



Уральский государственный
аграрный университет

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**T. 26, № 09
Vol. 26, No. 09**

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. Лоретт (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. Кошцаев, 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 Шириншо 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. Самodelкин, 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. Ушаев, 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. Lorets (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 Sótónyi (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. Dzhabadov, 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. Pashetstkiy, 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. Gorbato 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)

Содержание

Агротехнологии

- Н. Н. Вошедский, И. Н. Ильинская,
В. А. Кулыгин, С. В. Пасько* 1611
Влияние приемов возделывания
на урожайность и водопотребление льна
масличного в условиях Нижнего Дона
- В. В. Голембовский, А. А. Коровин,
В. С. Цховребов* 1621
Перспективы применения органоминеральных
удобрений, полученных на основе сепарации
свежего навоза, для повышения плодородия почв
- Ю. А. Овсянников* 1630
Природоохранные стратегии развития
земледелия в России (аналитический обзор)
- А. Н. Поршакова, Л. А. Маслова,
А. А. Цапина, Д. С. Фадеев* 1642
Почвенно-мелиоративное обоснование
и экологическая оценка режима орошения
черноземов выщелоченных
юга Пензенской области
- А. И. Якубовская, А. Ю. Еговцева,
И. А. Каменева, И. И. Смирнова,
М. В. Гритчин, А. О. Каменев* 1654
Изменение функциональной структуры
микробного сообщества лугово-черноземной
почвы при внесении рисовой соломы
и биодеструкторов

Биология и биотехнологии

- О. А. Быкова, В. Е. Шакиров,
А. И. Неведов, А. А. Ярышкин* 1666
Распространенность патологий конечностей
крупного рогатого скота
- М. А. Дерхо, С. А. Гриценко, П. В. Бурков,
Ю. В. Матросова, М. Б. Ребезов* 1675
Гистоморфометрические особенности
железистого и мышечного отделов желудка
цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308
в период выращивания
- В. Д. Зубарева, М. В. Бытов, Н. А. Мартынов,
О. С. Зайцева, М. А. Печенкина* 1704
Разработка наборов для диагностики
генетических нарушений крупного рогатого
скота голштинской породы (HH4, HH5, MW)
- Е. С. Кастарнова, А. В. Блинов,
А. В. Самоволов, З. А. Рехман* 1712
Фармако-токсикологическая характеристика
тройного хелатного комплекса меди
с аскорбиновой кислотой и пиридоксином
- А. Г. Мусин, А. С. Мустафин,
Р. Р. Гадиев, Д. Д. Хазиев* 1721
Эффективность применения кальцидиола
в рационах кур-несушек при различных
технологиях кормопроизводства

Contents

Agrotechnologies

- N. N. Voshedskiy, I. N. Ilyinskaya,
V. A. Kulygin, S. V. Pasko* 1611
Influence of cultivation methods on the yield
and water consumption of oilseed flax
in the Lower Don region
- V. V. Golembovskiy, A. A. Korovin,
V. S. Tskhovrebov* 1621
Prospects for using organomineral
fertilizers obtained by separating fresh manure
to improve soil fertility
- Yu. A. Ovsyannikov* 1630
Environmental strategies for the development of
agriculture in Russia (analytical review)
- A. N. Porshakova, L. A. Maslova,
A. A. Tsapina, D. S. Fadeev* 1642
Soil reclamation substantiation
and ecological assessment
of the irrigation regime for leached chernozems
in the south of the Penza region
- A. I. Yakubovskaya, A. Yu. Egovtseva,
I. A. Kameneva, I. I. Smirnova,
M. V. Gritchkin, A. O. Kamenev* 1654
Change in the functional structure
of the microbial community
of meadow-chernozem soil with the introduction
of rice straw and biodestructors

Biology and biotechnologies

- O. A. Bykova, V. E. Shakirov,
A. I. Nefedov, A. A. Yaryshkin* 1666
Prevalence of limb pathologies in cattle
- M. A. Derkho, S. A. Gritsenko, P. V. Burkov,
Yu. V. Matrosova, M. B. Rebezov* 1675
Histomorphometric features of the glandular
and muscular sections of the stomach of broiler
chickens of the Smena 9 and Ross 308 crosses
during the rearing period
- V. D. Zubareva, M. V. Bytov, N. A. Martynov,
O. S. Zaytseva, M. A. Pechenkina* 1704
Development of diagnostic
kits for Holstein genetic disorders
(HH4, HH5, MW)
- E. S. Kastarnova, A. V. Blinov,
A. V. Samovolov, Z. A. Rekhman* 1712
Pharmaco-toxicological characteristics
of a triple chelated complex
of copper with ascorbic acid and pyridoxine
- A. G. Musin, A. S. Mustafin,
R. R. Gadiev, D. D. Khaziev* 1721
Efficiency of calcidiol application
in laying hen diets under various
feed production technologies

Содержание

- А. П. Порываева, И. М. Донник, А. Г. Исаева, Л. И. Дроздова, М. В. Петропавловский, А. С. Кривоногова, С. Ю. Палагин, А. В. Лысов*
Особенности течения лейкозного процесса у экспериментальных животных 1731
- В. С. Самойленко, А. Ю. Криворучко, А. А. Лапина, С. Д. Подставкаина*
Молекулярно-генетическая характеристика и комплексная оценка генетической и функциональной безопасности рекомбинантного штамма-продуцента IL-10 и IL-22 в составе биокорректирующего средства 1749
- Э. В. Фирсова*
Половозрастная изменчивость краниометрических показателей домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы Мурманской области 1755
- А. П. Шевчук, Т. А. Князева*
Оценка качества и информативности показателей признаков при формировании селекционного индекса красных молочных пород крупного рогатого скота 1769
- Экономика**
- О. Т. Ергунова, Е. Г. Киселева, А. Г. Сомов*
Интеллектуальные технологии в аграрном секторе стран БРИКС+: факторы влияния и прогноз развития 1783
- О. А. Еремченко*
Инструменты государственной кадровой политики по привлечению молодежи в сельское хозяйство: зарубежный опыт 1804
- Н. Ю. Зубарев, А. А. Урасова, И. В. Царенко, Ю. Н. Зубарев*
Трансформация системы управления аграрными вузами в цифровом пространстве 1814
- И. И. Новикова*
Влияние пространственной организации территорий на формирование сельского человеческого капитала 1827
- О. А. Рушницкая, Е. С. Куликова, А. А. Ахметов*
Методика оценки трансформации цифрового интереса в туристский спрос на сельских территориях 1838
- В. В. Федоскин, А. Б. Мартынушкин, И. В. Чивилева, С. А. Кистанова, О. Ю. Горбова, А. Д. Виноградов*
Экономическое обоснование управленческих решений по наращиванию грузооборота автотранспорта на предприятиях АПК на основе расширенной факторной модели 1848

Contents

- A. P. Poryvaeva, I. M. Donnik, A. G. Isaeva, L. I. Drozdova, M. V. Petropavlovskiy, A. S. Krivonogova, S. Yu. Palagin, A. V. Lysov*
Features of the course of the leukemic process in experimental animals 1731
- V. S. Samoylenko, A. Yu. Krivoruchko, A. A. Lapina, S. D. Podstavkina*
Molecular genetic characterization and comprehensive assessment of the genetic and functional safety of a recombinant IL-10 and IL-22-producing strain as part of a biocorrective agent 1749
- E. V. Firsova*
Age-sex variability of craniometric parameters of domestic reindeer (*Rangifer tarandus*) of the Nenets breed in the Murmansk region 1755
- A. P. Shevchuk, T. A. Knyazeva*
Assessment of trait quality and informativeness for constructing a selection index in red dairy cattle breeds 1769
- Economy**
- O. T. Ergunova, E. G. Kiseleva, A. G. Somov*
Adoption of intelligent technologies in the BRICS+ agricultural sector: determinants and forecasts 1783
- O. A. Eremchenko*
Instruments of state human resources policy for attracting young people to agriculture: international experience 1804
- N. Yu. Zubarev, A. A. Urasova, I. V. Tsarenko, Yu. N. Zubarev*
Transforming the management system of agricultural universities in the digital space 1814
- I. I. Novikova*
The influence of spatial organization of territories on the formation of rural human capital 1827
- O. A. Rushchitskaya, E. S. Kulikova, A. A. Akhmetov*
Methodology for assessing the transformation of digital interest into tourism demand in rural areas 1838
- V. V. Fedoskin, A. B. Martynushkin, I. V. Chivileva, S. A. Kistanova, O. Yu. Gorbova, A. D. Vinogradov*
Economic justification of managerial decisions for increasing freight turnover of motor transport at agro-industrial complex enterprises based on an expanded factor model 1848

Влияние приемов возделывания на урожайность и водопотребление льна масличного в условиях Нижнего Дона

Н. Н. Вошедский[✉], И. Н. Ильинская, В. А. Кулыгин, С. В. Пасько

Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия

[✉]E-mail: nik.voshedskiy@mail.ru

Аннотация. Цель настоящей работы – выявление оптимального сочетания элементов технологии возделывания, способствующих повышению урожайности льна масличного в условиях недостаточного увлажнения Нижнего Дона. Работа выполнена в 2024–2025 гг. на опытном стационаре ФГБНУ ФРАНЦ. **Материалы и методы.** Опыт включал на посевах льна после сидерата фацелия три варианта фонов питания ($N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, без удобрений) с трехкратной обработкой стимуляторами роста и без обработок стимуляторами, а также контрольный вариант с предшественником озимая пшеница, без применения стимуляторов и удобрений. Удобрения вносились под предпосевную культивацию. Способ основной обработки почвы – вспашка. Почвы – черноземы обыкновенные. **Научная новизна.** В приазовской почвенно-климатической зоне Ростовской области на черноземе обыкновенном впервые выявлены агротехнологические особенности возделывания перспективного сорта льна масличного ВНИИМК-620 с учетом инновационных технологических приемов (фон минерального питания, стимуляторы роста растений, сидеральные предшественники, комплексное воздействие разных факторов и т. д.) в севооборотах. **Результаты.** ГТК вегетационных периодов 2024 и 2025 гг. значительно отличались, составив 0,16 и 0,34. Обработка льна стимуляторами на фоне сидерата обеспечивала прибавки урожая по сравнению с вариантами, где стимуляторы не применялись: на варианте без удобрений – 12,1 %, на фоне $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 14,9 %, $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 16,3 %. Фон питания $N_{30}P_{30}K_{30}$ обеспечил прибавку урожайности льна на варианте без стимуляторов – 15,5 %, с применением стимуляторов – 18,5 % по сравнению с вариантами без удобрений. Норма удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ обеспечила прибавки 21,6 % и 26,2 %. Самый низкий коэффициент водопотребления льна отмечен на варианте с $N_{60}P_{60}K_{60}$ с тремя обработками стимуляторами по сидерату фацелия – 101,4 мм/т. **Выводы.** Наивысшие экономические показатели получены на фоне $N_{30}P_{30}K_{30}$ кг/га д. в. при трех обработках стимуляторами роста по сидерату фацелия, где рентабельность составила 197 %. Наивысшая урожайность льна на фоне сидерата получена при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ и трех обработках стимуляторами роста – 1,64 т/га, что подтверждает научную новизну исследований при сочетании нескольких агротехнических приемов.

Ключевые слова: лен масличный, удобрения, сидерат, стимуляторы роста, урожайность, прибавка урожая, водопотребление

Благодарности. Работа выполнена в соответствии с Госзаданием Министерства науки и высшего образования по теме FNFZ-2024-0014.

Для цитирования: Вошедский Н. Н., Ильинская И. Н., Кулыгин В. А., Пасько С. В. Влияние приемов возделывания на урожайность и водопотребление льна масличного в условиях Нижнего Дона // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1611–1620. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1611-1620>.

Дата поступления статьи: 07.05.2026, **дата рецензирования:** 09.07.2026, **дата принятия:** 06.08.2026.

Influence of cultivation methods on the yield and water consumption of oilseed flax in the Lower Don region

N. N. Voshedskiy✉, I. N. Ilyinskaya, V. A. Kulygin, S. V. Pasko

Federal Rostov Agrarian Research Center, Rassvet settlement, Rostov region, Russia

✉E-mail: nik.voshedskiy@mail.ru

Abstract. The purpose of this study is to identify the optimal combination of cultivation technology elements that contribute to increasing the yield of oilseed flax under conditions of insufficient moisture in the Lower Don region. The study was carried out in 2024–2025 at the experimental station of the FSBSI FRARC. **Materials and methods.** The experiment included three variants of nutrient backgrounds for flax crops grown after the green manure crop phacelia ($N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}$, no fertilizers) with three treatments using growth stimulants and no treatments with stimulants, as well as a control variant with winter wheat as the predecessor, without the use of stimulants and fertilizers. Fertilizers were applied during pre-sowing cultivation. The main method of soil tillage was plowing. The soils were ordinary chernozems. **Scientific novelty.** In the Azov soil-climatic zone of the Rostov Region, on ordinary chernozem, the agrotechnological features of cultivating the promising oilseed flax variety VNIIMK-620 have been identified for the first time, taking into account innovative technological methods (mineral nutrition background, plant growth stimulants, green manure predecessors, the combined effect of various factors, etc.) in crop rotations. **Results.** The GTC for the growing seasons of 2024 and 2025 differed significantly, amounting to 0.16 and 0.34, respectively. Treating flax with stimulants against the background of green manure resulted in yield increases compared to the variants where no stimulants were applied: 12.1 % on the unfertilized variant, 14.9 % on the $N_{30}P_{30}K_{30}$ background, and 16.3 % on the $N_{60}P_{60}K_{60}$ background. The $N_{30}P_{30}K_{30}$ fertilizer regimen provided an increase in flax yield of 15.5 % in the variant without stimulants and 18.5% with the use of stimulants compared to the variants without fertilizers. The $N_{60}P_{60}K_{60}$ fertilizer regimen provided increases of 21.6 % and 26.2 %, respectively. The lowest flax water consumption coefficient was observed in the variant with $N_{60}P_{60}K_{60}$ and three treatments with stimulants on the phacelia green manure crop – 101.4 mm/t. **Conclusions.** The highest economic indicators were obtained with $N_{30}P_{30}K_{30}$ kg/ha of active substance, with three treatments using growth stimulants on the phacelia green manure crop, where the profitability amounted to 197%. The highest flax yield on the green manure crop was obtained with the application of $N_{60}P_{60}K_{60}$ and three treatments with growth stimulants – 1.64 t/ha, which confirms the scientific novelty of the research when combining several agrotechnical practices.

Keywords: oilseed flax, fertilizers, siderate, stimulants, yield, increase, water consumption

Acknowledgements. The study was carried out in accordance with the State Task of the Ministry of Science and Higher Education on the topic FNFZ-2024-0014.

For citation: Voshedskiy N. N., Ilyinskaya I. N., Kulygin V. A., Pasko S. V. Influence of cultivation methods on the yield and water consumption of oilseed flax in the Lower Don region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1611–1620. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1611-1620>. (In Russ.)

Date of paper submission: 07.05.2026, **date of review:** 09.07.2026, **date of acceptance:** 06.08.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Лен масличный является перспективной культурой для возделывания в южных регионах РФ, в том числе в Ростовской области, благодаря ценным качествам маслосемян и своей отличительной особенностью – пластичности и неприхотливости к условиям возделывания [1–3]. Эти особенности льна масличного на фоне наблюдаемого изменения климатических факторов, отражающих усиление аридности, характеризуют его адаптивность к засушливым условиям произрастания [4–6].

В России за 5 лет, по расчетам АБ-Центр, посевные площади льна выросли в 2023 году на 89,2 %, а за 10 лет – в 2,9 раза, до 931,8 тыс. га [7].

Посевные площади льна масличного в Ростовской области также динамично растут: в 2023 году они составляли 98,5 тыс. га., а в 2024 году расширились до 134,3 тыс. га, что отражает увеличение ареала выращивания культуры на 36,3 %. Однако, по данным Минсельхозпрода области, средняя урожайность маслосемян не превышает 0,9–1,2 т/га, что составляет менее 50 % от потенциальной урожайности районированных в регионе сортов [8].

Одной из основных причин низкой продуктивности данной культуры в Ростовской области является дефицит научно обоснованных рекомендаций по технологии ее возделывания с привязкой к конкретным почвенно-климатическим условиям [1; 9; 10].

Широкая востребованность льна масличного современным рынком и динамичное расширение посевных площадей диктуют необходимость изучения комплекса перспективных агроприемов возделывания в конкретных почвенно-климатических условиях с целью полного раскрытия потенциала возделываемых в регионе сортов [11–13]. Одним из перспективных направлений при решении данной проблемы является научно обоснованное применение минеральных удобрений под культуру с учетом неравномерности поглощения льном масличным элементов питания за весь период развития растений от всходов до созревания и особенностей почвенно-климатических условий [9; 14; 15].

