,4 до 1,14 года. При возделывании пшеницы озимой срок окупаемости затрат на культуртехнические мероприятия без учета субсидии составил от 1,5 до 4,7 года, с учетом субсидии – от 0,8 до 2,6 года.

Библиографический список

1. Солодков Н. Н., Оводова М. В. Дифференцированный подход к рекультивации залесенных земель как фактор устойчивого развития сельских территорий (на примере Нижнеломовского района) // Научное обеспечение технологического суверенитета агропромышленного комплекса: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2025. С. 174–179.

2. Ситникова Ю. М. Информационное обеспечение вовлечения неиспользуемых сельскохозяйственных угодий в оборот // Молодежная наука 2025: технологии, инновации: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 95-летию со дня образования Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д. Н. Прянишникова. Пермь, 2025. С. 321–326.

3. Максименко Е. В., Юрченко К. А. Повышение эффективности использования земель фонда перераспределения в Абинском районе Краснодарского края // Региональные геосистемы. 2025. Т. 49, № 4. С. 830–839. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-3.

4. Лянденбурская А. В. Повышение эффективности вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения // Организационно-методические аспекты повышения качества образовательной деятельности и подготовки обучающихся по программам высшего и среднего профессионального образования: сборник статей V Всероссийской научно-методической конференции. Пенза, 2023. С. 227–230.

5. Лянденбурская А. В. Культуртехнические работы на землях сельскохозяйственного назначения // Организационно-методические аспекты повышения качества образовательной деятельности и подготовки обучающихся по программам высшего и среднего профессионального образования: сборник статей IV Всероссийской научно-методической конференции. Пенза, 2022. С. 230–232.

6. Гладинов А. Н., Кисова С. В., Семиусова А. С., Коновалова Е. В., Олзоева Э. Б. Проблема зарастания лесом земель сельскохозяйственного назначения и перспективы их использования // Вестник бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2025. № 2 (79). С. 148–154. DOI: 10.34655/bgsha.2025.79.2.017.

7. Шевчук А. С. Проблемы использования сельскохозяйственных земель Хабаровского края // Региональные проблемы. 2025. Т. 28, № 4. С. 53–61. DOI: 10.31433/2618-9593-2025-28-4-53-61.

8. Митин С. Г., Сысоев Г. В., Старостина И. А., Ещин А. В. Технико-технологическое обеспечение вовлечения в оборот залежных земель // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. 2024. № 118. С. 276–308. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-276-308.

9. Бурлуцкий В. А., Мазуров В. Н., Семешкина П. С., Косолапов В. П. Продукционный потенциал и освоение растительных сообществ залежных земель Мещовского ополья в Калужской области // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 1. С. 45–52. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/45-52.

10. Burlutskiy V., Mazurov V., Borodina E., Kosolapov V., Peliy A., Voronov S., Davydova N., Kazachenko A, Shatokhin A. Productivity and development of secondary phytocenoses for hay fields of the central economic region in the non-chernozem zone of the Russian Federation // Research on Crops. 2021. Vol. 22. No. 3. Pp. 727–736. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.124.

11. Трубников Ю. Н., Шпедт А. А. Изменение свойств почв разновозрастных залежей и агротехнические приемы их освоения // Почвы и окружающая среда. 2024. Т. 7, № 3. Article number 6. DOI: 10.31251/pos.v7i3.279.12. Алдошин Н. В., Васильева А. С. Обоснование механизированной технологии ввода залежных земель в оборот под семенники многолетних трав // Техника и оборудование для села. 2022. № 1. С. 12–16. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-1-12-16.

13. Кирейчева Л В., Шевченко В. А., Юрченко И. Ф. Эколого-экономическое обоснование введения в сельскохозяйственный оборот длительно неиспользуемых земель // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 3. С. 8–12. DOI: 10.30850/vrsn/2021/3/8-12.

14. Егорова П. Р. Оценка срока окупаемости финансовых вложений в проведение проектных работ по вводу в оборот земель сельскохозяйственного назначения неверкинского района пензенской области // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса: сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых. Пенза, 2025. С. 11–14.

15. Молод С. С., Ершов В. Л. Урожайность яровой мягкой пшеницы на разработанных комплексных залежных землях степной зоны западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2025. № 6. С. 5–11. DOI: 10.53083/1996-4277-2025-248-6-5-11.

Об авторах:

Любовь Васильевна Кузнецова, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, Калужский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха, Калуга, Россия; ORCID 0000-0001-6225-1663, AuthorID 822041.
E-mail: torg.kniish@mail.ru

Владимир Николаевич Мазуров, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Калужский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха, Калуга, Россия; ORCID 0000-0003-3427-0116, AuthorID 178413.
E-mail: knipti.mazurov@mail.ru

References

1. Solodkov N. N., Ovodova M. V. A differentiated approach to recultivation of fallow lands as a factor of sustainable rural development (on the example of the Nizhnelomovsky district). *Scientific support for technological sovereignty in the agro-industrial complex: collection of articles from the All-Russian scientific and practical conference.* Penza, 2025. Pp. 174–179. (In Russ.)

2. Sitnikova Yu. M. Information support for the involvement of unused agricultural land in circulation. *Youth science 2025: technologies, innovations: proceedings of the All-Russian Scientific and practical conference of young scientists, postgraduate students, and students dedicated to the 95th anniversary of the establishment of the D. N. Pryanishnikov Perm State Agrarian and Technological University*. Perm, 2025. Pp. 321–326. (In Russ.)

3. Maksimenko E. V., Yurchenko K. A. Enhancing the efficiency of using the redistribution fund lands in the Abinsky district of the Krasnodar territory. *Regional Geosystems.* 2025; 49 (4): 830–839. DOI: 10.52575/2712-7443-2025-49-4-1-3. (In Russ.)

4. Lyandenburskaya A. V. Improving the effectiveness of engagement in the turnover of agricultural land. *Organizational and methodological aspects of improving the quality of educational activities and training of students in higher and secondary vocational education programs: collection of articles from the V All-Russian scientific and methodological conference.* Penza, 2023. Pp. 227–230. (In Russ.)

5. Lyandenburskaya A. V. Cultural works on agricultural lands. *Organizational and methodological aspects of improving the quality of educational activities and training of students in higher and secondary vocational education programs: collection of articles from the IV All-Russian scientific and methodological conference.* Penza, 2022. Pp. 230–232. (In Russ.)

6. Gladinov A. N., Kisova S. V., Semiusova A. S., Konovalova E. V., Olzoeva E. B. The problem of forest overgrowing of agricultural lands and prospects for their use. *Buryat State Academy of Agriculture named after V. Filippov.* 2025; 2 (79): 148–154. DOI: 10.34655/bgsha. 2025.79.2.017. (In Russ.)

7. Shevchuk A. S. Problems of agricultural land use in the Khabarovsk territory. *Regional Issues.* 2025; 28 (4): 53–61. DOI: 10.31433/2618-9593-2025-28-4-53-61. (In Russ.)