Одним из приемов экологизации технологии возделывания льна масличного и поддержания почвенного плодородия является использование зеленого удобрения, сидератов [16; 17]. Существенным фактором дальнейшего повышения урожайности культуры остается применение стимуляторов роста, позволяющих наиболее эффективно использовать потенциал растений, свести к минимуму негативное воздействие стрессов, повысить качественные показатели маслосемян. Важный резерв повышения урожайности и качества льна – разработка комплексных ресурсосберегающих и экологически обоснованных агрохимических приемов за счет научно обоснованного внесения удобрений, применения сидератов и биологически активных стимуляторов роста растений, создающих оптимальные условия для роста и развития культуры на протяжении всего вегетационного периода [9; 18; 19].

В условиях засушливого климата, характерного для Нижнего Дона, важную роль играет также изучение особенностей водопотребления растений льна масличного [20].

Основываясь на проведенном анализе, цель исследований можно сформулировать как выявление оптимального сочетания элементов технологии возделывания, способствующих повышению урожайности льна масличного в условиях недостаточного увлажнения Ростовской области. Объектом исследований являлся сорт льна масличного ВНИ-ИМК-620, предмет исследований – урожайность, качество урожая и водопотребление льна в зависимости от агротехнических приемов возделывания с использованием сидератов, комплекса минерального питания и стимуляторов роста.

Методология и методы исследования (Methods)

Опыты проводились в Аксайском районе Ростовской области в 2024–2025 годах. Климат зоны проведения исследований засушливый, умеренно

жаркий, континентальный. Средняя многолетняя годовая температура воздуха составляет 10,0 °С. Сумма температур воздуха – 3200–3400 °С. Продолжительность теплого периода – 230–260, безморозного – 175–180 дней. Среднегодовое количество осадков – 514 мм. За теплый период их выпадает до 300 мм. Относительно небольшое количество осадков в сочетании с высокими температурами в критические фазы интенсивного роста растений определяет низкую влажность воздуха и почвы, частую повторяемость засух [21]. Почва опытного участка представлена черноземом обыкновенным карбонатным среднесильно легкосуглинистым на лесовидном суглинке. Содержание гумуса в пахотном слое (0–30 см) составляло 4,0–4,2 % (по И. В. Тюнину), общего азота – 0,22–0,25 % (метод ЦИНАО), подвижного фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) – соответственно 39 и 545 мг/кг (по методу Мачигина в модификации ЦИНАО ГОСТ 26205-91). Реакция почвенного раствора (рН) – 7,1–7,3 ед. Плотность почвы в ненарушенном состоянии для слоя 0–30 см составляет 1,26 г/см³ [21].

В полевых условиях изучались три основных фактора, оказывающих существенное влияние на урожайность льна масличного: сидерат (фацелия) / предшественник (фактор А), стимулятор роста растений (фактор В), фон минерального питания (фактор С), их взаимодействие.

Опыт включал 7 вариантов:

- 1) сидерат, три обработки стимуляторами роста, без удобрений;
- 2) сидерат, три обработки стимуляторами роста, фон $N_{30}P_{30}K_{30}$;
- 3) сидерат, три обработки стимуляторами роста, фон $N_{60}P_{60}K_{60}$;
- 4) сидерат, без удобрений;
- 5) сидерат, фон $N_{30}P_{30}K_{30}$;
- 6) сидерат, фон $N_{60}P_{60}K_{60}$;
- 7) предшественник – озимая пшеница, без стимуляторов, без удобрений (контроль).

В исследованиях проводили трехкратное комплексное применение стимуляторов роста по фазам развития растений. Первая обработка семян льна масличного проводилась перед посевом препаратом GO DRIP MICRO (0,10–0,15 кг/т) с целью стимулирования дружных всходов, создания условий для интенсивного развития и укрепления корневой системы растений. Второе опрыскивание вегетирующих растений в фазе «ёлочки» – стимулятором «Филлотон» (0,4–0,5 л/га) и GO DRIP MICRO (0,2–0,3 кг/т), было направлено на стимулирование роста и развития вегетативной массы, максимальной закладки генеративных органов и развития корневой системы льна масличного, снижения влияния пестицидного стресса на растения. Третья обработка посевов препаратами «Филлотон» (0,4–0,5 л/га); GO DRIP MAX (0,7 кг/т); Ikar NB Mo (0,7 л/га)

в фазу бутонизации – цветения, проводилась для интенсификации ростовых процессов, формирования продуктивных семян в коробочке и повышения устойчивости растений к внешним неблагоприятным факторам.

Использовался сорт льна масличного ВНИИМК-620. Способ основной обработки почвы – вспашка на глубину 25–27 см агрегатом ПЛН-3-35 с осенним выравниванием зяби культиватором КПС-4 в агрегате с трактором МТЗ-1025,3. Норма высева семян – 7,5 млн/га всхожих семян. Сидеральная культура-предшественник – фацелия. Опыт был заложен в трёхкратной повторности в пространстве. Площадь делянки составила 225 м² (15 × 15 м). Под лен масличный применяли средний (N₃₀P₃₀K₃₀) и повышенный (N₆₀P₆₀K₆₀) фон минерального питания под предпосевную культивацию. При проведении опытов использовались общепринятые методики.

Результаты (Results)

Общая продолжительность периодов вегетации льна масличного сорта ВНИИМК-620 в 2024 году составила 107 суток, в 2025 году – 105 суток. Разные агротехнические приемы влияли на сроки наступления и продолжительность характерных фаз развития, а соответствующие отличия по вариантам не превышали 1–3 суток. Тепло-влагообеспеченность вегетационных периодов льна масличного в годы наблюдений имела определённые отличия. Ги-

дротермический коэффициент периода в 2024 году опускался до 0,14 (очень сухой), в 2025 году не превышал 0,34 (сухой).

Обработки семян и посевов специальными препаратами способствовали более интенсивному росту и развитию растений льна масличного. Так, в среднем за годы наблюдений показатели полевой всхожести семян на вариантах с обработкой и без обработки стимуляторами роста составили соответственно: в условиях естественного плодородия – 577 и 534 шт./м², при внесении N₃₀P₃₀K₃₀ – 615 и 576 шт./м², на фоне N₆₀P₆₀K₆₀ – 627,0 и 584 шт./м². Таким образом, опрыскивание семян специальным препаратом способствовало увеличению всхожести льна масличного по вариантам: без удобрений – на 8,1 %, при норме удобрений N₃₀P₃₀K₃₀ кг/га д. в. – на 6,8 %, норме N₆₀P₆₀K₆₀ – на 7,3 % по сравнению с посевом необработанными семенами. Разница с контролем в варьировала в пределах 20,5–30,8 % сторону увеличения.

Применение стимуляторов роста, разных норм минерального питания на фоне сидерата фацелия и традиционного предшественника озимой пшеницы оказали влияние на условия роста и развития льна масличного в течение вегетационного периода по вариантам опыта, что нашло отражение в значениях урожайности (таблица 1).

Таблица 1

Урожайность льна масличного сорта ВНИИМК-620 в зависимости от элементов технологии, п. Рассвет, среднее за 2024–2025 гг.

Сидерат (предшественник)	Стимулятор	Фон удобрений, кг/га д. в.	Урожайность	
			т/га	%
Фацелия	3 обработки стимуляторами	Без удобрений	1,30	119,3
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,54	141,3
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,64	150,5
Фацелия	Без стимуляторов	Без удобрений	1,16	106,4
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,34	122,9
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,41	129,4
Озимая пшеница (контроль)	Без стимуляторов	Без удобрений	1,09	100,0
НСР _{0,5}			0,13	

Table 1

Yield of oilseed flax of the VNIIMK-620 variety, depending on the elements of technology, Rassvet settlement, average for 2024–2025

Siderate (predecessor)	The stimulator	Fertilizer background, kg/ha, a. d.	Productivity	
			t/ha	%
Phacelia	3 treatments with stimulants	Without fertilizers	1.30	119.3
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1.54	141.3
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1.64	150.5
Phacelia	Without stimulants	Without fertilizers	1.16	106.4
		N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1.34	122.9
		N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1.41	129.4
Winter wheat (control)	Without stimulants	Without fertilizers	1.09	100.0
LSD _{0,5}			0.13	

Таблица 2

Анализ эффективности использования удобрений при выращивании льна масличного,
п. Рассвет, 2024–2025 гг.

Вариант обработки стимуляторами роста	Фон NPK, кг/га д. в.	Прибавка урожая		Отдача от удобрений кг/кг
		т/га	%	
3 обработки стимуляторами	Без удобрений	–	–	–
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	0,24	18,5	2,67
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	0,34	26,2	1,89
Без стимуляторов	Без удобрений	–	–	–
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	0,18	15,5	2,00
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	0,25	21,6	1,39

Agrotechnologies

Table 2

Analysis of the effectiveness of using fertilizers in the cultivation of flax oilseed,
Rassvet settlement, 2024–2025

Treatment option with growth stimulants	NPK background, kg/ha a. d.	Increased yield		Yield from fertilizers kg/kg
		t/ha	%	
3 treatments with stimulants	Without fertilizers	–	–	–
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	0.24	18.5	2.67
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	0.34	26.2	1.89
Without stimulants	Without fertilizers	–	–	–
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	0.18	15.5	2.00
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	0.25	21.6	1.39

Таблица 3

Масличность сорта ВНИИМК-620 в зависимости от агротехнических приемов возделывания,
п. Рассвет, 2024–2025 гг.

Варианты	Масличность, %	Выход масла, кг/га
Без NPK; 3 обработки стимуляторами; фацелия	43,17	561,2
$N_{30}P_{30}K_{30}$; 3 обработки стимуляторами; фацелия	43,50	669,9
$N_{60}P_{60}K_{60}$; 3 обработки стимуляторами; фацелия	42,98	704,9
Без NPK; без обработки; фацелия	43,43	503,8
$N_{30}P_{30}K_{30}$; без обработки; фацелия	42,95	575,5
$N_{60}P_{60}K_{60}$; без обработки; фацелия	43,26	610,0
Без NPK; без обработки; озимая пшеница	41,77	455,3
HCP _{0,5}	1,02	

Table 3

Oil content of the VNIIMK-620 variety, depending on the cultivation methods,
Rassvet settlement, 2024–2025

Variants	Oil content, %	Oil output, kg/ha
Without NPK; 3 treatments with stimulants; phacelia	43.17	561.2
$N_{30}P_{30}K_{30}$; 3 treatments with stimulants; phacelia	43.50	669.9
$N_{60}P_{60}K_{60}$; 3 treatments with stimulants; phacelia	42.98	704.9
Without NPK; without processing; phacelia	43.43	503.8
$N_{30}P_{30}K_{30}$; untreated; phacelia	42.95	575.5
$N_{60}P_{60}K_{60}$; untreated; phacelia	43.26	610.0
Without NPK; without treatment; winter wheat	41.77	455.3
LSD _{0,5}	1.02	

Комплекс агротехнических приемов возделывания льна масличного на фоне сидерата фацелия, включающий внесение удобрений в сочетании с обработкой семян и посевов стимуляторами роста, а также применение удобрений без стимуляторов, способствовали повышению урожайности маслосемян.

Соответствующие прибавки на указанных вариантах были в пределах 0,21–0,55 т/га (или 19,3–50,5 %) и 0,07–0,32 т/га (или 6,4–29,4 %) по сравнению с условиями выращивания при естественном плодородии почвы и традиционном предшественнике.

Лучшие показатели урожайности льна на фоне сидерата отмечены при внесении нормы удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$, достигнув 1,41 т/га, а на участках с аналогичной нормой после обработок стимуляторами – 1,64 т/га.

Обработка льна стимуляторами роста (фактор А) дала возможность увеличить урожайность на вариантах с сидератом фацелия при соответствующих прибавках по вариантам: без удобрений – 0,14 т/га (12,1 %), на фоне $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 0,20 т/га (14,9 %), $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 0,23 т/га (16,3 %) по сравнению с условиями, где стимуляторы не применялись. Влияние фона минерального питания растений отразилось как на показателях урожайности маслосемян, так и на эффективности использования удобрений на вариантах опыта (таблица 2).

Фон питания $N_{30}P_{30}K_{30}$ (фактор В) способствовал повышению урожайности льна на участках без применения стимуляторов на 0,18 т/га (15,5 %), а с их применением – на 0,24 т/га (18,5 %) по сравнению с вариантом без удобрений.

В аналогичных условиях норма внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ обеспечивала прибавки на 0,25 т/га (21,6 %) и 0,34 т/га (26,2 %) соответственно. Лучшая отдача урожаем от применения удобрений по сидерату фацелия получена на варианте со средним фоном питания $N_{30}P_{30}K_{30}$, составив при обработке стимулятором роста 2,67 кг дополнительной продукции на 1 кг внесенных удобрений, без стимуляторов – 2,00 кг/кг. На участках с высокой нормой внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ аналогичные показатели оказались меньше, соответственно 1,89 кг/кг и 1,39 кг/кг.

Одним из главных качественных показателей льна является масличность его семян, показатели которой на вариантах опыта имело определенные закономерности (таблица 3).

Средние показатели относительного содержания жира в семенах льна на вариантах после сидерата фацелия изменялись в пределах 42,95–43,50 %, при этом влияние изучаемых агротехнических приемов на данный показатель было минимальным. Разница данных между наибольшим и наименьшим показателем на вариантах в условиях посева после сидерата фацелия не превышала 0,55 %. На контрольном варианте, где предшественником была озимая пшеница, отсутствовали обработка стимуляторами роста и внесение удобрений, относительный показатель масличности оказался самым низким – 41,77 %. Выход льняного масла в первую очередь зависел от величины урожайности. Наибольший объем масла получен на вариантах с сидератом фацелия при трех обработках стимуляторами роста, составив на фоне удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 704,9 кг/га, на фоне $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 669,9 кг/га, что значительно выше аналогичного показателя на контрольном ва-

рианте, составившего 455,3 кг/га, что отражают соответствующие прибавки в пределах 54,8 и 47,1 %.

Метеорологические условия и показатели тепловлагообеспеченности вегетационного периода льна масличного отразились на величине элементов водного баланса, включавших осадки P и расход влаги из почвы W в метровом слое, составившие суммарное водопотребление E и, в зависимости от урожайности (Y) коэффициент водопотребления культуры (K_v), характеризующий эффективность использования влаги растениями. Грунтовые воды, глубина залегания которых на опытных полях была ниже 5 м, в водном балансе культуры не участвовали (таблица 4).

Из приведенных данных видно, что доля атмосферных осадков (43,3 мм) в суммарном водопотреблении культуры на вариантах опыта не превышала 25,7–26,5 %, что отражает недостаточно благоприятные для растений условия вегетации в годы исследований. Соответственно, расход влаги из почвы был в пределах 120–125 мм, а доля этого элемента достигала 73,5–74,3 %.

Таким образом, при одинаковом количестве атмосферных осадков на всех вариантах и незначительных отклонениях в показателях расхода влаги из почвы суммарное водопотребление льна масличного на вариантах опыта имело минимальные отличия. Поэтому при расчете коэффициента водопотребления приоритетное значение имел показатель урожайности. Наиболее рациональный расход влаги на получение единицы продукции отмечен на варианте с фоном удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$, тремя обработками стимуляторами роста по предшественнику фацелия – 101,4 мм/т.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Агротехнические приемы возделывания льна масличного с использованием сидерата фацелия при внесении удобрений в сочетании с обработками стимуляторами роста, а также применение удобрений без стимуляторов способствовали повышению урожайности маслосемян с соответствующими прибавками в пределах 0,21–0,55 т/га (19,3–50,5 %) и 0,07–0,32 т/га (6,4–29,4 %) по сравнению с условиями при естественном плодородии после традиционного предшественника.

Лучшие показатели урожайности льна на фоне сидерата фацелия получены при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 1,41 т/га, а на варианте с аналогичной нормой после трех обработок стимуляторами – 1,64 т/га.

Обработка льна стимуляторами роста на фоне сидерата фацелия обеспечивала прибавки по вариантам: без удобрений – 0,14 т/га (12,1 %), на фоне $N_{30}P_{30}K_{30}$ – 0,20 т/га (14,9 %), $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 0,23 т/га (16,3 %) по сравнению с вариантами, где стимуляторы не применялись.

Таблица 4

Водный баланс и коэффициент водопотребления льна масличного
в зависимости от элементов технологии, п. Рассвет, 2024–2025 гг.

Варианты	W, мм	P, мм	E, мм	У, т	K _в , мм/т
Без NPK; 3 обработки; фацелия	124	43,3	167,3	1,30	128,7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ ; 3 обработки; фацелия	121	43,3	164,3	1,54	106,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ; 3 обработки; фацелия	123	43,3	166,3	1,64	101,4
Без NPK; без обработки; фацелия	125	43,3	168,3	1,16	145,1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ ; без обработки; фацелия	124	43,3	167,3	1,34	124,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ; без обработки; фацелия	122	43,3	165,3	1,41	117,2
Без NPK; без обработки; озимая пшеница	120	43,3	163,3	1,09	149,8

Agrotechnologies

Table 4

Water balance and water consumption coefficient of oilseed flax,
depending on the elements of technology, Rassvet settlement, 2024–2025

Variants	W, mm	P, mm	E, mm	P, t	K _v , mm/t
Without NPK; 3 treatments; phacelia	124	43.3	167.3	1.30	128.7
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ ; 3 treatments; phacelia	121	43.3	164.3	1.54	106.7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ; 3 treatments; phacelia	123	43.3	166.3	1.64	101.4
Without NPK; no processing; phacelia	125	43.3	168.3	1.16	145.1
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ ; untreated; phacelia	124	43.3	167.3	1.34	124.9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ; untreated; phacelia	122	43.3	165.3	1.41	117.2
Without NPK; no treatment; winter wheat	120	43.3	163.3	1.09	149.8

Фон питания N₃₀P₃₀K₃₀ давал прибавку урожайности льна на варианте без стимуляторов – 0,18 т/га (15,5 %), с применением стимуляторов – 0,24 т/га (18,5 %) по сравнению с вариантами без удобрений. Норма удобрений N₆₀P₆₀K₆₀ обеспечивала прибавки на 0,25 т/га (21,6 %) и 0,34 т/га (26,2 %).

Наивысшая отдача урожаем от применения удобрений по сидерату фацелия получена на варианте

с N₃₀P₃₀K₃₀, составив при обработке стимуляторами роста 2,67 кг дополнительной продукции на 1 кг удобрений, без стимуляторов – 2,00 кг/кг.

Наиболее экономное использование влаги урожаем отмечено на варианте с внесением N₆₀P₆₀K₆₀ и тремя обработками стимуляторами роста по предшественнику фацелия – 101,4 мм/т.

Библиографический список

1. Лукомец В. М., Зеленцов С. В., Кривошлыков К. М. Перспективы и резервы расширения производства масличных культур в Российской Федерации // Масличные культуры. 2015. Вып. 4 (164). С. 81–102.
2. Першаков А. Ю., Белкина Р. И., Пороховинова Е. А. Урожайность и качество семян коллекционных образцов льна масличного // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 338–347. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-338-347.
3. Parikh M., Maddaford T. G., Austria J. A., et al. Dietary flaxseed as a strategy for improving human health // Nutrients. 2019. Vol. 11, No. 5. Article number 1171. DOI: 10.3390/nu1105 1171.
4. Ашкалов К. А., Кужинов М. Б., Баймуканова О. Н., Байшоланов С. С., Жумабек Б., Муратулы О. Продуктивность и рентабельность льна масличного в зависимости от погодных условий и технологии выращивания в условиях засушливого земледелия // Вестник науки Казахстанского агротехнологического университета им. С. Сейфуллина. 2023. № 1 (116). С. 196–211. DOI: 10.51452/kazatu.2023.1(116).1341.
5. Степных Н. В., Нестерова Е. В., Заргарян А. М. Значение масличных культур в повышении устойчивости растениеводства в природно-климатических условиях Южного Урала и Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 57–70. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-57-70.
6. Ергазина Д. С., Жамалова Д. Б., Тыныспаева Б. И., Зинченко А. В., Агибаева З. К. Изучение генофонда льна масличного в Костанайской области: опыт ТОО «СХОС Заречное» // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 08. С. 1177–1187. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-08-1177-1187.
7. Лен масличный (кудряш). Посевные площади, валовые сборы и урожайность в 2023 году [Электронный ресурс]. URL: <https://ab-centre.ru/news/len-maslichnyy-kudryash-posevnyye-ploschadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-v-2023-godu> (дата обращения: 19.02.2026).
8. Специализация – лен-кудряш [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/investments/article/44344-spetsializatsiya-len-kudryash-aston-sovmestno-s-zarubezhnym-partnerom-vlozhili-bolee-2-8-mlrd-rub-v-19.02.2026> (дата обращения 06.05.26).

9. Аветисян Д. Р., Каменев Р. А., Каменева В. К. Применение минеральных удобрений и бактериальных препаратов при выращивании льна масличного на черноземе обыкновенном в условиях Нижнего Дона // Аграрный научный журнал. 2023. № 8. С. 4–9. DOI: 10.28983/asj.y2023i8pp4-9.

10. Авдеев А. П., Парасоцкий А. В. Продуктивность льна масличного в южной зоне Ростовской области // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. Т. 39. С. 1601–1605. URL: <http://e-koncept.ru/2017/970647.htm> (дата обращения: 19.02.2026).

11. Айтхожин С. К., Гордеева Е. А., Шестакова Н. А., Швидченко В. К., Тезекбаева А. Е. Продуктивность льна масличного (*Linum usitatissimum*) Кустанайский янтарь в условиях сухой степи Северного Казахстана в зависимости от элементов агротехники // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2023. № 3 (118). С. 348–363. DOI: 10.51452/kazatu.2023.3(118).1527.

12. Маслинская М. Е. Оценка уровня продуктивности и адаптивного потенциала сортов льна масличного в условиях Беларуси // Аграрный вестник Урала. 2021. № 09 (212). С. 25–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-212-09-25-33.

13. Кудрявцева Л. П. Значимость «Коллекции микроорганизмов – возбудителей болезней льна» в селекционной работе на устойчивость к фузариозному увяданию и ржавчине // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 01. С. 2–9. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-01-2-9.

14. Подлипная А. В., Виноградов Д. В., Березнов А. В. Продуктивность льна масличного на фоне расчетных доз минерального питания и применения агрохимиката в условиях Московской области // Плодородие. 2024. № 1. С. 20–22. DOI: 10.25680/S19948603.2024.136.05.

15. Колотов А. П., Бородулина Ф. А. Реакция льна масличного на минеральные удобрения при бессменном посеве // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5. С. 35–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-35-42.

16. Еговцева А. Ю., Каменева И. А., Якубовская А. И., Абдурашитов С. Ф., Гритчин М. В., Смирнова И. И. Таксономическое разнообразие микробиома чернозема южного под влиянием сидерата фацелии и целлюлозолитической ассоциации // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1316–1328. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-09-1316-1328.

17. Приходько А. В., Черкашина А. В. Продуктивность сидеральных культур в различных гидротермических условиях // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3 (27). С. 144–154. DOI: 10.339522542-0720-2021-3-27-144-154.

18. Маслинская М. Е., Савельев Н. С., Череухина Е. В. Изучение эффективности новых приемов при возделывании льна масличного // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, 2022. № 2. С. 131–136.

19. Корнейкова Ю. С., Вильдфлуш И. Р. Влияние комплексного применения минеральных удобрений, регуляторов роста и биопрепаратов на урожайность и качество льна масличного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. 2021. № 2 (67). С. 143–154.

20. Мамырко Ю. В., Бушнев А. С. Изменение элементов структуры урожая льна масличного в зависимости от гидротермических условий, применения удобрений и нормы высева семян // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1. С. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-11-16.

21. Полуэктов Е. В., Цвылев Е. М. Почвенно-земельные ресурсы Ростовской области: монография. Новочеркасск: УПЦ «НАБЛА» ЮРГТУ (НПИ), 2008. 355 с.

Об авторах:

Николай Николаевич Вошедский, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0002-0800-1572, AuthorID 857099. E-mail: nik.voshedskiy@mail.ru

Изида Николаевна Ильинская, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0002-7876-1622, AuthorID 516506. E-mail: izidaar@mail.ru

Владимир Анатольевич Кулыгин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0001-6351-8569, AuthorID 516506. E-mail: kulygin-vladimir@rambler.ru

Сергей Валентинович Пасько, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией биологии растений, агрохимии и сортовой агротехники, Федеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0003-2504-3448, AuthorID 735230.

E-mail: pasko_s@mail.ru

References

1. Lukomets V. M., Zelenetsov S. V., Krivoshlykov K. M. Prospects and reserves for expanding the production of oilseed crops in the Russian Federation. *Oil Crops*. 2015; 4 (164): 81–102. (In Russ.)

2. Pershakov A. Yu., Belkina R. I., Porokhovinova E. A. Productivity and quality of seeds of collection samples of oil flax. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 24 (03): 338–347. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-338-347. (In Russ.)
3. Parikh M., Maddaford T. G., Austria J. A., et al. Dietary flaxseed as a strategy for improving human health. *Nutrients*. 2019; 5 (11): 1171. DOI: 10.3390/nu11051171.
4. Ashkalov K. A., Kuzhinov M. B., Baimukanova O. N., Baisholanov S. S., Zhumabek B., Muratuly O. Productivity and profitability of oilseed flax depending on weather conditions and cultivation technology in arid agriculture. *Bulletin of Science of the C. Seifullin Kazakh Agrotechnological University*. 2023; 1 (116): 196–211. DOI: 10.51452/kazatu.2023.1(116).1341. (In Russ.)
5. Stepnykh N. V., Nesterova E. V., Zargaryan A. M. The importance of oilseeds in increasing the sustainability of crop production in the natural and climatic conditions of the Southern Urals and Trans-Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 07 (236): 57–70. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-57-70. (In Russ.)
6. Ergazina D. S., Zhamalova D. B., Tynyspaeva B. I., Zinchenko A. V., Agibayeva Z. K. Study of the oilseed flax gene pool in the Kostanay region: the experience of LLP “AES Zarechnoye”. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 8 (25): Pp. 1177–1187. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-08-1177-1187. (In Russ.)
7. *Oil flax (curly flax). Sown areas, gross yields and yields in 2023* [Internet] [cited 2026 Feb 19]. Available from: <https://ab-centre.ru/news/len-maslichnyy-kudryash-posevnye-ploschadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-v-2023-godu>. (In Russ.)
8. *Specialization – curly flax* [Internet] [cited 2026 Jun 05]. Available from: <https://www.agroinvestor.ru/investments/article/44344-spetsializatsiya-len-kudryash-aston-sovmestno-s-zarubezhnym-partnerom-vlozhili-bol-ee-2-8-mlrd-rub-v/19.02.2026>. (In Russ.)
9. Avetisyan D. R., Kamenev R. A., Kameneva V. K. The application of mineral fertilizers and bacterial preparations in the cultivation of oil flax on ordinary chernozem in the conditions of the Lower Don. *Agrarian Scientific Journal*. 2023; 8: 4–9. DOI: 10.28983/asj.y2023i8pp4-9. (In Russ.)
10. Avdeenko A. P., Parasotskiy A. V. Productivity of oilseed flax in the southern zone of the Rostov Region. *Scientific and Methodological Electronic Journal “Concept”* [Internet]. 2017 [cited 2026 Feb 19]; 39: 1601–1605. Available from: <http://e-koncept.ru/2017/970647.htm>. (In Russ.)
11. Aitkhozhin S. K., Gordeeva E. A., Shestakova N. A., Shvidchenko V. K., Tezekbaeva A. E. Productivity of oil flax (*Linum usitatissimum*) ‘Kustanay amber’ in the conditions of the dry steppe of Northern Kazakhstan, depending on the elements of agricultural technology. *Bulletin of Science of the S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. 2023; 3 (118): 348–363. DOI: 10.51452/kazatu.2023.3(118).1527. (In Russ.)
12. Maslinskaya M. E. Assessment of the level of productivity and adaptive potential of linseed varieties in Belarus. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 9 (212): 25–33. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-212-09-25-33. (In Russ.)
13. Kudryavtseva L. P. The importance of the “Collection of microorganisms – pathogens of flax diseases” in breeding work for resistance to fusarium wilt and rust. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 01 (25): 2–9. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-01-2-9. (In Russ.)
14. Podlipnaya A. V., Vinogradov D. V., Bereznev A. V. Productivity of oilseed flax against the background of calculated doses of mineral nutrition and the use of agrochemicals in the conditions of the Moscow region. *Plodородie*. 2024; 1: 20–22. DOI: 10.25680/S19948603.2024.136.05. (In Russ.)
15. Kolotov A. P., Borodulina F. A. The oil flax reaction to mineral fertilizers with permanent sowing. *Bulletin of KSAU*. 2022; 5: 35–42. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-35-42. (In Russ.)
16. Egovtseva A. Yu., Kameneva I. A., Yakubovskaya A. I., Abdurashitov S. F., Gritchin M. V., Smirnova I. I. Taxonomic diversity of the microbiome of southern chernozem under the influence of phacelia green manure and cellulolytic association. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 09 (25): 1316–1328. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-09-1316-1328. (In Russ.)
17. Prikhodko A. V., Cherkashina A. V. Productivity of green manure crops depending on hydrothermal conditions. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021; 3 (27): 144–154. DOI: 10.339522542-0720-2021-3-27-144-154. (In Russ.)
18. Maslinskaya M. E., Savelyev N. S., Cheryukhina E. V. Studying the effectiveness of new techniques in the cultivation of oilseed flax. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022; 2: 131–136. (In Russ.)
19. Korneikova Yu. S., Wildflush I. R. Influence of complex application of mineral fertilizers, regulators of height and biologics on the productivity and quality of flax oily on sod-podzolic light loamy soil. *Soil Science and Agrochemistry*. 2021; 2 (67): 143–154. (In Russ.)
20. Mamyрко Yu. V., Bushnev A. S. The change in the yield structure elements of oilseed flax depending on hydrothermal conditions, the use of fertilizers, the seeding rates. *Grain Economy of Russia*. 2020; 1: 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-11-16. (In Russ.)

21. Poluektov E. V., Tsilyev E. M. *Soil and Land Resources of the Rostov Region: a monograph*. Novocherkassk: UPC "NABLA" of the South Russian State Technical University (NPI), 2008: 355. (In Russ.)

Authors' information:

Nikolay N. Voshedskiy, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Federal Rostov Agrarian Research Center, Rassvet settlement, Rostov region, Russia; ORCID 0000-0002-0800-1572, AuthorID 857099.

E-mail: nik.voshedskiy@mail.ru

Izida N. Ilyinskaya, doctor of agricultural sciences, chief researcher, Federal Rostov Agrarian Research Center, Rassvet settlement, Rostov region, Russia; ORCID 0000-0002-7876-1622, AuthorID 516506.

E-mail: izidaar@mail.ru

Vladimir A. Kulygin, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Federal Rostov Agrarian Research Center, Rassvet settlement, Rostov region, Russia; ORCID 0000-0001-6351-8569, AuthorID 516506.

E-mail: kulygin-vladimir@rambler.ru

Sergey V. Pasko, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory of plant biology, agrochemistry, and varietal agrotechnology, Federal Rostov Agrarian Research Center, Rassvet settlement, Rostov region, Russia; ORCID 0000-0003-2504-3448, AuthorID 735230. *E-mail: pasko_s@mail.ru*

Перспективы применения органоминеральных удобрений, полученных на основе сепарации свежего навоза, для повышения плодородия почв

В. В. Голембовский¹, А. А. Коровин¹✉, В. С. Цховребов²

¹Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия

²Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

✉E-mail: abv20korovin@yandex.ru

Аннотация. Цель – изучение агрохимического состава почв до и после однократного внесения жидкой фракции – продукта первичной переработки (Патент на изобретение RU 2853322 C1) свежего навоза крупного рогатого скота (КРС) и вермикомпоста, произведенного на основе твердой фракции сепарированного свежего навоза КРС. **Методы.** Проведение полевых опытов осуществлялось в Ставропольском крае по общепринятой методике. Почвами опытного участка являются чернозем обыкновенный карбонатный мощный малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках при выращивании озимой пшеницы и чернозем южный слабоэродированный среднесуглинистый малогумусный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках – для выращивания озимого чеснока. Вермикомпостирование производилось при температуре окружающей среды 18–25 °С и влажности субстрата 60–80 % в течение 2 месяцев с использованием червей семейства *Lumbricidae*: *Dendrobaena veneta* и *Eisenia fetida*. **Научная новизна.** Впервые в условиях Северо-Кавказского региона России была изучена эффективность применения органоминеральных удобрений, полученных на основе сепарации и вермикомпостирования свежего навоза крупного рогатого скота на состояние почв, использованных для выращивания озимых сортов пшеницы и чеснока. **Результаты.** Установлено, что применение удобрений увеличивает содержание органического вещества (на 0,23–0,48 %), нитратного азота, подвижных фосфора (на 3,0–7,2 мг/кг) и калия (в среднем на 30–60 мг/кг). Для большинства показателей удобрительный эффект сохраняется не только на первый, но и на второй год последствия. На показатель pH почвенной среды применение удобрений не оказывает существенного влияния.