8. Mitin S. G., Sysoev G. V., Starostin I. A., Eshchin A. V. Technical and technological support for the involvement of fallow lands in agriculture. *Dokuchaev Soil Bulletin.* 2024; 118: 276–308. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-276-308. (In Russ.)

9. Burlutskiy V. A., Mazurov V. N., Semeshkina P. S., Kosolapov V. M. Production capabilities and expoliation of fallow lands plant communities of Meshchovsky opolye in the Kaluga region. *Vestnik of the Russian Agricultural Science.* 2021; 1: 45–52. DOI: 10.30850/vrsn/2021/1/45-52. (In Russ.)

10. Burlutskiy V., Mazurov V., Borodina E., Kosolapov V., Peliy A., Voronov S., Davydova N., Kazachenko A., Shatokhin A. Productivity and development of secondary phytocenoses for hay fields of the central economic region in the non-chernozem zone of the Russian Federation. *Research on Crops.* 2021; 22 (3): 727–736. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.124.

11. Trubnikov Yu. N., Shpedt A. A. Changes in soil properties of differently aged abandoned lands and agrotechnical methods for the land development. *The Journal of Soils and Environment.* 2024; 7 (3): 6. DOI: 10.31251/pos.v7i3.279. (In Russ.)

12. Aldoshin N. V., Vasilyev A. S. Substantiation of the mechanized technology of putting fallow lands into circulation for the testes of perennial grasses. *Technology and Equipment for the Village.* 2022; 1: 12–16. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-1-12-16. (In Russ.)

13. Kireycheva L. V., Shevchenko V. A., Yurchenko I. F. Ecological and economic justification of a long-time unused lands introduction into agricultural circulation. *Bulletin of the Russian Agricultural Science.* 2021; 3: 8–12. DOI: 10.30850/vrsn/2021/3/8-12. (In Russ.)

14. Egorova P. R. Assessment of the payback period for financial investments in carrying out design work on land commissioning agricultural purposes Neverkinskiy district, Penza region. *Innovative ideas of young researchers for the agro-industrial complex: collection of materials of the international scientific and practical conference of young scientists.* Penza, 2025. Pp. 11–14. (In Russ.)

15. Molod S. S., Ershov V. L. Spring soft wheat yields on developed compound fallow lands of the steppe zone of West Siberia. *Bulletin of the Altai State Agrarian University.* 2025; 6: 5–11. DOI: 10.53083/1996-4277-2025-248-6-5-11. (In Russ.)

Authors' information:

Lyubov V. Kuznetsova, candidate of economic sciences, leading researcher, Kaluga Research Institute of Agriculture – a branch of the Federal Potato Research Center named after A. G. Lorch, Kaluga, Russia;
ORCID 0000-0001-6225-1663, AuthorID 822041. *E-mail: torg.kniish@mail.ru*

Vladimir N. Mazurov, candidate of agricultural sciences, director, Kaluga Research Institute of Agriculture – a branch of the Federal Potato Research Center named after A. G. Lorch, Kaluga, Russia;
ORCID 0000-0003-3427-0116, AuthorID 178413. *E-mail: knipti.mazurov@mail.ru*

УДК 338.43
Код ВАК 5.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2096-2106

Оценка перспективы развития российского рынка препаратов для гуманной эвтаназии животных

Е. О. Миргородская, Ю. Ю. Медведева✉, А. М. Ермаков
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
✉*E-mail: jjmedvet@yandex.ru*

Аннотация. Статья посвящена исследованию текущего состояния и перспектив развития российского рынка препаратов для эвтаназии животных. **Актуальность** исследования обусловлена ужесточением нормативно-правовых требований к методам умерщвлению сельскохозяйственных, домашних и безнадзорных животных, а также отсутствием в России системного подхода к производству и применению зарегистрированных средств для гуманной эвтаназии**. Цель** исследования заключается в оценке потенциала российского рынка в сегменте гуманных эвтанизирующих препаратов, определении перспективы разработки и вывода на рынок препарата для безболезненной эвтаназии животных. **Методология** исследования опирается на ретроспективный анализ объемов эвтаназии сельскохозяйственных животных в России за 2021, 2022, 2023 годы. Для определения емкости рынка произведен расчет стоимости эвтаназии препаратом, применяемым в отечественной практике, но не соответствующим актуальным этическим и законодательным нормам**. Научная новизна.** Определена потенциальная емкость рынка для препарата гуманной эвтаназии, обоснованы факторы, определяющие необходимость и целесообразность выведения такого препарата на рынок. **Результаты.** Общее количество эвтанизированных животных в отечественном сельском хозяйстве с 2021 по 2023 г. составило 1 065 508 голов свиней, 32 223 голов крупного рогатого скота, 20 558 голов мелкого рогатого скота, 13 520 425 голов птицы. Емкость рынка препаратов для эвтаназии животных составляла 109,169 млн руб. в год, при этом 84 % рынка занимает эвтаназия свиней. **Практическая значимость.** Выявлены перспективы развития российского рынка гуманных препаратов для эвтаназии животных: значительная емкость российского рынка препаратов для эвтаназии сельскохозяйственных животных, его расширение в перспективе за счет развития рынков эвтаназии беспризорных и домашних животных в отсутствие возможности импортозамещения и в условиях ужесточения законодательных и этичных требований.

Ключевые слова: ветеринария, емкость рынка, животноводство, издержки, стоимость, эвтаназия

Для цитирования: Миргородская Е. О., Медведева Ю. Ю., Ермаков А. М. Оценка перспективы развития российского рынка препаратов для гуманной эвтаназии животных // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 10. С. 2096–2106. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2096-2106.

Дата поступления статьи: 03.08.2026, ***дата рецензирования:*** 20.08.2026, ***дата принятия:*** 11.09.2026.

© Миргородская Е. О., Медведева Ю. Ю., Ермаков А. М., 2026

Assessment of the development prospects of the Russian market for humane animal euthanasia drugs

E. O. Mirgorodskaya, Yu. Yu. Medvedeva✉, A. M. Ermakov
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
✉*E-mail: jjmedvet@yandex.ru*

Abstract. The article is devoted to the study of the current state and development prospects of the Russian market of drugs for animal euthanasia. **The relevance** of the study is due to the tightening of regulatory requirements for methods of killing agricultural, domestic and neglected animals, as well as the lack of a systematic approach in Russia to the production and use of registered means for humane euthanasia. **The purpose** of the study is to assess the potential of the Russian market in the segment of humane euthanizing drugs, to determine the prospects for the development and market launch of a drug for painless euthanasia of animals. The research **methodology** is based on a retrospective analysis of the volume of euthanasia of farm animals in Russia for 2021, 2022, 2023 years. To determine the market capacity, the cost of euthanasia with a drug used in domestic practice, but not conforming to current ethical and legislative standards, was calculated. **Scientific novelty.** The potential market capacity for a humane euthanasia drug has been determined, and the factors determining the necessity and expediency of bringing such a drug to the market have been substantiated. **Results.** The total number of euthanized animals in the agriculture of the Russian Federation for the period from 2021 to 2023 amounted to 1 065 508 head of pigs, 32 223 head of cattle, 20 558 head of small ruminants, and 13 520 425 head of poultry. The market capacity of drugs for animal euthanasia was 109 169 million rubles per year, while 84 % of the market is occupied by pig euthanasia**. Practical significance.** The prospects for the development of the Russian market of humane drugs for the euthanasia of animals have been identified: the significant capacity of the Russian market of drugs for the euthanasia of farm animals, its expansion in the future due to the development of markets for the euthanasia of homeless and domestic animals in the absence of import substitution and in the context of stricter legislative and ethical requirements.