Ключевые слова: жидкая фракция сепарированного свежего навоза крупного рогатого скота, вермикомпост, дождевые черви, органическое вещество, нитратный азот, подвижный фосфор и калий

Благодарности. Государственное задание Минобрнауки РФ ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (тема № FNMU-2025-0009).

Для цитирования: Голембовский В. В., Коровин А. А., Цховребов В. С. Перспективы применения органоминеральных удобрений, полученных на основе сепарации свежего навоза, для повышения плодородия почв // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1621–1629. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1621-1629>.

Дата поступления статьи: 28.04.2026, **дата рецензирования:** 19.05.2026, **дата принятия:** 20.05.2026.

Prospects for using organomineral fertilizers obtained by separating fresh manure to improve soil fertility

V. V. Golembovskiy¹, A. A. Korovin¹✉, V. S. Tskhovrebov²

¹ North Caucasus Federal Agrarian Research Center, Mikhaylovsk, Stavropol Krai, Russia

² Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

✉ E-mail: abv20korovin@yandex.ru

Abstract. The purpose is to study the agrochemical composition of soils before and after a single application of a liquid fraction, a product of primary processing (Patent for Invention RU 2853322 C1) of fresh cattle manure (CM) and vermicompost produced on the basis of a solid fraction of separated fresh CM manure. **Methods.** Field experiments were carried out in the Stavropol Territory according to the generally accepted methodology. The soils of the experimental plot are ordinary carbonate powerful low-humus heavy loamy soils on loess-like loams for growing winter wheat, and southern weakly eroded medium-power low-humus heavy loamy soils on loess-like loams for growing winter garlic. Vermicomposting was carried out at an ambient temperature of 18–25°C and a substrate moisture content of 60–80 % for 2 months using worms of the *Lumbricidae* family: *Dendrobaena veneta* and *Eisenia fetida*. **Scientific novelty.** For the first time in the North Caucasus region of Russia, the effectiveness of using organomineral fertilizers obtained by separating and vermicomposting fresh cattle manure on the condition of soils used for growing winter wheat and garlic was studied. **Results.** It has been established that the use of fertilizers increases the content of organic matter (by 0.23–0.48 %), nitrate nitrogen, mobile phosphorus (by 3.0–7.2 mg/kg), and potassium (by an average of 30–60 mg/kg). For most indicators, the fertilization effect is maintained not only in the first year, but also in the second year of after-effect. The use of fertilizers does not have a significant impact on the pH of the soil environment.

Keywords: liquid fraction of separated fresh cattle manure, vermicompost, earthworms, organic matter, nitrate nitrogen, mobile phosphorus and potassium

Acknowledgements. The study was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the State assignment of the North Caucasus FARC (theme No. FNMU-2025-0009).

For citation: Golembovskiy V. V., Korovin A. A., Tskhovrebov V. S. Prospects for using organomineral fertilizers obtained by separating fresh manure to improve soil fertility. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1621–1629. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1621-1629>. (In Russ.)

Date of paper submission: 28.04.2026, **date of review:** 19.05.2026, **date of acceptance:** 20.05.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Деградация земель сельскохозяйственного назначения и токсическое воздействие на состояние окружающей среды свежих и аккумулированных побочных продуктов животноводства (ППЖ) признаны основными угрозами продовольственной и экологической безопасности в мировом масштабе [1; 2]. Разрушение органических компонентов почвы, вынос и отчуждение макро- и микроэлементов вместе с урожаем, а также нарушение разнообразия почвенной биоты, обусловленное внесением все возрастающего количества удобрений и агрохимикатов, лежат в основе прогрессирующей деградации почв [3]. При этом во всех регионах России наблюдается снижение содержания гумуса и элементов питания, поэтому невозможно в полной мере возместить вынос питательных веществ из разных типов почв [4].

Ставропольский край не является исключением. По данным многолетних агрохимических обследований, 85 % почв характеризуются низким содержанием гумуса, 41 % – очень низким и низким содержанием подвижного фосфора. Среднее содержание в почве: гумуса – 3, фосфора – 19, калия – 300 мг/кг почвы. В среднем площади с низким содержанием гумуса ежегодно увеличиваются на 1 %, фосфора – на 5 %, калия – на 3 %. Из-за недостаточных объемов агрохимических и мелиоративных мероприятий баланс гумуса и питательных элементов в земледелии отрицательный [5–8].

При этом большинству отходов сельскохозяйственного производства животного и растительного происхождения свойственны высокое содержание органических веществ, макро- и микроэлементов, которые позволяют их рассматривать как перспективное сырье для производства органоминераль-

ных удобрений, используя достаточно экологичную и малозатратную технологию вермикомпостирования. Ее широкое внедрение в нынешней сложной экономической обстановке позволяет достаточно быстро не только избавиться от токсичных отходов, но и повысить плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур. При этом важно разработать простой, но надежный рабочий процесс. Это позволит ускорить практическое внедрение разработанных методов и средств и получить требуемый экономический и экологический эффект [9–11].

Повышение почвенного плодородия невозможно без соблюдения закона возврата в почву элементов питания, используемых растениями при создании урожая. При современном уровне обеспеченности сельскохозяйственных товаропроизводителей материально-техническими ресурсами большая часть урожая выращиваемых культур формируется за счет мобилизации почвенного плодородия без компенсации выносимых элементов питания. В настоящее время во многих регионах страны объем внесения удобрений в 4–5 раз меньше уровня выноса действующего вещества, что приводит к отрицательному балансу питательных веществ и гумуса и создает предпосылки для усиления деградиационных процессов в почве [12].

Природоподобные технологии должны представлять собой комплекс мер, которые направлены на восстановление естественного ресурсооборота и преследуют две главные цели: получение качественных продуктов, которые не вредят здоровью человека, а также исключение вреда природе, которое могло бы принести их выращивание. Одним из правил таких технологий обозначено, что в качестве удобрений используются только органические соединения, а технологии органического земледелия предполагают работу по принципу замкнутого цикла (животноводство – земледелие), где животные получают корма, а растения – удобрения [13].

Несмотря на недостаточность, а зачастую и противоречивость результатов лабораторных и полевых исследований, учеными-агрярами настоятельно рекомендуется вернуться к принципам органического земледелия и использовать только сбалансированные комплексные органоминеральные системы удобрений для воспроизводства плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур [14–18].

Цель исследования – изучить влияние внесения жидкой фракции продукта первичной переработки (Патент на изобретение RU 2853322 C1) свежего навоза КРС и вермикомпоста, полученного на основе переработки твердой фракции сепарированного свежего навоза КРС червями семейства *Lumbricidae*, на агрохимический состав почв до и после однократного применения.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования производили во ВНИИОК – филиале ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» и на землях индивидуального предпринимателя – главы крестьянско-фермерского хозяйства Нечаева А. В., расположенных на территории Грачевского муниципального округа Ставропольского края (45°12' с. ш. 42°24' в. д.). Климат в регионе умеренно континентальный, зона неустойчивого увлажнения. За год выпадает 450–550 мм осадков при гидротермическом коэффициенте увлажнения по Селянинову (ГТК) 0,9–1,1 и сумме активных температур 3000–3200 °С. Зима умеренно мягкая, средняя месячная температура января от –3,0 до –0,5 °С, минимальная – от –32 до –34 °С. Высота снежного покрова – до 10 см и выше. Сход снежного покрова отмечается в начале марта, возобновление вегетации – в конце марта – начале апреля. Продолжительность безморозного периода составляет 180–195 дней. Лето довольно жаркое, со среднемесячной температурой июля 22–24 °С, жарких дней 60–80. Осадков за период активной вегетации выпадает порядка 300–350 мм. Район благоприятен для возделывания зерновых и других сельскохозяйственных культур.

Почвенный покров, использованный для постановки опыта участков, представлен черноземом обыкновенным карбонатным мощным малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидных суглинках – для озимой пшеницы, черноземом южным слабоэродированным среднемощным малогумусным тяжелосуглинистым на лессовидных суглинках – для выращивания озимого чеснока. По результатам агрохимических анализов в годы проведения исследований верхний горизонт (0–20 см) почвы хозяйства, выделенной под зерновые культуры, характеризовался следующими параметрами: средней обеспеченностью органическим веществом (4,53–5,01 %); очень низкой – N-NO₃ (15,9–24,6 мг/кг); низким содержанием подвижного фосфора (21–29 мг/кг) и высоким содержанием подвижного калия (407–410 мг/кг), реакция среды щелочная: pH = 8,11...8,18; под луковичные культуры – низкой обеспеченностью органическим веществом (2,39–2,43 %); низкой – N-NO₃ (14,7–19,1 мг/кг); высокой – P₂O₅ (55–57 мг/кг), высокой – K₂O (439,1–578,0 мг/кг), слабощелочной реакцией (pH = 7,6...7,8).

Твердую и жидкую фракции получали путем сепарации свежего навоза КРС по разработанной и запатентованной авторами технологии [19]. В качестве производителя вермикомпоста были использованы черви семейства *Lumbricidae*: *Dendrobaena veneta* и *Eisenia fetida*. Вермикомпостирование проводилось при температуре окружающей среды в пределах 18–25 °С и влажности субстрата от 60 % до 80 % в течение 2 месяцев.

Проведенные ранее агрохимические, санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические исследования подтвердили соответствие полученных жидкой фракции и вермикомпоста требованиям ГОСТ, предъявляемым к органическим и минеральным удобрениям [19; 20].

Жидкую фракцию вносили на поля перед посевом озимой пшеницы в объемах 2000 и 4000 л/га, а вермикомпост – перед высадкой озимого чеснока сорта Алькор в объемах 2000, 4000 и 6000 л/га. Отбор почвенных образцов производили через месяц после посева. Повторный отбор почв осуществляли после уборки сельскохозяйственных культур.

Таблица 1
Изменение агрохимических показателей почв под озимой пшеницей при внесении различных доз жидкой фракции сепарированного свежего навоза КРС

Показатель	Показатели жидкой фракции	Вариант опыта	После посева	После уборки
Органическое вещество, %	74	Контрольный участок	4,53	4,69
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	4,76	4,93
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	5,01	5,12
НСР ₀₅			0,20	0,19
Нитратный азот (N-NO ₃), мг/кг	7 700	Контрольный участок	15,9	19,3
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	21,1	21,3
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	22,5	24,6
НСР ₀₅			1,4	2,0
Подвижный фосфор (P ₂ O ₃), мг/кг	1 600	Контрольный участок	21,0	28,0
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	24,0	30,0
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	28,2	32,0
НСР ₀₅			1,4	1,3
Подвижный калий (K ₂ O), мг/кг	10 600	Контрольный участок	407	433
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	437	446
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	480	511
НСР ₀₅			11,2	9,8
Реакция среды, ед. pH	7,2	Контрольный участок	8,12	8,08
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	8,16	8,13
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	8,17	8,15
НСР ₀₅			0,06	0,07

Table 1
Changes in the agrochemical parameters of soils under winter wheat when applying different doses of the liquid fraction of separated fresh cattle manure

Indicator	Indicators of the liquid fraction	An experience option	After sowing	After harvesting
Organic matter, %	74	Control plot	4.53	4.69
		Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)	4.76	4.93
		Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)	5.01	5.12
LSD ₀₅			0.20	0.19
Nitrate nitrogen (N-NO ₃), mg/kg	7 700	Control plot	15.9	19.3
		Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)	21.1	21.3
		Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)	22.5	24.6
LSD ₀₅			1.4	2.0
Mobile phosphorus (P ₂ O ₃), mg/kg	1 600	Control plot	21.0	28.0
		Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)	24.0	30.0
		Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)	28.2	32.0
LSD ₀₅			1.4	1.3
Mobile potassium (K ₂ O), mg/kg	10 600	Control plot	407	433
		Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)	437	446
		Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)	480	511
LSD ₀₅			11.2	9.8
Reaction of the medium, pH units	7.2	Control plot	8.12	8.08
		Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)	8.16	8.13
		Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)	8.17	8.15
LSD ₀₅			0.06	0.07

При этом жидкую фракцию вносили методом линейного полива длиной полосы 100 м и шириной 0,5–1,0 м.

Вермикомпост вносили в виде мульчи с последующей заделкой дисковыми орудиями. При этом размеры каждого участка составляли 18 м².

Для агрохимического состава жидкой фракции и вермикомпоста были характерны следующие показатели: органическое вещество – 74,0 ± 1,1 % и 31,5 ± 1,7 %, нитратный азот – 7700 ± 19,8 мг/кг и 8200 ± 24,3 мг/кг; P₂O₅ – 1600 ± 10,3 мг/кг и 6400 ± 15,5 мг/кг, K₂O – 10 600 ± 15,6 мг/кг и 11 400 ± 22,1 мг/кг, pH – 7,2 ед. и 7,1 ед. соответственно.

Повторность опытов трехкратная.

Для проведения агрохимического анализа отбор почвенных образцов осуществляли из поверхностного слоя 0–20 см в четырехкратной повторности.

Агрохимические анализы почв до и после внесения удобрений были выполнены в условиях аттестованных лабораторий ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр». Определяли следующие показатели: нитратный азот – дисульфифеноловым методом по Грандваль – Ляжу, подвижный фосфор и калий – по Мачигину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205-91), содержа-

ние гумуса – по методу И. В. Тюрина в модификации В. Н. Симакова, pH водной вытяжки ионометрическим методом – по ГОСТ 26423-85.

Результаты (Results)

Исследования показали, что использование в качестве органических удобрений жидкой фракции свежего навоза КРС и вермикомпоста, выработанного дождевыми червями семейства *Lumbricidae* из твердой фракции сепарированного свежего навоза КРС, оказало влияние на агрохимические показатели почв. На контрольном участке поля озимой пшеницы после посева содержание органического вещества составило 4,53 % (таблица 1). На вариантах с применением 2000 и 4000 л/га изучаемый показатель возрос на 0,23 % и 0,48 % соответственно. Аналогичные показатели были получены и после уборки пшеницы. Следовательно, применение данного вида удобрений позволяет повысить один из важных показателей почвенного плодородия и сохраняет свое последствие на следующий год.

Содержание нитратного азота на контроле данного опыта после посева составляет 15,9 мг/кг и классифицируется как низкое. На вариантах внесения удобрения 2000 и 4000 л/га содержание данного элемента питания также характеризуется как низкое, хотя налицо достоверное увеличение искомого показателя на 5,2 и 6,6 мг/кг соответственно.

Таблица 2
Изменение агрохимических показателей почв под озимым чесноком при внесении вермикомпоста

Показатель	Показатели вермикомпоста	Вариант опыта	После посева	После уборки
Органическое вещество, %	31,5	Контрольный участок	2,39	2,54
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	2,43	2,73
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	2,47	2,81
		Участок 3 (6,0 тыс. л/га)	2,54	3,17
HCP ₀₅			0,15	0,14
Нитратный азот (N-NO ₃), мг/кг	8 200	Контрольный участок	14,7	15,6
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	19,1	20,4
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	20,7	21,9
		Участок 3 (6,0 тыс. л/га)	25,2	27,8
HCP ₀₅			1,2	1,8
Подвижный фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	6 400	Контрольный участок	57,5	58,2
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	61,25	62,0
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	64,0	65,3
		Участок 3 (6,0 тыс. л/га)	70,0	79,45
HCP ₀₅			2,2	2,4
Подвижный калий (K ₂ O), мг/кг	11 400	Контрольный участок	448,5	452,5
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	467,0	478,0
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	487,5	496,5
		Участок 3 (6,0 тыс. л/га)	509,1	526,0
HCP ₀₅			12,9	10,4
Реакция среды, ед. pH	7.1	Контрольный участок	7,80	7,84
		Участок 1 (2,0 тыс. л/га)	7,76	7,73
		Участок 2 (4,0 тыс. л/га)	7,79	7,76
		Участок 3 (6,0 тыс. л/га)	7,73	7,79
HCP ₀₅			0,07	0,06

Table 2

Changes in the agrochemical parameters of soils under winter garlic when vermicompost is applied

<i>Indicator</i>	<i>Vermicompost indicators</i>	<i>An experience option</i>	<i>After sowing</i>	<i>After harvesting</i>
<i>Organic matter, %</i>	31.5	<i>Control plot</i>	2.39	2.54
		<i>Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)</i>	2.43	2.73
		<i>Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)</i>	2.47	2.81
		<i>Plot 3 (6,0 thousand liters per hectare)</i>	2.54	3.17
<i>LSD₀₅</i>			0.15	0.14
<i>Nitrate nitrogen (N-NO₃), mg/kg</i>	8 200	<i>Control plot</i>	14.7	15.6
		<i>Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)</i>	19.1	20.4
		<i>Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)</i>	20.7	21.9
		<i>Plot 3 (6,0 thousand liters per hectare)</i>	25.2	27.8
<i>LSD₀₅</i>			1.2	1.8
<i>Mobile phosphorus (P₂O₃), mg/kg</i>	6 400	<i>Control plot</i>	57.5	58.2
		<i>Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)</i>	61.25	62.0
		<i>Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)</i>	64.0	65.3
		<i>Plot 3 (6,0 thousand liters per hectare)</i>	70.0	79.45
<i>LSD₀₅</i>			2.2	2.4
<i>Mobile potassium (K₂O), mg/kg</i>	11 400	<i>Control plot</i>	448.5	452.5
		<i>Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)</i>	467.0	478.0
		<i>Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)</i>	487.5	496.5
		<i>Plot 3 (6,0 thousand liters per hectare)</i>	509.1	526.0
<i>LSD₀₅</i>			12.9	10.4
<i>Reaction of the medium, pH units</i>	7.1	<i>Control plot</i>	7.80	7.84
		<i>Plot 1 (2.0 thousand liters per hectare)</i>	7.76	7.73
		<i>Plot 2 (4.0 thousand liters per hectare)</i>	7.79	7.76
		<i>Plot 3 (6,0 thousand liters per hectare)</i>	7.73	7.79
<i>LSD₀₅</i>			0.07	0.06

Анализ результатов в послеуборочный период дал схожие результаты, хотя разница между контролем и вариантом внесения 2000 л/га на второй год последствий была недостоверной.

Наименьшее содержанием подвижного фосфора после посева характерно для контрольного участка (21,0 мг/кг). Содержание данного элемента питания в результате применения 2000 л/га жидкой фракции свежего навоза КРС достоверно возросло на 3,0 мг/кг, а при применении 4000 л/га испытуемого удобрения – на 7,2 мг/кг.

На второй год последствия после уборки озимой пшеницы сохраняется выявленная тенденция. Увеличение содержания подвижного фосфора достоверно, но менее значительно по сравнению с годом посева. Следовательно, на второй год последствия можно наблюдать «затухание» удобрительного эффекта.

Изменения в содержании подвижного калия схожи с изменениями подвижного фосфора. Обеспеченность почв этим элементом питания можно считать высокой на всех вариантах опыта, но разница значительная на опытных участках по сравнению с контролем после посева. Последствие удобрения снижается в последующем году после уборки и на варианте с применением 2000 л/га жидкого удобре-

ния, разница с контролем недостоверная, в пределах ошибки опыта.

При определении кислотно-щелочного потенциала почв выявили, что в результате применения жидкой фракции свежего навоза КРС в исследуемых дозах показатель pH не имел существенных различий между вариантами опыта в оба года исследований. Разница в этом показателе была недостоверной, хотя pH жидкого удобрения составляла 7,2 ед., что почти на 1 ед. ниже по сравнению с опытными вариантами. Следовательно, черноземы обыкновенные карбонатные имеют высокую степень буферности за счет карбонатно-кальциевого комплекса, что не дает возможности смещения pH среды в ту или иную сторону.

Исследования, проведенные на черноземе южном при выращивании озимого чеснока с применением твердой фракции сепарированного свежего навоза КРС, в целом указали на схожесть результатов при выращивании озимой пшеницы на черноземе обыкновенном с применением жидкой фракции свежего навоза КРС (таблица 2). Но можно отметить и некоторые различия. Так, содержание органического вещества после посева на контроле (2,39 %) и вариантах с внесением 2000, 4000 и 6000 л/га (в пределах 2,43–2,54 %) не имело существенных и

достоверных различий. После уборки при содержании органического вещества на контроле, равном 2,54 %, произошло достоверное увеличение исследуемого показателя на 0,19–0,63 %.

Исследования содержания нитратного азота выявили, что его количество на контроле наименьшее и составляет 14,7 мг/кг. В результате применения вермикомпоста произошло увеличение исследуемого показателя на всех вариантах опыта и особенно в варианте с применением 6 тыс. л/га (на 10,5 мг/кг). После уборки культуры содержание нитратов сохраняло тенденции после посева между вариантами опыта.

Обеспеченность чернозема южного подвижным фосфором на поле под озимым чесноком можно считать высокой. Это произошло за счет применения высоких доз удобрений в овощном севообороте. Тем не менее наименьшим содержание данного элемента питания после посева было на контроле и составило 57,5 мг/кг. В результате применения вермикомпоста произошло увеличение данного показателя. Наибольшим такое увеличение было в варианте с применением 6000 л/га удобрения и составило 12,5 мг/кг.

После уборки культуры наблюдалась аналогичная картина. Следовательно, удобрительный эффект от применения вермикомпоста сохраняется и на второй год последействия.

Почва опытного участка имеет высокую степень обеспеченности подвижным калием. На контрольном участке исследуемая величина составляет 448,5 мг/кг. При внесении вермикомпоста в

дозе 2000 л/га происходит увеличение содержания подвижного калия на 18,5 мг/кг, а при внесении 4000 л/га – на 39,0 мг/кг. Наиболее значительное увеличение данного показателя обнаружено в варианте с использованием 6000 л/га вермикомпоста и составило 60,6 мг/кг.

Исследования, проведенные после уборки культуры, дали аналогичный результат. Следовательно, испытуемое удобрение существенно увеличивает содержание подвижного калия и сохраняет последнее и на следующий год.

Кислотно-щелочной потенциал почвы опытного участка находится в пределах слабощелочной реакции среды и слабо изменяется по вариантам опыта.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, проведенные исследования по изучению агрохимического состава почв, использованных под выращивание озимой пшеницы и озимого чеснока, показали, что даже однократное использование в качестве органических удобрений жидкой фракции свежего навоза КРС и вермикомпоста, выработанного дождевыми червями семейства *Lumbricidae* из твердой фракции сепарированного свежего навоза КРС, увеличивает содержание органического вещества (на 0,23–0,48 %), нитратного азота, подвижных фосфора (на 3,0–7,2 мг/кг) и калия (в среднем на 30–60 мг/кг) в черноземах обыкновенных и южных. Для большинства показателей удобрительный эффект сохраняется не только на первый, но и на второй год последействия. На показатель pH почвенной среды применение удобрений не оказывает существенного влияния.

Библиографический список

1. Zucca C., Fleiner R., Bonaiuti E., et al. Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms // Catena. 2022. Vol. 219. Article number 106575. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106575.
2. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 219–225. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225.
3. Чебоचाков Е. Я., Муртаев В. Н. Современное состояние использования пахотных земель в хозяйствах разных форм собственности в Приенисейской Сибири // Вестник КрасГАУ. 2021. № 2. С. 10–16. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-10-16.
4. Грехова И. В., Литвиненко Н. В., Грехова В. Ю. Эффективность применения органоминеральных удобрений на луковых культурах // Вестник КрасГАУ. 2022. № 9. С. 17–26. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-17-26.
5. Цховребов В. С., Есаулко А. Н., Новиков А. А. Современные проблемы плодородия почв Ставрополья // Агрохимический вестник. 2017. № 4. С. 3–8.
6. Цховребов В. С., Фаизова В. И., Никифорова А. М., Новиков А. А. Трансформация органического вещества в черноземах Ставропольского края целины и пашни // Агрохимический вестник. 2017. № 4. С. 13–16.
7. Гречишкина Ю. И., Егоров В. П., Матвиенко А. В. Баланс элементов питания в почве под ведущими сельскохозяйственными культурами Ставропольского края // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 7. С. 5–8. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_5.
8. Бегдай И. В., Харин К. В., Иваненко К. И. Мониторинг экологического состояния агрогенных почв Ставропольского края // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. 2024. Т. 18, № 3. С. 5–15. DOI: 10.31161/1995-0675-2024-18-3-5-15.

9. Nigussie A., Kuypers T. W., Bruun S., et al. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 139. Pp. 429–439. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.058.

10. Шалавина Е. В., Васильев Э. В., Уваров Р. А. Методы экологически безопасного использования навоза и помета фермерскими хозяйствами в Ленинградской области // *АгроЭкоИнженерия*. 2021. № 3 (108). С. 128–140. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140.

11. Бердыев Д. А. Вермикомпостирование органических отходов АПК и использование биогумуса при выращивании сельскохозяйственных культур // *Известия Дагестанского ГАУ*. 2024. № 4 (24). С. 30–36. DOI: 10.52671/26867591_2024_4_30.

12. Буряк С. М., Черникова О. В., Мажайский Ю. А. Восстановление плодородия малопродуктивных дерново-подзолистых почв, вновь вводимых в сельскохозяйственный оборот // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 1. С. 56–63. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-1-56-63.

13. Chernikova O., Seregina T., Mazhaysky Y., et al. Comparative analysis of the use of biostimulants on the main types of soil // *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19. Special Issue 1. Pp. 711–720. DOI: 10.15159/AR.21.075.

14. Тюрин В. Г., Мысова Г. А., Потемкина Н. Н. [и др.] Ветеринарно-санитарная оценка современных биотехнологических способов переработки навоза // *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2022. № 2 (42). С. 230–238. DOI: 10.36871/vet.san.hyг.ecol.202202012.

15. Юрина Т. А., Белик М. А., Негреба О. Н., Ермаков А. А. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при частичной биологизации производства // *Техника и оборудование для села*. 2023. № 4 (310). С. 22–24. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-22-24.

16. Воронкова Н. А., Балабанова Н. Ф., Волкова В. А. [и др.] Применение микробных технологий при переработке отходов птицеводства, используемых для повышения плодородия почвы и урожайности яровой пшеницы // *Вестник КрасГАУ*. 2024. № 12 (213). С. 78–85. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-78-85.

17. Есаулко А. Н., Ожередова А. Ю., Зверева О. С. [и др.] Эффективность применения доз жидкого биогумуса на различных фонах питания при возделывании картофеля на черноземе выщелоченном Ставропольской возвышенности // *International Agricultural Journal*. 2024. Т. 67, № 6. С. 2154–2167. DOI: 10.55186/25880209_2024_8_6_38.

18. Кормин В. П., Иванова М. В., Простынюк Т. В. Эффективность применения биогумуса под ячмень яровой на лугово-черноземной почве // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2025. № 3. С. 31–34.

19. Голембовский В. В., Коровин А. А., Сергеева Н. В. Технологическое решение по переработке свежего навоза и помета с характеристиками полученных продуктов // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025. Т. 26, № 5. С. 1142–1158. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.5.1142-1158.

20. Голембовский В. В., Коровин А. А., Сергеева Н. В. Перспективность внедрения биотехнологии конверсии органосодержащих отходов вермикультурой // *Вестник КрасГАУ*. 2025. № 4. С. 3–15. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-3-15.

Об авторах:

Владимир Владимирович Голембовский, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории промышленной технологии производства продукции животноводства, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия; ORCID 0000-0003-3124-0587, AuthorID 1037177. E-mail: vv26@yandex.ru

Андрей Анатольевич Коровин, доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории промышленной технологии производства продукции животноводства, Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр, Михайловск, Ставропольский край, Россия; ORCID 0009-0004-2565-1149, AuthorID 1130738. E-mail: abv20korovin@yandex.ru

Цховребов Валерий Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой почвоведения, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0000-0002-4809-3264, AuthorID 182397. E-mail: tshovrebov@mail.ru

References

1. Zucca C., Fleiner R., Bonaiuti E., et al. Land degradation drivers of anthropogenic sand and dust storms. *Catena*. 2022; 219: 106575. DOI: 10.1016/j.catena.2022.106575.

2. Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. Chemical land degradation under the influence of animal husbandry waste. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022; 3: 219–225. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225. (In Russ.)

3. Chebochakov E. Ya., Murtaev V. N. Current state of use of arable land in farms of different forms of ownership in Yenisei Siberia. *Bulliten of KSAU*. 2021; 2: 10–16. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-2-10-16. (In Russ.)

4. Grekhova I. V., Litvinenko N. V., Grekhova V. Yu. Organomineral fertilizers application efficiency on onion crops. *Bulliten of KSAU*. 2022; 9: 17–26. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-17-26. (In Russ.)
5. Tskhovrebov V. S., Esaulko A. N., Novikov A. A. Modern problems of soils fertility in Stavropol region. *Agrochemical Herald*. 2017; 4: 3–8. (In Russ)
6. Tskhovrebov V. S., Faizova V. I., Nikiforova A. M., Novikov A. A. Organic matter transformation in chernozems of arable and virgin lands in Stavropol region. *Agrochemical Herald*. 2017; 4: 13–88. (In Russ.)
7. Grechishkina Yu. I., Egorov V. P., Matvienko A. V. The balance of nutrients in the soil under the leading agricultural crops of the Stavropol Territory. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2023; 37 (7): 5–8. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_5. (In Russ)
8. Begday I. V., Kharin K. V., Ivanenko K. I. Monitoring the Ecological State of Agrogenic Soils in the Stavropol Territory. *Dagestan State Pedagogical University. Journal. Natural and Exact Sciences*. 2024; 18 (3): 5–15. DOI: 10.31161/1995-0675-2024-18-3-5-15. (In Russ)
9. Nigussie A., Kuyper T. W., Bruun S., et al. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *Journal of Cleaner Production*. 2016; 139: 429–439. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.058.
10. Shalavina E. V., Vasilev E. V., Uvarov R. A. Methods for environmentally safe use of animal/poultry manure on private farms in the Leningrad region. *AgroEcoEngineeriya*. 2021; 3 (108): 128–140. DOI: 10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140. (In Russ.)
11. Berdiyev D. A. Vermicomposting of agricultural organic waste and the use of biohumus when growing agricultural crops. *Dagestan GAU Proceedings*. 2024; 4 (24): 30–36. DOI: 10.52671/26867591_2024_4_30. (In Russ.)
12. Byrayk S. M., Chernikova O. V., Mazhayskiy Yu. A. Restoration of fertility of unproductive sod podzolic soils re-introduced into agricultural circulation. *Bulliten of KSAU*. 2024; 1: 56–63. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-1-56-63. (In Russ.)
13. Chernikova O., Seregina T., Mazhayskiy Y., et al. Comparative analysis of the use of biostimulants on the main types of soil. *Agronomy Research*. 2021; 19 (Special Issue 1): 711–720. DOI: 10.15159/AR.21.075.
14. Tyurin V. G., Mysova G. A., Potemkina N. N., et al. Veterinary and sanitary assessment of modern biotechnological methods of manure processing. *Russian Journal "Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology"*. 2022; 2 (42): 230–238. DOI: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202202012. (In Russ.)
15. Yurina T. A., Belik M. A., Negreba O. N., et al. Increasing crop yields with partial biologization of production. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023; 4 (310): 22–24. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-22-24. (In Russ.)
16. Voronkova N. A., Balabanova N. F., Volkova V. A., et al. Application of microbial technologies in processing poultry waste used to increase soil fertility and spring wheat yield. *Bulletin of KSAU*. 2024; 12: 78–85. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-78-85. (In Russ.)
17. Esaulko A. N., Ozheredova A. Yu., Zvereva O. S., et al. Efficiency of applying liquid biohumus doses on various nutrition backgrounds in cultivating potatoes on leached chernozem of the Stavropol upland. *International Agricultural Journal*. 2024; 67 (6): 2154–2167. DOI: 10.55186/25880209_2024_8_6_38. (In Russ.)
18. Kormin V. P., Ivanova M. V., Rostynyuk T. V. The effectiveness of using vermicompost for spring wheat on meadow-chernozem soil. *Bulletin of the Kursk State Agrarian University*. 2025; 3: 31–34. (In Russ.)
19. Golembovskiy V. V., Korovin A. A., Sergeeva N. V. Technological solution for processing fresh manure and droppings with characteristics of the obtained products. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2025; 26 (5): 1142–1158. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.5.1142-1158. (In Russ.)
20. Golembovskiy V. V., Korovin A. A., Sergeeva N. V. Prospects of implementing biotechnology for organic waste conversion by vermiculture. *Bulletin of KSAU*. 2025; 4: 3–15. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-3-15. (In Russ.)