Keywords: livestock farming, euthanasia, market capacity, cost, veterinary medicine, costs

For citation: Mirgorodskaya E. O., Medvedeva Yu. Yu., Ermakov A. M. Assessment of the development prospects of the Russian market for humane animal euthanasia drugs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (10): 2096–2106. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-10-2096-2106. (In Russ.)

Date of paper submission: 03.08.2026, ***date of review:*** 20.08.2026, ***date of acceptance:*** 11.09.2026.

© Mirgorodskaya E. O., Medvedeva Yu. Yu., Ermakov A., 2026

Постановка проблемы (Introduction)

Эвтаназия сельскохозяйственных животных – распространенная процедура в ветеринарии, вынужденная мера гуманного умерщвления животного в связи с тяжелой болезнью, переносимыми мучениями [1]. В мировой ветеринарной практике полная или частичная депопуляция применяется для прекращения распространения массовых заразных заболеваний животных при необходимости полной ликвидации эпизоотического очага, для уничтожения восприимчивого поголовья, в случае когда другие меры ликвидации эпизоотического очага неэффективны или могут привести к распространению инфекции (например, африканской чумы свиней, гриппа птиц) [2; 3]. В случае эпизоотической вспышки зачастую возникает запрет на вывоз животных за пределы хозяйства и проведение убоя обычным для данного вида животных методом ввиду необходимости защиты окружающей среды от распространения возбудителя инфекции, поэтому требуется бескровное умерщвление животных с применением специальных методов и препаратов.

Методы эвтаназии, используемые в народном хозяйстве, подразделяют на фармакологические и физические.

К фармакологическим относят внутривенные и внутримышечные инъекции анестетиков и препаратов, влияющих на работу сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Например, введение барбитуратов в крупную вену – эффективный метод эвтаназии. При правильном применении происходит быстрая потеря сознания с последующим замедлением, а затем остановкой дыхания и сердцебиения. Однако у данного способа есть несколько существенных недостатков: для хранения и применения данной группы препаратов требуются специальные разрешения и/или лицензии, что не всегда возможно в условиях сельского хозяйства; данный метод ограничивает возможности утилизации туш: содержание остатков барбитуратов в тканях туши может

быть высокими, на мясо ее, как правило, направить нельзя, к такой туше также не должны получить доступ дикие животные-падальщики.

Также к фармакологическим методам относят усыпление с использованием газовых анестетиков и углекислого газа. Подобные методы невозможно применить на практике при убое большого числа животных в случае массовой эпизоотии, где поголовье распределено по большой территории. Также эти методы нельзя применять дистанционно, при помощи внутримышечного введения дротиками.

На территории РФ для массовой эвтаназии сельскохозяйственных животных, как правило, используют бисдиметилсульфат бисдиметиламиноэтилового эфира янтарной кислоты (торговое название «Адилин-супер»). Это курареподобный препарат, вызывающий паралич дыхательных мышц животного, находящегося в сознании.

Согласно современным тенденциям и рекомендациям международных организаций, эвтаназия животных должна проводиться гуманными методами, минимизирующими боль, страдания и беспокойство, испытываемые животным до потери сознания, и вызывающими быструю потерю сознания с последующей остановкой сердечной деятельности или дыхания и смерть [3–5]. Результаты исследования показывают, что ветеринары стремятся к тому, чтобы процедура эвтаназии была безболезненной и не вызывала у животного беспокойства, положительно относятся к использованию гипнотических препаратов перед эвтаназией [6]. Использование курареподобных препаратов в монорежиме прямо порицается всеми международными организациями как бесчеловечное и негуманное обращение с животным и прямо запрещено [7]. Запрет на использование негуманных способов эвтаназии закреплен законодательно как на национальном, так и на международном уровне. Следовательно, владелец животных, вынужденный эвтаназировать их в случае распространения инфекции, помимо прямых экономических убытков от эпизоотии, подвергает себя репутационным и юридическим рискам: нарушению закона «Об ответственном обращении с животными» и статьи 245 УК РФ [8; 9].

В связи с перечисленными факторами актуализируется вопрос поиска гуманных фармакологических методов эвтаназии, которые могут применяться в широкой ветеринарной практике и отвечать запросам отечественного рынка в решении глобальной этической проблемы гуманного обращения с животными.

Цель статьи – исследовать емкость российского рынка гуманных препаратов для эвтаназии животных на основе анализа текущей ситуации и потенциала рынка препаратов эвтаназии.

Методология и методы исследования (Methods)

В исследовании применен метод ретроспективного анализа для определения масштабов эвтаназии сельскохозяйственных животных в Российской Федерации. Для оценки емкости рынка произведен расчет стоимости эвтаназии препаратом, широко применяемым в отечественной практике, но не соответствующим актуальным этическим и законодательным нормам. В качестве информационных источников использованы официальные статистические данные, публикации в средствах массовой информации, публикации по теме исследования в научной отечественной и зарубежной литературе, а также результаты собственных исследований авторов.

Результаты (Results)

За последние несколько лет на территории РФ были выявлены очаги особо опасных инфекций сельскохозяйственных животных и птицы. Основной причиной эвтаназии свиней в сельском хозяйстве является опасное заболевание – африканская чума свиней (АЧС). Это высококонтагиозная вирусная болезнь свиней, относится к списку «А» Международной классификации заразных болезней животных. Согласно ветеринарным правилам осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов африканской чумы свиней, при обнаружении хотя бы одного больного животного ликвидации подлежит все поголовье хозяйства и угрожаемой зоны. Общее количество свиней, подвергнутых эвтаназии в период с 2021 по 2023 год, отраженное в ежегодных докладах Министерства сельского хозяйства составило 1 065 508 голов, динамика представлена на рис. 1.

Основным заболеванием, при котором показана эвтаназия крупного рогатого скота, является бруцеллез. Согласно ветеринарным правилам по борьбе с бруцеллезом, в эпизоотическом очаге уничтожаются все больные животные [13].

Основное количество эвтаназии КРС за 2021–2024 годы происходило при бруцеллезе и заразном узелковом дерматите крупного рогатого скота.

Общее количество КРС, подвергнутого эвтаназии за 2021–2023 годы, согласно данным, полученным из открытых источников, оставило 32 223 головы, динамика представлена на рис. 2.

Согласно ветеринарным правилам по борьбе с оспой овец и коз, осуществляется уничтожение всех больных животных [14]. Общее количество мелкого рогатого скота (МРС), подвергнутого эвтаназии за период с 2021 по 2023 год, составило 20 558 голов, динамика представлена на рис. 3.

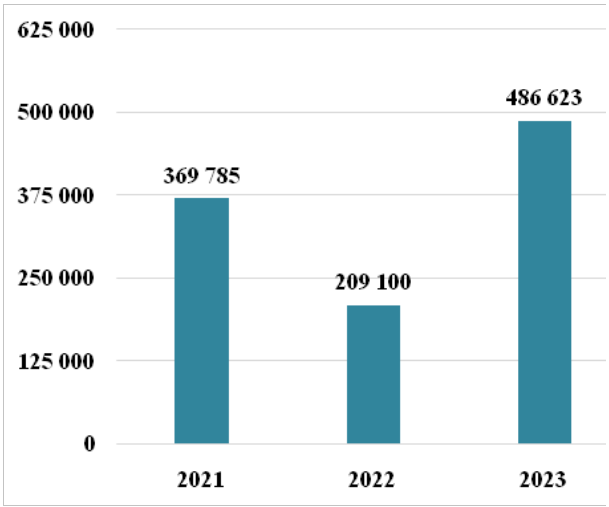


Рис. 1. Эвтаназия свиней на территории РФ в период с 2021 по 2023 год (голов)
Источник: составлено авторами на основе данных [10; 11; 12]
Fig. 1. Euthanasia of pigs on the territory of the Russian Federation in the period from 2021 to 2023 (heads)
Source: compiled by the authors based on data from [10; 11; 12]

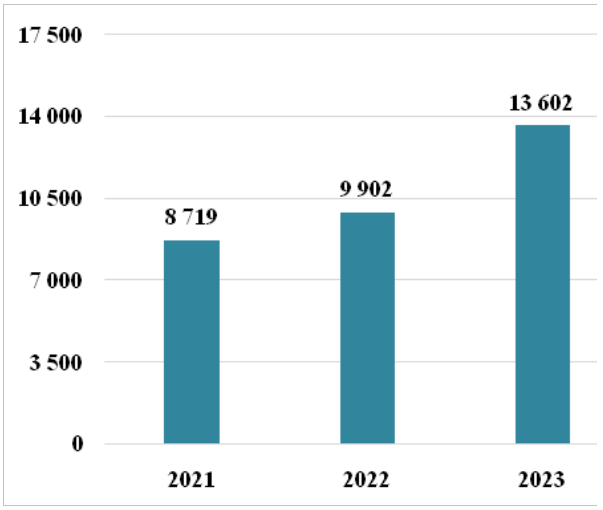


Рис. 2. Эвтаназия КРС на территории РФ в период с 2021 по 2023 год (голов)
Источник: составлено авторами на основе данных [10; 11; 12]
Fig. 2. Cattle euthanasia in Russia, 2021–2023 (heads)
Source: compiled by the authors based on data from [10; 11; 12]

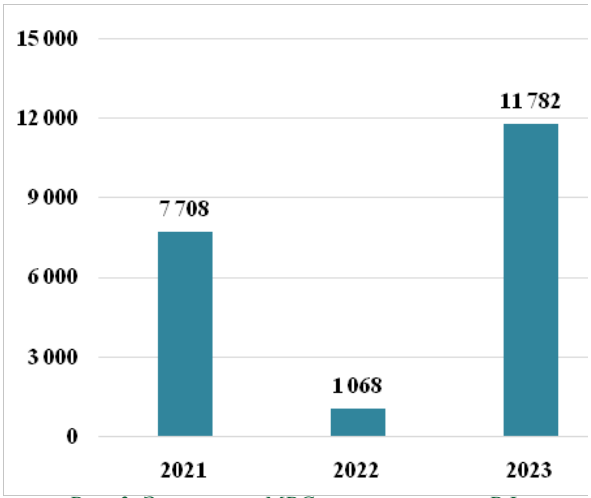


Рис. 3. Эвтаназия МРС на территории РФ в период с 2021 по 2023 год (голов)
Источник: составлено авторами на основе данных [10; 11; 12; 16]
Fig. 3. Small ruminant euthanasia in Russia, 2021–2023 (heads)
Source: compiled by the authors based on data from [10; 11; 12, 16]

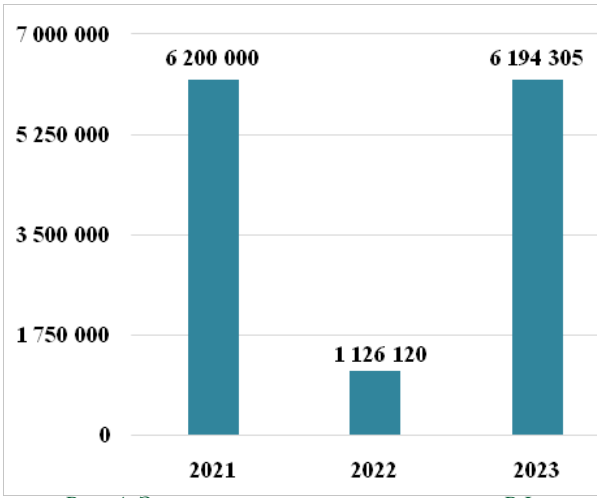


Рис. 4. Эвтаназия птицы на территории РФ в период с 2021 по 2023 (голов)
Источник: составлен авторами на основе данных [10; 11; 12]
Fig. 4. Poultry euthanasia in Russia, 2021–2023 (heads)
Source: compiled by the authors based on data from [10; 11; 12]

Заболеванием, при котором осуществляется массовый убой птицы, является высокопатогенный грипп птиц. Согласно ветеринарным правилам осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов высокопатогенного гриппа птиц, при обнаружении на птицефабрике возбудителя высокопатогенного гриппа птиц необходимо провести бескровный убой всей птицы, содержащейся на птицефабрике [15].

Общее количество птицы, подвергнутой эвтаназии в период с 2021 по 2023 год, согласно данным из открытых источников, составило 13 520 425 голов, динамика представлена на рис. 4.

Общее количество животных, подвергнутых эвтаназии в период с 2021 по 2023 год, согласно данным, полученным из открытых источников, представлено в таблице 1.

Согласно данным таблицы 1, в 2021 году было подвергнуто эвтаназии 369 785 голов свиней, 8 719 голов КРС, 7 708 голов МРС, 6,2 млн голов птицы. В 2022 году количество животных, подвергнутых

эвтаназии, составило 209 100 голов свиней, 9 902 головы КРС, 1 068 голов МРС, 1,23 млн голов птицы. В 2023 году было эвтаназировано 486 623 головы свиней, 13 602 головы КРС, 11 782 головы МРС, 6,19 млн голов птицы. При пересчете голов на туши, которые можно в дальнейшем пустить в переработку при условии применения безопасного препарата, объем пригодного к переработке мясного сырья составил бы 48 662 тонны свинины, 5 440 тонн говядины, 589 тонн мяса МРС, 9 291 тонну птицы.