Authors' information:

Vladimir V. Golembovskiy, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of industrial technology of livestock production, North Caucasus Federal Agrarian Research Center, Mikhaylovsk, Stavropol Krai, Russia; ORCID 0000-0003-3124-0587, AuthorID 1037177. *E-mail: vvh26@yandex.ru*

Andrey A. Korovin, doctor of medical sciences, leading researcher of the laboratory of industrial technology of livestock production, North Caucasus Federal Agrarian Research Center, Mikhaylovsk, Stavropol Krai, Russia; ORCID 0009-0004-2565-1149, AuthorID 1130738. *E-mail: abv20korovin@yandex.ru*

Valeriy S. Tskhovrebov, doctor of agricultural sciences, professor, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia; ORCID 0000-0002-4809-3264, AuthorID 182397. *E-mail: tshovrebov@mail.ru*

Природоохранные стратегии развития земледелия в России (аналитический обзор)

Ю. А. Овсянников

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

E-mail: ovs122333@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования состояла в изучении природоохранных стратегий развития земледелия в России. Основным методом исследования явился анализ их особенностей, различий, а также процесса формирования. **Результаты.** В работе сделан анализ формирования основных природоохранных стратегий развития земледелия в России. Выделены такие направления, как органическое, адаптивное, адаптивно-ландшафтное, биологическое, экологическое. Изучение их особенностей показывает, что все они основаны на использовании приемов, снижающих отрицательное воздействие отрасли на окружающую среду. При этом во многом они схожи. В то же время они имеют ряд особенностей, которые следует учитывать при определении стратегических природоохранных направлений развития земледелия. Предлагается новая стратегия развития земледелия – эколого-биосферная. Это направление, в отличие от существующих, предполагает сохранение выполнения территориями, вовлеченными в сельскохозяйственное производство, их биосферных функций. Это важно, т. к. выращивание культурных растений сопряжено с использованием в процессе производства значительных территорий планеты, большим поступлением в атмосферу парниковых газов и переработкой значительных объемов природных ресурсов. Все это вызывает соответствующие нарушения в биогеохимических потоках и других процессах, происходящих в биосфере. Таким образом, учет природоохранных аспектов является важным элементом в оценке направлений развития земледелия. **Научная новизна** состоит в том, что проведен анализ основных природоохранных стратегий развития земледелия в России и обоснована необходимость учета биосферных функций аграрно освоенных территорий. Дается обоснование необходимости перехода на эколого-биосферное земледелие.

Ключевые слова: органическое земледелие, адаптивное земледелие, биологическое земледелие, экологическое земледелие, адаптивно-ландшафтное земледелие, эколого-биосферное земледелие, средства химизации, биосфера, почва, плодородие почвы

Для цитирования: Овсянников Ю. А. Природоохранные стратегии развития земледелия в России (аналитический обзор) // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1630–1641. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1630-1641>.

Дата поступления статьи: 21.04.2026, **дата рецензирования:** 01.06.2026, **дата принятия:** 13.07.2026.

Environmental strategies for the development of agriculture in Russia (analytical review)

Yu. A. Ovsyannikov

Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

E-mail: ovs122333@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study was to study environmental strategies for the development of agriculture in Russia. The main research method was the analysis of their features, differences, as well as the formation process. **Results.** The paper analyzes the formation of the main environmental protection strategies for the development of agriculture in Russia. The following areas are identified: organic, adaptive, adaptive landscape, biological, and ecological. An examination of their characteristics shows that all of them are based on the use of techniques that reduce the negative impact of the industry on the environment. At the same time, they are largely similar.

At the same time, they have a number of features that should be taken into account when determining strategic environmental protection directions for the development of agriculture. A new strategy for the development of agriculture is proposed – the ecological biosphere strategy. This approach, unlike existing ones, assumes saving the ability of territories involved in agricultural production to fulfill their biospheric functions. This is important because the cultivation of cultivated plants involves the use of large areas of the planet in the production process, a significant release of greenhouse gases into the atmosphere, and the processing of large volumes of natural resources. All of this causes corresponding disruptions in biogeochemical flows and other processes occurring in the biosphere. Thus, taking environmental aspects into account is an important element in assessing the directions for the development of agriculture. **The scientific novelty** lies in the fact that the analysis of the main environmental strategies for the development of agriculture in Russia has been carried out and the need to take into account the biospheric functions of agrolandscapes has been substantiated. The rationale for the need to switch to ecological and biospheric agriculture is given.

Keywords: organic farming, adaptive agriculture, biological agriculture, ecological agriculture, adaptive landscape agriculture, ecological and biosphere agriculture, chemicals, biosphere, soil, soil fertility

For citation: Ovsyannikov Yu. A. Environmental strategies for the development of agriculture in Russia (analytical review). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1630–1641. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1630-1641>. (In Russ.)

Date of paper submission: 21.04.2026, **date of review:** 01.06.2026, **date of acceptance:** 13.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В конце прошлого столетия в развитии земледелия произошли заметные изменения. Они были обусловлены переоценкой результатов предыдущего этапа развития и усилением внимания к природоохранным аспектам в производстве продукции сельского хозяйства. Это способствовало возникновению в европейских странах движения органического земледелия. Оно сформировалось еще в начале XX века и нашло дополнительную поддержку после того, как интенсивное использование в более поздний период минеральных удобрений, а также средств защиты растений привело не только к возникновению разнообразных проблем экологического характера, но и ухудшению качества сельскохозяйственной продукции. В ней в опасных концентрациях стали обнаруживаться нитраты, пестициды и продукты их трансформации. Изменения в химическом составе растений способствовали ухудшению их вкусовых, диетических, технологических характеристик и формированию спроса на экологически чистые (органические) продукты. Все это стимулировало появление ферм, которые стали отказываться от использования средств химизации. Основным способом поддержания урожайности культурных растений в таких хозяйствах стало использование органических удобрений. Таким образом, именно этот прием повышения плодородия почв обусловил появление, а впоследствии и правовое закрепление термина «органическое земледелие». В дальнейшем в зависимости от возможности и допустимости использования минеральных удобрений и средств защиты растений в Европе сформировались разные направления такого способа выращивания культурных растений (биолого-дина-

мическое, биолого-органическое и биологическое), которые были проанализированы в работе Г. Канта «Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем» [1].

В настоящее время органическое земледелие приобретает широкое распространение во многих странах [2–5]. При этом оно в европейской трактовке включает в себя не только технологические вопросы выращивания культурных растений, но и экономические, социальные, правовые, этические, нравственные и философские аспекты [6]. Таким образом, речь идет не столько о системе земледелия в классическом понимании русской аграрной науки, а скорее о системе ведения хозяйства, о влиянии человека на окружающую среду и ее изменении под воздействием аграрной сферы. Следует отметить, что до настоящего времени иногда встречается недооценка важности этого вопроса. В то же время можно привести целый ряд примеров, подтверждающих его значимость. К ним можно отнести проблемы водной и ветровой эрозий во времена освоения целинных земель или Аральского региона, когда ошибки, допущенные в аграрном освоении территорий, привели к возникновению зон экологического бедствия [7]. Эти наглядные примеры служат хорошим подтверждением важности вопроса влияния аграрной сферы на окружающую среду. Но есть и другие, когда результаты такого воздействия неочевидны. К ним можно отнести повсеместную дегумификацию почв, ухудшение их свойств, плодородия и, как следствие, утрату способности выполнения биосферных функций [8]. Следовательно, поиск природоохранных направлений совершенствования земледелия является в настоящее время очень важным элементом развития аграрной сферы.

Методология и методы исследования (Methods)

Основными методами исследования явились анализ, синтез, сравнение и обобщение. В качестве информационных источников использовались официальные научные издания, размещенные в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU, а также Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка». Всего было проанализировано пять десятков статей, монографий и других научных работ, опубликованных с 1988 года, включая те, которые содержали критические материалы и различные точки зрения по теме исследований. Для обоснования выводов также использовался исторический анализ, который способствовал выявлению причин возникновения различных природоохранных направлений в земледелии и их отличительных особенностей.

Результаты (Results)

Формирование природоохранных направлений в современной России происходило в специфических условиях: в период социально-экономического кризиса, невысокого по сравнению с европейским уровня применения средств химизации и материально-технического обеспечения, недостаточного производства сельскохозяйственных продуктов и менее выраженных проблем экологического характера. Тем не менее общемировые тенденции в развитии земледелия обозначились и у нас. В конце предыдущего столетия в России стали актуальными проблемы загрязнения средствами химизации почв, грунтовых и поверхностных вод, а также продукции растениеводства [9]. В дальнейшем под влиянием экономического кризиса использование средств химизации сократилось, поэтому вопрос влияния аграрной сферы на окружающую среду отошел на второй план. Но в настоящее время, находясь под давлением рыночных условий, многие хозяйства в РФ активизируют применение минеральных удобрений и пестицидов, переходят на упрощение севооборотов, сокращают число полей, набор выращиваемых культур, практикуют повторные посевы и даже переход на монокультуру. Все это нарушает течение естественных природных процессов, которые участвуют в формировании плодородия почв, а также поддерживают нормальные условия для роста и развития растений. Кроме того, в связи с необходимостью снижения затрат на выращивание сельскохозяйственных культур растет число хозяйств, использующих прямой посев, который предполагает использование средств химизации. Отмеченные тенденции ограничивают возможности использования органических удобрений, сидератов, симбиотической азотфиксации и других агротехнических приемов. Результатом этих процессов является усиление зависимости земледелия хозяйств от минеральных удобрений и средств защиты растений, а также их влияния на окружающую среду.

На фоне повсеместного использования в аграрном секторе интенсивных индустриально-технологических систем земледелия в России за последние годы появилось несколько предложений по переходу на природоохранную стратегию развития: заимствованное на западе органическое земледелие, адаптивное, адаптивно-ландшафтное, биологическое и экологическое земледелие [10–15].

Важно отметить, что если европейская трактовка органического земледелия включает в себя разные его аспекты, то в российской аграрной науке объектом изучения становится именно система земледелия. В классическом варианте (А. В. Советов, В. Р. Вильямс) под системой земледелия понимается комплекс агротехнических мероприятий, соответствующий определенному историческому периоду и природно-климатическим условиям, направленный на обработку почвы, сохранение, улучшение ее плодородия и повышение урожайности культурных растений. В настоящее время в соответствии с ГОСТ 16265-89 под системой земледелия понимается комплекс взаимосвязанных организационно-экономических, агротехнических, мелиоративных, почвозащитных мероприятий, направленных на эффективное использование земли, агроклиматических ресурсов, биологического потенциала растений, на повышение плодородия почвы с целью получения высоких устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур [16].

Каждая система земледелия имеет свои характерные признаки, к которым относятся способы использования земель, приемы обработки почвы, повышения ее плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур. Вышеперечисленные природоохранные стратегии соответствуют приведенным критериям, поэтому их относят к самостоятельным системам земледелия. В то же время существует мнение, что некоторые из них, например биологизацию, следует рассматривать не как систему земледелия, а как систему ведения хозяйства [17], что не меняет ее природоохранной сущности.

Все перечисленные направления предполагают максимальное использование естественных процессов, происходящих в агроэкосистемах, что и создает предпосылки для рационального природопользования в сельском хозяйстве. Уместно будет добавить, что на важность этого вопроса в рамках существующих на тот период агробиологических представлений указывали еще классики русской агрономической школы (И. Е. Овсинский, В. Р. Вильямс, С. П. Костычев), на что справедливо обратил внимание в своей работе А. И. Осипов [10].

Как уже было отмечено выше, органическая система земледелия (паровая) базируется на использовании органических удобрений. По сути, эта система стала использоваться человеком много лет назад, после появления большого числа сельскохозяй-

зяйственных животных и необходимости утилизации отходов их жизнедеятельности. При ограниченной площади пахотных угодий и сохранении традиционных способов содержания животных это длительные годы обеспечивало в экстенсивном земледелии поддержание плодородия почвы на определенном уровне. Но в дальнейшем, по мере увеличения потребностей общества в продукции аграрной отрасли, расширения посевных площадей, улучшения материально-технической базы, наращивания производства и использования минеральных удобрений, а также изменения способов содержания сельскохозяйственных животных, роль органических удобрений в сохранении плодородия почвы оказалась недооцененной. Более того, в результате нерационального их использования они стали рассматриваться как возможный источник загрязнения окружающей среды [18].

И только современные проблемы индустриально-технологических систем земледелия и усиление его природоохранного вектора развития принуждают нас повторно рассматривать вопрос использования органических удобрений как базовой основы для выращивания сельскохозяйственных культур. Однако следует отметить, что возможности органического земледелия лимитированы недостаточным ежегодным объемом образования органических удобрений. Анализ этого вопроса показывает, что в России в период с 2016 по 2020 год на 1 га чистых паров ежегодно вносилось только 5,8 т органических удобрений [19]. По данным автора, полученным из статистических источников, этот показатель соответствует 1,6 т на 1 га пашни [20]. Это примерно в 10 раз меньше доз, рекомендованных для использования в севооборотах классического земледелия. Невозможность восполнения элементов минерального питания в почве после их выноса с урожаем культурных растений за счет органических удобрений является основной причиной ограничений в развитии органической системы земледелия [21].

Значительный вклад в развитие природоохранных систем земледелия был сделан А. А. Жученко, который обосновал стратегию адаптивного растениеводства. В результате анализа современных проблем земледелия он пришел к выводу о бесперспективности дальнейшего насыщения технологий выращивания культурных растений энергозатратными элементами. Для подтверждения своего заключения он приводит данные о том, что в современном земледелии на каждую затраченную калорию мы получаем только две, в то время как в экстенсивном – 20–50 пищевых калорий. То есть энергетическая эффективность индустриально-технологического земледелия уменьшилась в 10–25 раз [12]. По его мнению, возникшие проблемы могут быть решены за счет использования адаптивного потенциала рас-

тений. Следует не подгонять условия выращивания до необходимых параметров, а подбирать те культуры, для которых факторы среды не будут ограничивать их рост и развитие. Для решения этой проблемы он предлагал использовать селекцию растений, которая позволяет улучшать те или иные биологические характеристики выращиваемых культур. Такой подход позволит отказаться от проведения отдельных технологических приемов, направленных на улучшение условий роста растений, и существенно снизить наши энергозатраты на выращивание культурных растений, а значит, и воздействие на агроэкосистемы. Возможности использования адаптивной стратегии далеко не исчерпаны и могут быть расширены за счет усиления специфических свойств растений селекционными методами.

Ландшафтная система изначально формировалась как противоэрозионная, почвозащитная и базируется на понимании изменений, происходящих в ландшафтах при их сельскохозяйственном освоении и использовании экологических подходов. В ее развитие большой вклад внесли А. Н. Каштанов, Ф. М. Лисецкий, М. И. Лопырев, О. Г. Котлярова, Г. И. Швебс, В. И. Кирюшин и др. Со временем она трансформировалась в адаптивно-ландшафтную систему. Ее сторонники обращают внимание на необходимость сохранения свойств почв вовлеченных в сельскохозяйственный оборот. При этом почва и агроэкосистемы в целом рассматриваются как элемент агроландшафта, в котором необходимо сохранять оптимальное соотношение между пашней, сенокосными угодьями, лесами и водными объектами [22]. По одному из определений, адаптивно-ландшафтная система земледелия – это система использования земли определенной агроэкологической группы, ориентированная на производство продукции экономически и экологически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными (рыночными) потребностями, природными и производственными ресурсами, обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия [23].

Основная роль в повышении плодородия почв в адаптивно-ландшафтном земледелии отводится традиционным приемам, в т. ч. использованию органических удобрений, промежуточных культур, многолетних трав и сидератов, а также оптимизации севооборотов [24]. Если в органическом земледелии для получения экологически безопасной или биологически полноценной продукции исключается применение минеральных удобрений и средств защиты растений, то в адаптивно-ландшафтном земледелии их использование рассматривается как незаменимый фактор [25; 26].

Биологическую систему, а по мнению некоторых авторов, биологизацию земледелия, также следует рассматривать как одну из природоохранных

стратегий его развития. Главной особенностью этого направления является максимальное использование природных процессов биологического характера для повышения плодородия почв и урожайности культурных растений. Первоначально в формирование этого направления большой вклад внесли работы микробиологов О. А. Берестецкого, Е. М. Мишустина, В. Т. Емцева, Д. Г. Звягинцева и др. В более поздний период роль биологизации земледелия на основе использования агротехнических приемов освещалась Н. В. Парахиным [27], В. Т. Лобковым с соавторами [28], О. В. Мельниковой и В. Е. Ториковым [29, 30], Н. Н. Зезиным с соавторами [31], С. Ю. Ларионовым с соавторами [32], В. Н. Масаловым с соавторами [17].

Особенностью биологического земледелия является акцент на усиление процессов азотфиксации в почве за счет симбиотических, ассоциативных и свободноживущих микроорганизмов, использование разного рода бактериальных и биологически активных препаратов, улучшающих рост и развитие растений, биологических приемов в борьбе с сорняками, вредителями и возбудителями болезней, а также таких традиционных приемов, как внесение органических удобрений (в т. ч. сидератов и соломы), селекции, оптимизации обработки почвы и севооборотов. При этом использование приемов биологизации выращивания культурных растений на протяжении нескольких ротаций позволяет существенно повышать продуктивность севооборотов [30].

К природоохранным формам земледелия относятся и экологическая. Наиболее обстоятельно основные положения экологического земледелия были изложены в работах [33; 34], где анализируются проблемы индустриально-технологического периода развития земледелия и предлагаются разнообразные приемы, которые безопасны с экологических позиций и которые следует использовать для повышения плодородия почвы и урожайности культурных растений. Основным элементом этой формы земледелия является использование экосистемного подхода в регулировании состояния агрофитоценозов и почвенной биоты. Для повышения их устойчивости предлагаются оптимизация севооборотов, использование сложных посевов, увеличение роли многолетних злаковых и бобовых трав. Большое внимание в экологическом земледелии, так же как и в адаптивно-ландшафтном, уделяется агролесомелиорации и созданию элементарных лесоаграрных единиц. Основой повышения плодородия почв является применение органических удобрений, увеличение объемов поступления в почву органического вещества, улучшение биологических свойств почвы и активизация почвообразовательного процесса с целью повышения доступности элементов минерального питания [33]. Обращается

внимание на важность усиления выделительных свойств корневых систем культурных растений с целью улучшения условий жизнедеятельности почвенной биоты и активизации почвообразовательного процесса.

Сравнение природоохранных стратегий развития земледелия показывает, что они не очень сильно отличаются друг от друга. Все они предусматривают использование испытанных, хорошо известных приемов повышения плодородия почв и урожайности культурных растений. Их различия обусловлены, скорее всего, профессиональной специализацией их сторонников. Такого же мнения придерживаются другие авторы [34]. В результате возникает терминологическая неопределенность, что затрудняет изучение, понимание и анализ предмета обсуждения. Аналогичная ситуация складывается и в отношении терминов «органические», «экологически чистые», «экологически безопасные», «биологические продукты питания» [35]. Следствием этого является осложнения возникающие в нормативно-правовой сфере регулирующей производство и оборот таких продуктов питания.

Приведенные названия природоохранных направлений развития земледелия достаточно часто используются в названиях статей или их сборников. Это свидетельствует о том, что в настоящее время в России не завершился процесс формирования единого, общепринятого природоохранного направления и его названия. Кроме того, не исключается появление и других. В качестве примера можно привести точное и регенеративное земледелие [36]. Но, по нашему мнению, их следует рассматривать только как инструмент или способ решения частных проблем земледелия.

Анализ публикаций показывает, что специалисты проявляют интерес к изучению природоохранных приемов при выращивании культурных растений. При этом следует отметить, что, как правило, в опытах по изучению этого вопроса обращается внимание только на один из элементов: либо на внесение органических удобрений, либо на использование сидератов или соломы, либо на роль многолетних трав или азотфиксации. Безусловно, все перечисленные и многие другие приемы эффективны и должны использоваться в природоохранном земледелии. Однако их разрозненное применение не позволяет в полной мере оценить преимущества природоохранного земледелия. Для этого необходимо их совместное использование в рамках одного севооборота на протяжении нескольких периодов его ротации. Именно степень насыщения севооборота природоохранными элементами, которые можно использовать на всех этапах выращивания культурных растений, является условием, позволяющим раскрыть потенциальные возможности природоохранных систем земледелия.

Наиболее дискуссионной проблемой при выборе направлений природоохранного развития земледелия является необходимость использования минеральных удобрений и средств защиты растений. В целом они предусматривают либо снижение, либо отказ от применения средств химизации. В рыночных условиях этот вопрос независимо от нашего мнения будет решаться производителями растениеводческой продукции на основе учета потребностей рынка, экономической целесообразности, нормативных актов, регулирующих их использование, и понимания того, как это может повлиять на свойства почвы, условия роста и развития культурных растений, а также эффективности их выращивания в перспективе (если это важно). Поэтому опасения о том, что ориентация на природоохранные формы земледелия может привести к снижению использования средств химизации, урожайности и недостаточному производству продуктов питания, по нашему мнению, преувеличены [21].

Необходимость перевода аграрного сектора на использование природоохранного земледелия обусловлена многими причинами. Это связано с накоплением нитратов в продуктах питания, изменением их химического состава, вкусовых, диетических характеристик, ухудшением сохранности в период хранения, а также технологических свойств растениеводческой продукции. К проблемам экологического характера относятся ухудшение свойств почвы, загрязнение грунтовых вод, эвтрофикация водоемов, снижение устойчивости агробиоценозов. Эти последствия использования в земледелии средств химизации общеизвестны. Их возникновение хорошо объясняется законом об ограниченности информационных ресурсов человека в оценке последствий использования достижений научно-технического прогресса [37]. По мере осмысления воздействия земледелия на окружающую среду становится ясно, что оно значительно шире, чем это обычно представляется. На это еще в 1988 году обратили внимание А. Н. Тюрюканов и В. М. Федоров в работе «Биосферное мышление и сельское хозяйство». По их мнению, сельскохозяйственную деятельность следует рассматривать как фактор, оказывающий влияние на процессы, протекающие в биосфере [38]. Но эта публикация оказалась вне поля зрения специалистов аграрной сферы. Тем не менее на основе всестороннего анализа современных экологических проблем земледелия и позиций, изложенных в работе А. Н. Тюрюканова и В. М. Федорова, автор настоящего исследования в работе «Экологическое земледелие. Необходимость и особенности» (1992) пришел к выводу об ограниченности основных положений экологического земледелия [33]. Сам термин «экологическое земледелие» не раскрывает всей полноты его воздействия на окружающую среду и не включает в себя направле-

ния его совершенствования, обеспечивающего бесконфликтное взаимодействие человека с биосферой в аграрной сфере. В настоящее время значительные территории планеты находятся под влиянием сельскохозяйственной деятельности. С учетом лугов и пастбищ в сельскохозяйственный оборот на планете вовлечено не менее 30 % территории материков [39]. В отдельных странах доля сельскохозяйственных земель достигает 40–50 %, а в Индии – 60,4 % от их общей площади [40]. При этом значительная часть почв подвергается деградации и выводится из оборота, что сопряжено с дополнительным поступлением углерода в атмосферу планеты и вкладом этой доли в потепление климата. Вовлечение в сельскохозяйственный оборот почвенных ресурсов закономерно меняет их участие в формировании разнообразных планетарных процессов – круговоротах веществ, воды, образовании и деструкции органического вещества, поддержании биоразнообразия и температурных режимов территорий.

На развитие сельского хозяйства направляется значительная часть минеральных и энергетических ресурсов. Это сопровождается разрушением и загрязнением окружающей среды. Обеспечение аграрной отрасли и ее функционирования сопряжено с поступлением в атмосферу значительных объемов парниковых газов, что является одной из причин изменения климата. Следовательно, аграрный сектор и земледелие вносят заметный вклад в разрушение биосферы. В то же время именно земледелие, основанное на использовании растительных и почвенных ресурсов планеты, способно в значительной мере компенсировать отрицательное воздействие человека на окружающую среду в целом. Но для выполнения этой задачи нужно существенным образом трансформировать используемые технологии выращивания культурных растений и наполнить их элементами, которые не только повышают урожайность сельскохозяйственных культур, но и способствуют решению таких вопросов, как повышение эффективности использования минеральных и энергетических ресурсов, снижение загрязнения почвы, водных объектов, атмосферы, сохранение биогеохимических круговоротов, ландшафтов, биологического разнообразия и естественных биосферных процессов, обеспечивающих устойчивость среды жизнедеятельности человека.

Актуальность совершенствования существующих природоохранных стратегий развития земледелия подтверждается рядом публикаций, в которых делается акцент на необходимости решения в земледелии проблем экологического характера с учетом планетарных функций почв, агроэкосистем и агроландшафтов [41–44]. Целесообразность участия земледелия с учетом его вклада в формирование и решение биосферных проблем вытекает и из регуляторной функции почв баланса углерода в атмосфере [45; 46].

В итоге закономерным является то, что в последние годы В. И. Кирюшиным, одним из основателей адаптивно-ландшафтного земледелия, было высказано мнение о необходимости формирования конструктивно-биосферной парадигмы оптимизации сельскохозяйственного природопользования [47].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Все вышеизложенное показывает то, что названия рассмотренных природоохранных стратегий развития земледелия (органическое, адаптивное, биологическое, адаптивно-ландшафтное, экологическое) по своему лексическому значению ограничены в предметно-понятийном содержании и не вполне соответствуют стоящим перед ним задачам. В наибольшей степени это относится к термину «органическое земледелие». Его появление во многом связано с особенностями развития России в годы перехода на рыночную экономику. Существовавшее в тот период времени в нашем обществе стремление как можно быстрее войти на соответствующих правах в состав мирового сообщества часто способствовало принятию ускоренных и необдуманных решений в социально-политических, правовых и экономических сферах деятельности. Одним из проявлений этих процессов стал перенос европейских нормативных актов или использование их элементов в российском законодательстве. Это способствовало появлению в русском языке новых слов, терминов и определений. Так в нашем аграрном лексиконе появился термин «органическое земледелие».

Несовершенство названий природоохранных направлений развития земледелия создало предпосылки для появления новых, более точных определений. Так, сторонники экологического земледелия после уточнения задач, которые стоят в настоящее время перед этим направлением, пришли к выводу о необходимости изменить его название. В результате экологическое земледелие трансформировалось в эколого-биосферное. Его основные положения были изложены в работе [48]. Принципиальное отличие этого направления состоит в том, что все проблемы современного земледелия предлагается рассматривать не только с экологической точки зрения, но и с учетом его участия в формировании процессов, происходящих в биосфере, и его роли в решении современных глобальных проблем. Под эколого-биосферным земледелием следует понимать комплекс мероприятий по улучшению плодородия почвы, повышению урожайности сельскохозяйственных культур, направленный на получение полноценных продуктов растениеводства и создание устойчивых агробиогеноценозов, не нарушающих природных процессов, происходящих в агроландшафтах и в биосфере [20].

Эколого-биосферное земледелие базируется на всестороннем анализе влияния средств химизации

на физические, химические и биологические свойства почвы, потребительские и технологические характеристики растениеводческой продукции, а также экономические аспекты их применения. Так же как и в традиционном земледелии, значительная роль в сохранении и повышении плодородия почв отводится органическим удобрениям. Но рекомендуется изменить схему их внесения. Она должна базироваться не на однократном использовании в ротацию севооборота, а на ежегодном локальном. Это потребует существенного изменения технологии использования органических удобрений на всех этапах – от заготовки и переработки до внесения. В настоящее время уже созданы технические средства как для производства гранулированных органических удобрений, так и для их внесения [49].

Большое внимание в эколого-биосферном земледелии уделяется роли бактерий, грибов, водорослей, микро-, мезо- и макрофауны в формировании свойств почвы, их взаимодействию и участию в почвообразовательных превращениях. При этом почвообразование, фотосинтез и азотфиксация рассматриваются не как отдельные процессы, а как элементы единой системы, обеспечивающие нормальные условия ее функционирования [50]. Для повышения плодородия почвы и урожайности наряду с традиционными приемами предлагается использовать выделительные функции корневых систем растений. Повышение устойчивости агрофитоценозов и агроландшафтов в эколого-биосферном земледелии должно обеспечиваться за счет экосистемных принципов, которые должны использоваться при их формировании и сельскохозяйственном освоении территорий. Важным аспектом эколого-биосферного земледелия, вытекающего из его базисных положений, является учет ресурсо- и энергосберегающих аспектов природопользования.

Поскольку природоохранные направления развития земледелия потенциально ориентированы на гармонизацию отношений человека с природой и решение глобальных экологических проблем, будет целесообразно использовать меры их экономической поддержки. Они уже достаточно широко используются во многих странах. В России это могут быть меры, направленные на стимулирование заинтересованности в повышении эффективности азотфиксации, содержания гумуса в почве, применения почвозащитных технологий, биологических способов защиты растений или эффективном использовании органических удобрений. Так в рыночных условиях производство гранулированных органических удобрений несет определенные риски для развития земледелия. Это объясняется тем, что сельскохозяйственные производители, заинтересованные в получении максимальной прибыли, вместо использования органических удобрений по своему прямому назначению начинают их прода-

вать в мелкую розницу в виде компостных смесей для садово-огородной деятельности. Это укрепляет финансовое положение хозяйств, однако в стратегическом плане будет губительно для плодородия почв. Очевидно, что для регулирования этого вопроса необходимо использовать экономические приемы, например компенсацию хозяйствам затрат на внесение органических удобрений. Размер этой компенсации должен учитывать возможную прибыль от продажи органических удобрений.

Подведя итоги анализа природоохранных направлений развития земледелия, можно сделать следующие выводы:

– появление природоохранных систем в земледелии является результатом противоречий между использованием достижений научно-технического прогресса в аграрной сфере и их последствиями;

– природоохранные системы земледелия должны быть направлены не только на производство сельскохозяйственной продукции соответствующего качества, но и на решение глобальных проблем экологического и биосферного характера;

– улучшение плодородия почвы, устойчивости агроэкосистем и повышение урожайности культурных растений в природоохранных системах земледелия должны обеспечиваться за счет использования естественных процессов происходящих в природе;

– потенциальные возможности природоохранных систем земледелия могут быть реализованы только в специальных севооборотах при их максимальном насыщении соответствующими приемами, направленными на повышение плодородия почв и урожайности культурных растений.

Библиографический список

1. Кант Г. Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем. Москва: Агропромиздат, 1988. 207 с.
2. Solomiychuk M. P., Kyryk M. M., Panimarchuk O. I. Characteristics for the organic farming elements usage during the soybean growing [Электронный ресурс] // Наукові доповіді НУБІП України. 2017. № 4 (68). URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30311337_42759530.pdf (дата обращения: 01.03.2026).
3. Kasperowicz-Stępień A., Stabryła-Chudzio K. Development of organic farming in Poland after 2013 in terms of common agricultural policy // Eureka: Social and Humanities. 2016. No. 3 (3). Pp. 43–52.
4. Komorowska D. The development of organic farming in the world // Stiinta Agricola. 2015. No. 2. Pp. 133–138.
5. Panayotova G. D., Valkova N. K., Bozhanova V. Z., Kostadinova S. S. Possibilities for cotton growing under conditions of organic farming in Bulgaria // Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food. 2014. Vol. 2. Pp. 278–287.
6. Шашута К. В. Сущность категории «органическое земледелие» в контексте исследования агроэкономических систем // Проблемы экономики: сборник научных трудов. 2018. № 2 (27). С. 291–310.
7. Зиядуллаев Н. С., Попов Р. А., Зиядуллаев С. Н. Спасение Аральского моря: изменение экономики и климата центральной Азии // Региональные проблемы преобразования экономики. 2025. № 9 (179). С. 385–397. DOI: 10.26726/rpre2025v9stasa.
8. Безуглова О. С. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 2 (83). С. 10–15. DOI: 24411/1993-3916-2020-10090.
9. Кудяров В. Н., Башкин В. Н., Кудярова А. Ю., Бочкарев А. Н. Экологические проблемы применения минеральных удобрений. Москва: Наука, 1984. 213 с.
10. Осипов А. И. Органическое земледелие: миф и реальность // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (67). С. 73–82. DOI: 10.24412/2078-1318-2022-2-73-82.
11. Асатунова А. М., Жевнова Н. А., Исмаилов В. Я., Волкова Г. В., Шипиевская Е. Ю. Органическое земледелие в России: состояние и перспективы // Защита и карантин растений. 2024. № 8. С. 7–12. DOI: 10.47528/1026-8634_2024_8_7.
12. Жученко А. А. Адаптивное растениеводство. Кишинев: Штиинца, 1990. 432 с.
13. Лисецкий Ф. Н. Экологическое обустройство аграрно освоенных территорий // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 1996. № 3. С. 58–68.
14. Матюк Н. С., Беленков А. И., Мазиров М. А. Экологическое земледелие с основами почвоведения и агрохимии. Изд. 2-е, испр. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 224 с.
15. Парахин Н. В., Лобков В. Т., Кружков Н. К., Лысенко Н. Н., Макеева Т. Ф., Дегтярева С. И. Биологизация земледелия в России. Орел: Орловский государственный аграрный университет, 2000. 175 с.
16. ГОСТ 16265-89 «Земледелие. Термины и определения». Москва: Издательство стандартов, 1990. 21 с.
17. Масалов В. Н., Березина Н. А., Лобков В. Т., Бобкова Ю. А. Управление плодородием почв на основе интенсификации биологических факторов в системах земледелия // Вестник аграрной науки. 2021. № 3 (90). С. 10–17. DOI: 10.17238/issn25-87-666X.2021.3.10.