Общее количество животных, подвергшихся эвтаназии, из года в год остается примерно на одном уровне, это связано с постоянно возникающими эпизоотическими очагами в разных регионах РФ. При сохраняющемся темпе роста производства скота и птицы в России можно предполагать, что количество животных, подвергающихся эвтаназии, не будет уменьшаться.

На территории РФ для массовой эвтаназии сельскохозяйственных животных, как правило, используют Адилин (торговое название «Адилин-супер»). Оценка текущей потребности в средствах для эвтаназии сельскохозяйственных животных в Российской Федерации произведена на примере препарата «Адилин-супер» в дозах, предназначенных для целевых животных, согласно инструкции по применению.

Таблица 1

Количество сельскохозяйственных животных, подвергшихся эвтаназии, (голов)

Вид животного	2021	2022	2023	Итого	Средний вес туши, кг	Гипотетический объем пригодного к переработке мясного сырья, кг (по данным 2023 года)
Свиньи	369 785	209 100	486 623	1 065 508	100	48 662 300
КРС	8 719	9 902	13 602	32 223	400	5 440 800
МРС	7 708	1 068	11 782	20 558	50	589 100
Птица	6 200 000	1 126 120	6 194 305	13 520 425	1,5	9 291 457,5

Источник: рассчитано авторами по результатам исследования.

Table 1

Number of agricultural animals subjected to euthanasia, (head count)

Animal species	*2021*	*2022*	*2023*	*Total*	*Average carcass weight, kg*	*Hypothetical processing-ready meat volume, kg (2023 data)*
Pigs	*369 785*	*209 100*	*486 623*	*1 065 508*	*100*	*48 662 300*
Cattle	*8 719*	*9 902*	*13 602*	*32 223*	*400*	*5 440 800*
Small ruminants	*7 708*	*1 068*	*11 782*	*20 558*	*50*	*589 100*
Poultry	*6 200 000*	*1 126 120*	*6 194 305*	*13 520 425*	*1,5*	*9 291 457.5*

Source: calculated by the authors based on research data.

Таблица 2

Расчет стоимости эвтаназии одного животного при использовании препарата «Адилин-супер» в соответствии с инструкцией по применению препарата

№ п/п	Вид животного	Средний вес взрослого животного	Доза препарата, мг/кг	Стоимость, руб.
1	Свиньи	150	10	259,55
2	КРС	600		1 038,21
3	Козы	50		86,52
4	Овцы	70		121,12
5	Птица	3	3	1,56

Источник: рассчитано авторами по материалам исследования.

Table 2

Calculation of the cost of euthanasia per animal using the drug “Adilin-super” in accordance with the instructions for use

No.	*Animal species*	*Average adult animal weight, kg*	*Dose, mg/kg*	*Cost, rubles*
1	*Pigs*	*150*	*10*	*259.55*
2	*Cattle*	*600*		*1 038.21*
3	*Goats*	*50*		*86.52*
4	*Sheep*	*70*		*121.12*
5	*Poultry*	*3*	*3*	*1,56*

Source: calculated by the authors based on research data.

Таблица 3

Расчет стоимости эвтаназии животных при использовании препарата Адилин-супер

Год	Количество усыпленных за год животных	Стоимость расхода препарата на одно животное, руб.	Итоговая стоимость, руб.
Свиньи			
2021	369 785	259,55	95 978 621,21
2022	209 100		54 272 427,75
2023	486 123		126 304 216,21
Итого	1 065 508		276 555 265,17
Среднее значение за год (руб.): 92 185 088,39			
КРС			
2021	8 719	1 038,21	9 052 152,99
2022	9 902		10 280 355,42
2023	8 212		8 525 780,52
Итого	32 223		27 858 288,93
Среднее значение за год (руб.): 9 286 096,31			
МРС			
2021	7 708	103,82	800 252,27
2022	1 068		110 880,83
2023	11 782		1 223 219,02
Итого	20 558		2 134 352,12
Среднее значение за год (руб.): 711 450,71			
Птица			
2021	6 200 000	1,56	9 672 000
2022	1 126 120		1 756 747,20
2023	6 194 305		9 646 484,09
Итого	13 520 425		21 091 863
Среднее значение за год (руб.): 7 030 621			

Источник: составлено авторами по материалам исследования.

Table 3

Calculation of the cost of animal euthanasia using the drug "Adilin-super"

Year	*Number of animals euthanized per year*	*Cost of the drug per animal, rubles*	*Total cost, rubles*
Pigs			
2021	*369 785*	*259.55*	*95 978 621.21*
2022	*209 100*		*54 272 427.75*
2023	*486 123*		*126 304 216.21*
Total	*1 065 508*		*276 555 265.17*
Average annual value (rubles): 92 185 088.39			
Cattle			
2021	*8 719*	*1 038.21*	*9 052 152.99*
2022	*9 902*		*10 280 355.42*
2023	*8 212*		*8 525 780.52*
Total	*32 223*		*27 858 288.93*
Average annual value (rubles): 9 286 096,31			
Small ruminants			
2021	*7 708*	*103.82*	*800 252.27*
2022	*1 068*		*110 880.83*
2023	*11 782*		*1 223 219.02*
Total	*20 558*		*2 134 352.12*
Average annual value (rubles): 711 450.71			
Poultry			
2021	*6 200 000*	*1.56*	*9 672 000*
2022	*1 126 120*		*1 756 747.20*
2023	*6 194 305*		*9 646 484.09*
Total	*13 520 425*		*21 091 863*
Average annual value (rubles): 7 030 621			

Source: calculated by the authors based on research data.

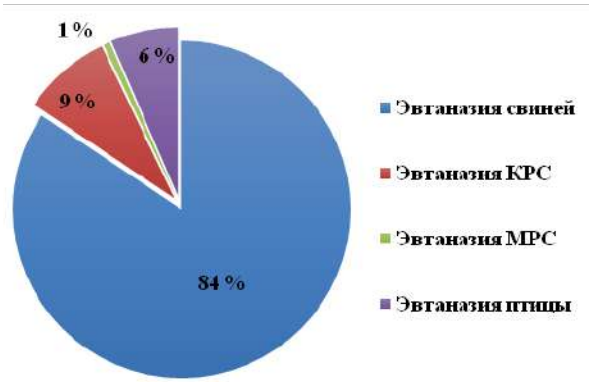


Рис. 5. Структура потенциального спроса на рынке эвтаназии животных при использовании препарата «Адилин-супер», %
Источник: составлено авторами по материалам исследования

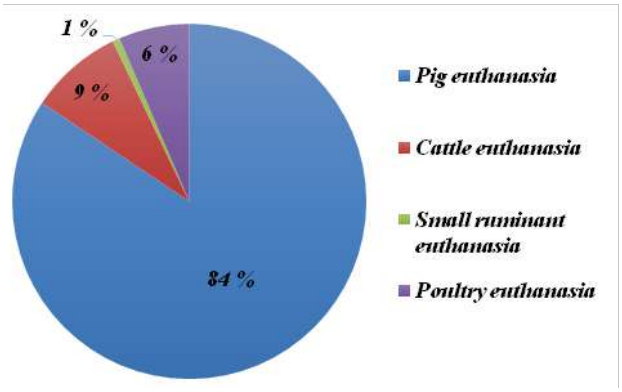


Fig. 5. Share of potential demand in the animal euthanasia market for the drug "Adilin-super", %
Source: compiled by the authors based on the research materials

«Адилин-супер» – лекарственный препарат на основе бисдиметилсульфата бисдиметиламиноэтилового эфира янтарной кислоты, предназначен для вынужденного бескровного умерщвления животных с целью профилактики распространения инфекций и ликвидации очагов инфекций, в том числе при особо опасных заболеваниях, таких как бешенство, африканская чума свиней, грипп птиц и другие, когда необходимо ограничить поступление крови и других биологических жидкостей в окружающую среду [14]. Введен в гражданский оборот 03 декабря 2014 года, дата государственной регистрации 24.08.2016, номер регистрационного удостоверения 66-3-9.16-3367№ПВР-3-7.7/02169.

Производитель – ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической радиационной и биологической безопасности» (420075, Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок, д. 2).

Средний расчет стоимости расходов на эвтаназию одного животного без учета стоимости расходных материалов и работы персонала приведен в таблице 2.

Стоимость препарата «Адилин-супер» у разных поставщиков варьируется от 14 800 до 19 807 рублей за упаковку 100 граммов [18]. То есть средняя стоимость 1 мг препарата составляет 0,17 рубля. В соответствии с данными о количестве эвтаназированных животных за год, представленных в таблице 1 и средней стоимости препарата «Адилин-супер» для проведения эвтаназии одного животного (таблица 2), нами были проведены расчеты потенциальных расходов на закупку препарата «Адилин-супер» для эвтаназии за год. Полученные данные представлены в таблице 3.

Вышеизложенное свидетельствует о том, что затраты на эвтаназию сельскохозяйственных животных и птицы за период с 2021 по 2023 год составили 327 507 310 рублей. Таким образом, емкость рынка препарата эвтаназии животных составляет 109 169 103,3 рубля в год. Структура спроса в рамках рассчитанной емкости представлена на рис. 5.

Отметим, что, кроме применения процедуры эвтаназии, в сельском хозяйстве есть потенциал расширения области использования гуманных препаратов для эвтаназии безнадзорных животных. В 2021–2024 годах произошел законодательный переход от полного запрета на усыпление бездомных животных на федеральном уровне к передаче этих полномочий регионам, что формирует дополнительный потенциальный сегмент применения гуманных препаратов эвтаназии.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Препараты для проведения эвтаназии сельскохозяйственных животных, представленные в настоящий момент на рынке Российской Федерации, при применении в монорежиме не могут обеспечить реализацию эвтаназии гуманным методом, так как при их использовании животные, как правило, задыхаются, находясь в сознании.

Применение кураreподобных препаратов в монорежиме (в частности «Адилин-супер») является как экономически нецелесообразным по причинам непригодности применения туш животных в дальнейшей переработке, так и противоречащим требованиям федерального законодательства и этике.

Проведенные исследования и расчеты показали, что затраты на эвтаназию сельскохозяйственных животных и птицы в России за период с 2021 по 2023 год составили 327 507 310 рублей. Таким образом, емкость рынка препаратов эвтаназии сельскохозяйственных животных составляет 109 169 103,3 рубля в год.

Также следует учесть потенциальный рынок эвтаназии бездомных животных. Согласно мониторингу «Альянса защитников животных» за 2021 год всего во всех регионах России было отловлено 210 194 бездомных животных, 3 305 (1,57 %) из них было подвергнуто эвтаназии по показаниям [19].

По данным 2022 года, было отловлено 212 293 животных, подвергнуто эвтаназии 1 777 (0,83 %) [20]. Это направление применения препаратов эвтаназии является перспективным, так как все больше регионов формируют институциональную базу для обеспечения гуманного обращения с животными. К началу 2025 года эвтаназию безнадзорных животных разрешили власти Бурятии, Тывы, Удмуртии, Астраханской, Магаданской, Оренбургской областей, Алтайского и Ставропольского краев, Чукотки и ряда других регионов.

В условиях эпизоотической вспышки сельхозпроизводители и регионы несут большие материальные потери из-за остановки производства, недополучения продукции, необходимости утилизации трупов павших и эвтаназированных животных. Расходы на эвтаназию в сельском хозяйстве за период с 2021 по 2023 год составили более 327,5 млн руб. Дополнительно необходимо учитывать альтернативные издержки, которые можно измерить недополученными средствами от переработки убойного мяса эвтаназированного поголовья. Поэтому при выборе процедуры для проведения эвтаназии (а значит, и лекарственного препарата) будет отдаваться предпочтение препарату, наиболее доступному по цене, соответствующему современным этическим и законодательным требованиям, а по возможности – позволяющему дальнейшее использование в переработке.

Следовательно, разработка комплексного препарата, обладающего выраженным седативным (а в идеале – гипнотическим) действием, приводящим к безболезненной гуманной смерти животных для комплексного решения проблемы гуманной эвтаназии и сокращения затрат сельскохозяйственного комплекса в части расходных материалов и трудозатрат специалистов, является перспективной и целесообразной задачей.

Препарат должен быть прост в использовании, обеспечивать гуманную эвтаназию без причинения животным страданий, подходить для разных видов животных и птиц, иметь минимальное воздействие на окружающую среду, не накапливаться в тканях для обеспечения возможности послеубойной переработки туш для скармливания в звероводческих хозяйствах или использования для изготовления безопасных кормов для мелких домашних животных. Также препарат должен обладать экономической эффективностью, которая складывается из стоимости не только препарата, но и расходных материалов и методов введения. Данное требование определено не только тенденциями рынка, но и факторами, обуславливающими необходимость применения указанного препарата.

Библиографический список

1. Gates M. C., Hinds H. J., Dale A. Preliminary description of aging cats and dogs presented to a New Zealand first-opinion veterinary clinic at end-of-life // New Zealand Veterinary Journal. 2017. Vol. 65, No. 6. Pp. 313–317. DOI: 10.1080/00480169.2017.1360161.

2. Kollias N. S., Hess W. J., Johnson C. L., Murphy M., Golab G. A literature review on current practices, knowledge, and viewpoints on pentobarbital euthanasia performed by veterinarians and animal remains disposal in the United States // Journal of the American Veterinary Medical Association. 2023. Vol. 261, No. 2. DOI: 10.2460/javma.22.08.0373.

3. Pegram C., Gray C., Packer R. M. A., Richards Y., Church D. B., Brodbelt D. C., O'Neill D. G. Proportion and risk factors for death by euthanasia in dogs in the UK // Scientific Reports. 2021. Vol. 11, No. 9145. DOI: 10.1038/s41598-021-88342-0.

4. Рекомендация Коллегии Евразийской экономической комиссии от 14.11.2023 № 33: офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: https://sudact.ru/law/rekomendatsiia-kollegii-evraziiskoi-ekonomicheskoi-komissii-ot-14112023_2/prilozhenie/vi (дата обращения: 21.12.2025).

5. AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2020 Edition. Version 2020.0.1. Schaumburg, IL, USA: American Veterinary Medical Association [Электронный ресурс]. URL: https://www.avma.org/KB/Policies/Documents/euthanasia.pdf (дата обращения: 14.02.2026).

6. Kogan L. R., Cooney K. A. Defining a “good death”: exploring veterinarians’ perceptions of companion animal euthanasia // Animals (Basel). 2023. Vol. 13, No. 6. Article number 2117. DOI: 10.3390/ani13132117.

7. Донник И. М., Середа С. В., Коваленко Е. В. [и др.]. Гуманна ли эвтаназия с применением препарата «Адилин-супер» и других миорелаксантов в монорежиме? // Ветеринария. 2019. № 12. С. 3–7. DOI: 10.30896/0042-4846.2019.22.12.03-07.

8. Закон Российской Федерации № 498-ФЗ от 27 декабря 2018 г. «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации. 2018. Т. 53, ч. I. Ст. 8424.

9. Уголовный кодекс Российской Федерации № 63-ФЗ от 13 июня 1996 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. 1996. Т. 25. Ст. 2954.

10. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2021 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продо-

вольствия [Электронный ресурс]. URL: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/d50/kwo0mqserr6pl6ixpm9xo1v52l7yfxuf.pdf (дата обращения: 14.02.2026).

11. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2022 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный ресурс]. URL: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/ee8/lyzulqdabrhc0px4wpn4iuymjjpnx8xt.pdf (дата обращения: 14.02.2026).

12. Национальный доклад о ходе и результатах реализации в 2023 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия [Электронный ресурс]. URL: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/2e7/274gki20f8y3v18pbvoms1wixv0j8dh4.pdf (дата обращения: 14.02.2026).

13. Ветеринарные правила осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов бруцеллеза (включая инфекционный эпидидимит баранов) [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: офиц. сайт. URL https://docs.cntd.ru/document/565721627 (дата обращения: 10.02. 2026)

14. Ветеринарные правила осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов оспы овец и коз [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: офиц. сайт. URL: https://docs.cntd.ru/document/608719415 (дата обращения: 10.02. 2026).

15. Ветеринарные правила осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов высокопатогенного гриппа птиц [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: офиц. сайт. URL: https://docs.cntd.ru/document/603446871?marker=6540IN (дата обращения: 10.02.2026).

16. ФГБУ ВНИИЗЖ «Эпизоотическая ситуация в РФ в 2021 году» (слайды 14, 22) [Электронный ресурс]. URL: https://fsvps.gov.ru/wp- content/uploads/2023/05/december-21.pdf (дата обращения: 10.03. 2026).

17. Реестр лекарственных средств и кормовых добавок: офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: https://galen.vetrf.ru/#/registry/pharm/registry?page=1&f_name=%D0%90%D0%B4%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BD-D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80 (дата обращения: 10.03.2026).

18. Центр ветеринарии РФ: офиц. сайт [Электронный ресурс]. URL: https://центр-ветеринарии.рф/images/docs/Biopreparaty/primenenie/2015%20Адилин-супер%20для%20бескровного%20умерщвления%20животных.pdf (дата обращения: 10.03.2026).

19. Мониторинг исполнения ФЗ № 498 за 2021 год [Электронный ресурс]. URL: https://www.allianceforanimals.ru/monitoring-ispolneniya-fz-498-za-2021-god (дата обращения: 10.03.2026).

20. Мониторинг исполнения ФЗ № 498 за 2022 год [Электронный ресурс]. URL: https://www.allianceforanimals.ru/monitoring-ispolneniya-fz-498-za-2022-god (дата обращения: 10.03.2026).

Об авторах:

Елена Олеговна Миргородская, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой «Государственное и муниципальное управление», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия; ORCID 0000-0002-0708-5524, AuthorID 674907. *E-mail: emirgorod@mail.ru*

Юлия Юрьевна Медведева, доктор экономических наук, профессор кафедры «Менеджмент и бизнес-технологии», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия; ORCID 0000-0002-5835-0594, AuthorID 518675. *E-mail: jjmedvet@yandex.ru*

Алексей Михайлович Ермаков, доктор биологических наук, профессор кафедры «Ветеринарная интернатура», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия; ORCID 0000-0002-9834-3989, AuthorID 319082. *E-mail: amermakov@ya.ru*

References

1. Gates M. C., Hinds H. J., Dale A. Preliminary description of aging cats and dogs presented to a New Zealand first-opinion veterinary clinic at end-of-life. *New Zealand Veterinary Journal.* 2017; 65 (6): 313–317. DOI: 10.1080/00480169.2017.1360161.

2. Kollias N. S., Hess W. J., Johnson C. L., Murphy M., Golab G. A literature review on current practices, knowledge, and viewpoints on pentobarbital euthanasia performed by veterinarians and animal remains disposal

in the United States. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2023; 261 (2). DOI: 10.2460/javma.22.08.0373.

3. Pegram C., Gray C., Packer R. M. A., Richards Y., Church D. B., Brodbelt D. C., O'Neill D. G. Proportion and risk factors for death by euthanasia in dogs in the UK. *Scientific Reports*. 2021; 11: 9145. DOI: 10.1038/s41598-021-88342-0.

4. *Eurasian Economic Commission. Recommendation of the Board of the Eurasian Economic Commission No. 33 of November 14, 2023* [Internet]. 2023 [cited 2025 Dec 21]. Available from: https://sudact.ru/law/rekomendatsiia-kollegii-evraziiskoi-ekonomicheskoi-komissii-ot-14112023_2/prilozhenie/vi. (In Russ.)

5. *AVMA Guidelines for the Euthanasia of Animals: 2020 Edition. Version 2020.0.1. Schaumburg, IL, USA: American Veterinary Medical Association* [Internet]. 2020. [cited 2026 Feb 14]. Available from: URL: https://www.avma.org/KB/Policies/Documents/euthanasia.pdf.

6. Kogan L. R., Cooney K. A. Defining a "good death": exploring veterinarians' perceptions of companion animal euthanasia. *Animals (Basel)*. 2023; 13 (13): 2117. DOI: 10.3390/ani13132117.

7. Donnik I. M., Sereda S. V., Kovalenko E. V., et al. Whether euthanasia with use of the drug Adilin-super and other peripheral muscle relaxants in the monomode is humane? *Veterinary Medicine Journal*. 2019; 12: 3–7. DOI: 10.30896/0042-4846.2019.22.12.03-07. (In Russ.)

8. Russian Federation. Federal Law No. 498-FZ of December 27, 2018 "On responsible treatment of animals and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation". *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2018; 53 (I): 8424. (In Russ.)

9. Russian Federation. Criminal Code of the Russian Federation No. 63-FZ of June 13, 1996. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 1996; 25: 2954. (In Russ.)

10. *Ministry of Agriculture of the Russian Federation. National Report on the Progress and Results of the Implementation of the State Program for Agricultural Development and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets in 2021* [Internet]. 2022 [cited 2026 Feb 14]. Available from: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/d50/kwo0mqserr6pl6ixpm9xo1v52l7yfxuf.pdf. (In Russ.)

11. *Ministry of Agriculture of the Russian Federation. National Report on the Progress and Results of the Implementation of the State Program for Agricultural Development and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets in 2022* [Internet]. 2023 [cited 2026 Feb 14]. Available from: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/ee8/lyzulqdabrhc0px4wpn4iuymjjpnx8xt.pdf. (In Russ.)

12. *Ministry of Agriculture of the Russian Federation. National Report on the Progress and Results of the Implementation of the State Program for Agricultural Development and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets in 2023* [Internet]. 2024 [cited 2026 Feb 14]. Available from: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/2e7/274gki20f8y3v18pbvoms1wixv0j8dh4.pdf. (In Russ.)

13. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Veterinary rules for the implementation of preventive, diagnostic, restrictive and other measures, establishment and lifting of quarantine and other restrictions aimed at preventing the spread and elimination of outbreaks of brucellosis (including infectious epididymitis of rams) [Internet]. *Electronic Fund of Regulatory, Technical and Legal Information of the Consortium "Kodeks"; 2020* [cited 2026 Feb 10]. Available from: https://docs.cntd.ru/document/565721627. (In Russ.)

14. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Veterinary rules for the implementation of preventive, diagnostic, restrictive and other measures, establishment and lifting of quarantine and other restrictions aimed at preventing the spread and elimination of outbreaks of sheep and goat pox [Internet]. *Electronic Fund of Regulatory, Technical and Legal Information of the Consortium "Kodeks"; 2021* [cited 2026 Feb 10]. Available from: https://docs.cntd.ru/document/608719415. (In Russ.)

15. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Veterinary rules for the implementation of preventive, diagnostic, restrictive and other measures, establishment and lifting of quarantine and other restrictions aimed at preventing the spread and elimination of outbreaks of highly pathogenic avian influenza [Internet]. *Electronic Fund of Regulatory, Technical and Legal Information of the Consortium "Kodeks"; 2021* [cited 2026 Feb 10]. Available from: https://docs.cntd.ru/document/603446871?marker=6540IN. (In Russ.)

16. *Federal State Budgetary Institution "Federal Center for Animal Health" (FGBU VNIIZZH). Epizootic Situation in the Russian Federation in 2021 (slides 14, 22)* [Internet]. 2022 [cited 2026 Mar 10]. Available from: https://fsvps.gov.ru/wp-content/uploads/2023/05/december-21.pdf. (In Russ.)

17. *Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance (Rosselkhoznadzor). Register of Medicines and Feed Additives* [Internet]. 2026 [cited 2026 Mar 10]. Available from: https://galen.vetrf.ru/#/registry/pharm/registry?page=1&f_name=%D0%90%D0%B4%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BD-%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80. (In Russ.)

18. *Center of Veterinary Medicine of the Russian Federation. Adilin-super for bloodless killing of animals* [Internet]. 2015 [cited 2026 Mar 10]. Available from: https://центр-ветеринарии.рф/images/docs/Biopreparaty/primenenie/2015%20Адилин-супер%20для%20бескровного%20умерщвления%20животных.pdf. (In Russ.)

19. *Alliance for Animals. Monitoring of the Implementation of Federal Law No. 498 for 2021* [Internet]. 2022 [cited 2026 Mar 10]. Available from: https://www.allianceforanimals.ru/monitoring-ispolneniya-fz-498-za-2021-god/. (In Russ.)

20. *Alliance for Animals. Monitoring of the Implementation of Federal Law No. 498 for 2022* [Internet]. 2023 [cited 2026 Mar 10]. Available from: https://www.allianceforanimals.ru/monitoring-ispolneniya-fz-498-za-2022-god/. (In Russ.)

Authors' information:

Elena O. Mirgorodskaya, doctor of economic sciences, professor, head department of state and municipal management, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia; ORCID 0000-0002-0708-5524, AuthorID 674907. *E-mail: emirgorod@mail.ru*

Yuliya Yu. Medvedeva, doctor of economic sciences, professor of the department of management and business technologies, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia; ORCID 0000-0002-5835-0594, AuthorID 518675. *E-mail: jjmedvet@yandex.ru*

Aleksey M. Ermakov, doctor of biological sciences, professor, professor of the department "Veterinary internship", Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia; ORCID 0000-0002-9834-3989, AuthorID 319082. *E-mail: amermakov@ya.ru*

Аграрный вестник Урала **Agrarian Bulletin of the Urals**

Т. 26, № 10, 2026 г. **Vol. 26, No. 10, 2026**

Учредитель и издатель:
Уральский государственный аграрный университет
Адрес учредителя, издателя и редакции:
620000, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



Уральский государственный аграрный университет

Founder and publisher:
Ural State Agrarian University
Address of founder, publisher and editorial board:
620000, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:
В. С. Кухарь – кандидат экономических наук, шеф-редактор
А. В. Ерофеева – редактор
Н. А. Предеина – верстка, дизайн

Editorial:
V. S. Kukhar – candidate of economic sciences, chief editor
A. V. Erofeeva – editor
N. A. Predeina – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.
Адрес учредителя, издателя и редакции: 620000, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.
Ответственный редактор: тел.: 8 (343) 221-40-08.
E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).
Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Выписка из реестра зарегистрированных средств массовой информации:
Серия ПИ № ФС77-90205 от 07 октября 2025 г.
Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского государственного аграрного университета.
620000, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.
Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».
620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.
Дата выхода в свет: 30.10.2026 г. Усл. печ. л. 28,8. Авт. л. 24,4.
Тираж: 100 экз. Цена: в розницу свободная.

Нас индексируют / Indexed

ВЫСШАЯ АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
При Министерстве образования И науки Российской Федерации

Российский центр научной информации

Food and Agriculture Organization of the United Nations

DOAJ OPEN GLOBAL TRUSTED

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

© Аграрный вестник Урала / Agrarian Bulletin of the Urals, 2026