18. ГОСТ Р 53117-2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства». Москва: Стандартинформ, 2009. 12 с.
19. Алексеев К. И., Ставцев А. Н., Силко Е. А., Хашир Б. О. Органические удобрения как один из основных факторов роста производства органической продукции // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2022. № 4 (86). С. 65–73. DOI: 10.33938/224-65.
20. Овсянников Ю. А. Эколого-биосферное земледелие Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2025. 412 с.
21. Стекольников К. Е. Органическое земледелие в России – благо или катастрофа? // Биосфера. 2020. Т. 12, № 1-2. С. 53–62. DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.537.
22. Кирюшин В. И. Принципы формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Аграрная наука. 1993. № 3. С. 7–11.
23. Едимейчев Ю. Ф., Романов В. Н., Шпедт А. А., Шпагин А. И. Эколого-ландшафтные основы формирования систем земледелия. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2016. 162 с.
24. Зыбалов В. С. Роль промежуточных посевов, поликультур и сидератов в повышении плодородия почв Южного Урала // АПК России. 2018. Т. 25, № 5. С. 579–585.
25. Кирюшин В. И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 3. С. 19–25.
26. Зубарев Ю. Н., Елисеев С. Л. Акценты адаптивно-ландшафтного земледелия в Предуралье // Аграрный вестник Урала. 2010. № 3 (69). С. 59–63.
27. Парахин Н. В. Теория и практика биологизации земледелия // Russian Agricultural Science Review. 2015. Т. 6, № 6-1. С. 6–7.
28. Лобков В. Т., Плыгун С. А. Приоритетные направления развития земледелия // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2012. № 1 (34). С. 2–6.
29. Мельникова О. В., Ториков В. Е. Научные основы логического земледелия: учебное пособие для обучающихся в магистратуре по направлению подготовки 35.04.04 «Агрономия». Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2015. 72 с.
30. Ториков В. Е., Мельникова О. В., Ториков В. В., Осипов А. А. Система биологизации земледелия на юго-западе Центрального региона России. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2018. 66 с.
31. Зезин Н. Н., Намятов М. А., Постников П. А., Зубарев Ю. Н. Оценка эффективности факторов биологизации в земледелии Уральского региона // Пермский аграрный вестник. 2019. № 1 (25). С. 34–41.
32. Ларионов Ю. С., Байков К. С., Жарников В. Б. Теоретические и методологические основы охраны сельскохозяйственных угодий в системе биологического земледелия // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2021. Т. 26, № 5. С. 169–179. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-169-179.
33. Овсянников Ю. А. Экологическое земледелие. Необходимость и особенности. Екатеринбург: Диамант, 1992. 127 с.
34. Мальцев В. Ф., Ториков В. Е., Артюхов А. И. [и др.] Экологические аспекты систем альтернативного земледелия. Брянск: Брянская государственная сельскохозяйственная академия, 1998. 85 с.
35. Воронин Б. А., Воронина Я. В., Стожко Д. К., Стожко К. П. Проблема кодификации «органических продуктов питания»: теоретико-методологические аспекты системного анализа и правового регулирования // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 5. С. 97–107. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-234-05-97-107.
36. Столбовой В. С. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 7. С. 19–26. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10703.
37. Овсянников Ю. А., Яндыганов Я. Я. Прогнозирование и планирование природопользования: учебное пособие. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2008. 129 с.
38. Тюрюканов А. Н., Федоров М. В. Биосферное мышление и сельское хозяйство // Вестник сельскохозяйственной науки. 1988. № 6. С. 20–32.
39. Жученко А. А. Биологизация, экологизация, энергосбережение, экономика современных систем земледелия // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № S2. С. 9–13.
40. Овсянников Ю. А. К 50-летию доклада Римскому клубу «Пределы роста». Потенциал России в решении мировой продовольственной проблемы // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6 (221). С. 88–98. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-88-98.
41. Дудкин И. В., Дудкин В. М., Айдиев А. Я., Стрижков Н. И., Дудкина Т. А. Экологические аспекты формирования систем земледелия и защиты растений // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 7. С. 2–7.

42. Кирюшин В. И. Экологические функции ландшафта // Почвоведение. 2018. № 1. С. 17–25. DOI: 10.7868/S0032180X18010021.
43. Дудкина Т. А. Влияние севооборотов на потоки вещества и энергии в агробиогееценозах // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 7. С. 33–42.
44. Кушнарев А. С., Артёмов Н. П. Биосферные основы повышения продуктивности земледелия // Инженерия природопользования. 2015. № 1 (3). С. 16–22.
45. Добровольский Г. В. Экологическая роль почвы в биосфере и в жизни человека // Доклады по экологическому почвоведению. 2007. Т. 2, № 6. https://elibrary.ru/download/elibrary_13030202_99623391.pdf (дата обращения: 25.03.2026).
46. Хазиев Ф. Х. Почва и экология // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2017. Т. 24, № 3 (87). С. 29–38.
47. Кирюшин В. И. Развитие парадигмы сельскохозяйственного природопользования (к 175-летию В. В. Докучаева) // Бюллетень почвенного института им. В. В. Докучаева. 2021. С. 5–26. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-D-5-26.
48. Овсянников Ю. А. Теоретические основы эколого-биосферного земледелия. Екатеринбург: Уральский государственный университет им. А. М. Горького, 2000. 264 с.
49. Перекопский А. Н., Добринов А. В., Сергеев А. В. [и др.] Рациональные параметры и режимы работы машины для локального внесения органических удобрений // Таврический вестник аграрной науки. 2025. № 2 (42). С. 187–199. DOI: 10.5281/zenodo.16563828.
50. Овсянников Ю. А. О единстве процессов фотосинтеза, азотфиксации и почвообразования // Аграрный вестник Урала. 2022. № 1 (216). С. 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46.

Об авторе:

Юрий Алексеевич Овсянников, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры растениеводства и селекции, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-4937-4268, AuthorID 129091. E-mail: ovs122333@yandex.ru

References

1. Kant G. *Biological crop production: the potential of biological agrosystems*. Moscow: Agropromizdat, 1988. 207 p. (In Russ.)
2. Solomiychuk M. P., Kyryk M. M., Panimarchuk O. I. Characteristics for the organic farming elements usage during the soybean growing. *Naukovi dopovidi NUBIP Ukraini*. 2017; [Internet] [cited 2026 Mar 01]. Available from: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30311337_42759530.pdf. (In Russ.)
3. Kasperowicz-Stępień A., Stabryła-Chudzio K. Development of organic farming in Poland after 2013 in terms of common agricultural policy. *Eureka: Social and Humanities*. 2016; 3 (3): 43–52.
4. Komorowska D. The development of organic farming in the world. *Stiinta Agricola*. 2015; 2; 133–138.
5. Panayotova G. D., Valkova N. K., Bozhanova V. Z., Kostadinova S. S. Possibilities for cotton growing under conditions of organic farming in *Bulgaria Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food*. 2014; 2: 278–287.
6. Shashuta K. V. The essence of category ‘organic farming’ in the context of agro-economic systems study. *Problems of Economics*. 2018; 2 (27): 291–310. (In Russ.)
7. Ziyadullayev N. S., Popov R. A., Ziyadullayev S. N. Saving the Aral sea: a change economics and climate Central Asia. *Regional Problems of Economic Transformation*. 2025; 9 (179). DOI: 10.26726/rppe2025v9stasa. (In Russ.)
8. Bezuglova O. S. Land degradation dynamics in Rostov oblast. *Arid Ecosystems*. 2020; 26 (2): 10–15. DOI: 24411/1993-3916-2020-10090.
9. Kudiyarov V. N., Bashkin V. N., Kudiyarova A. Yu., Bochkarev A. N. *Environmental problems of the use of mineral fertilizers*. Moscow: Nauka, 1984. 213 p. (In Russ.)
10. Osipov A. I. Organic farming: myth and reality. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2022; 2 (67): 73–82. DOI: 10.24412/2078-1318-2022-2-73-82. (In Russ.)
11. Asaturova A. M., Zhevnova N. A., Ismailov V. Ya., Volkova G. V., Shipiyevskaya Ye. Yu. Organic farming: the state and prospects. *Plant Protection and Quarantine*. 2024; 8: 7–12. DOI: 10.47528/1026-8634_2024_8_7. (In Russ.)
12. Zhuchenko A. A. *Adaptive crop production*. Kishinev: Ştiinţa, 1990. 432 p. (In Russ.)
13. Lisetskiy F. N. Environmental management of agrarian developed territories. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. 1996; 3: 58–68. (In Russ.)

14. Matyuk N. S., Belenkov A. I., Mazirov M. A. *Ecological farming with the basics of soil science and agrochemistry*. 2nd ed, corrected. Saint Petersburg: Lan, 2021. 224 p. (In Russ.)
15. Parakhin N. V., Lobkov V. T., Kruzhkov N. K., Lysenko N. N., Makeyeva T. F., Degtyareva S. I. *Biologization of agriculture in Russia*. Orel: Orel State Agrarian University, 2000. 175 p. (In Russ.)
16. GOST 16265-89 "Agriculture. Terms and Definitions". Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1990. 21 p. (In Russ.)
17. Masalov V. N., Berezina N. A., Lobkov V. T., Bobkova Yu. A. Soil fertility management based on intensification of biological factors in the farming systems. *Bulletin of agrarian science*. 2021; № 3 (90). S. 10-17. DOI: 10.17238/issn25-87-666X.2021.3.10. (In Russ.)
18. GOST R 53117-2008 "Organic fertilizers based on animal waste". Moscow: Standartinform, 2009. 12 p. (In Russ.)
19. Alekseev K. I., Stavtsev A. N., Silko E. A., Khashir B. O. Organic fertilizers as one of the main factors growth of organic production. *Economics, Labor, Management in Agriculture*. 2022; 4 (86): 65–73. DOI: 10.33938/224-65. (In Russ.)
20. Ovsyannikov Yu. A. *Ecological and biosphere farming*. Ekaterinburg: Ural State Agricultural University, 2025. 412 p. (In Russ.)
21. Stekolnikov K. E. Organic agriculture in Russia: a good or a disaster? *Biosfera*. 2020; 12 (1-2): 53–62. DOI: 10.24855/BIOSFERA.V12I1.537. (In Russ.)
22. Kiryushin V. I. Principles of forming adaptive landscape farming systems. *Agricultural Science*. 1993; 3: 7–11. (In Russ.)
23. Edimeichev Yu. F., Romanov V. N., Shpedt A. A., Shpagin A. I. *Ecological and landscape foundations for the formation of farming systems*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agricultural University, 2016. 162 p. (In Russ.)
24. Zybalov V. S. The role of intermediate crops, polycrops and green manure to increasing of soil fertility of the Southern Urals. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2018; 25 (5): 579–585. (In Russ.)
25. Kiryushin V. I. Mineral fertilizers as the key factor of agriculture development and optimization of nature management. *Achievements of Science and Technology in AIC*. 2016; 30 (3): 19–25. (In Russ.)
26. Zubarev Yu. N., Eliseev S. L. Accents of adaptive-landscape agriculture in Preduralye. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2010; 3 (69): 59–63. (In Russ.)
27. Parakhin N. V. Theory and practice of biologization of agriculture. *Russian Agricultural Science Review*. 2015; 6 (6-1): 6–7. (In Russ.)
28. Lobkov V. T., Plygun S. A. Priority areas for the development of agriculture. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012; 1 (34): 2–6. (In Russ.)
29. Melnikova O. V., Torikov V. E. *Scientific foundations of logical farming: a study guide for master's students in the field of study 35.04.04 "Agronomy"*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2015. 72 p. (In Russ.)
30. Torikov V. E., Melnikova O. V., Torikov V. V., Osipov A. A. *System of biologization of agriculture in the southwestern part of the central region of Russia*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2018. 66 p. (In Russ.)
31. Zezin N. N., Namyatov M. A., Postnikov P. A., Zubarev Yu. N. Evaluation of the effectiveness of biologization factors in agriculture of the Ural region. *Perm Agrarian Journal*. 2019; 1 (25): 34–41. (In Russ.)
32. Larionov Yu. S., Baykov K. S., Zharnikov V. B. Theoretical and methodological basis of agricultural areas protection in the system of biological farming. *Vestnik of the Siberian State University of Geosystems and Technologies*. 2021; 25 (5): 169–179. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-5-169-179. (In Russ.)
33. Ovsyannikov Yu. A. *Ecological farming. Necessity and features*. Ekaterinburg: Diamant, 1992. 127 p. (In Russ.)
34. Maltsev V. F., Torikov V. E., Artyukhov A. I., et al. *Environmental aspects of alternative farming systems*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 1998. 85 p. (In Russ.)
35. Voronin B. A., Voronina Ya. V., Stozhko D. K., Stozhko K. P. The problem of codification of "organic food": theoretical and methodological aspects of system analysis and legal regulation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (5): 97–107. DOI: 10.32417/1997-4868-2023- 234-05-97-107. (In Russ.)
36. Stolbovoy V. S. Regenerative agriculture and climate change mitigation. *Achievements of Science and Technology in AIC*. 2020; 34 (7): 19–26. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10703. (In Russ.)
37. Ovsyannikov Yu. A., Yandyganov Ya. Ya. *Forecasting and planning of natural resource use: a textbook*. Ekaterinburg: Ural State University of Economics, 2008. 129 p. (In Russ.)
38. Tyuryukanov A. N., Fedorov M. V. *Biospheric thinking and agriculture*. *Vestnik of the Agricultural Science*. 1988; 6: 20–32. (In Russ.)
39. Zhuchenko A. A. Biologization greening, energy efficiency, economy of modern farming systems. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2015; S2: 9–13. (In Russ.)

40. Ovsyannikov Yu. A. To the 50th anniversary of the report to the Club of Rome “limits to growth”. Russia’s potential in solving the world food problem. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 6 (221): 88–98. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-88-98. (In Russ.)
41. Dudkin I. V., Dudkin V. M., Aydiev A. Ya., Strizhkov N. I., Dudkina T. A. Environmental Aspects of the Formation of Farming Systems and Plant Protection. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2017; 7: 2–7. (In Russ.)
42. Kiryushin V. I. Ecological functions of landscapes. *Eurasian Soil Siens*. 2018; 1: 17–25. DOI: 10.7868/S0032180X18010021. (In Russ.)
43. Dudkina T. A. Influence of crop rotations on matter and energy flows in agrobiogeocenoses. *Bulletin of the Kursk State Agrarian University*. 2019; 7: 33–42. (In Russ.)
44. Kushnarev A. S., Artemov N. P. Biosphere basis for improving agriculture productivity. *Engineering of Nature Management Journal Kharkov*. 2015; 1 (3): 16–22. (In Russ.)
45. Dobrovolskiy G. V. The ecological role of soil in the biosphere and in human life. *Interactive Journal of Ecological Soil Science* [Internet]. 2007 [cited 2026 Mar 25]; 2 (6). Available from: https://elibrary.ru/download/elibrary_13030202_99623391.pdf. (In Russ.)
46. Khaziev F. Kh. Soil and ecology. *Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2017; 24 (3): 29–38. (In Russ.)
47. Kiryushin V. I. Developing the paradigm of environmental management in agriculture (to the 175-th anniversary of V. V. Dokuchaev). *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2021; 5–26. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-D-5-26. (In Russ.)
48. Ovsyannikov Yu. A. *Theoretical foundations of Ecological-biospheric agriculture*. Ekaterinburg: Ural State University, 2000. 264 p. (In Russ.)
49. Perekopskiy A. N., Dobrinov A. V., Sergeev A. V., et al. Accumulation of secondary metabolites in *Satureja montana* plants under conditions of the foothill zone of Crimea. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2025; 2 (42): 187–199. DOI: 10.5281/zenodo.16563828.
50. Ovsyannikov Yu. A. On the unity of the processes of photosynthesis, nitrogen fixation and soil formation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 1 (216): 39–46. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-216-01-39-46.

Author’s information:

Yuriy A. Ovsyannikov, doctor of agricultural sciences, associate professor, professor of the department of crop production and breeding, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-4937-4268, AuthorID 129091. E-mail: ovs122333@yandex.ru

Почвенно-мелиоративное обоснование и экологическая оценка режима орошения черноземов выщелоченных юга Пензенской области

А. Н. Поршакова[✉], Л. А. Маслова, А. А. Цапина, Д. С. Фадеев

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

[✉]E-mail: porshakova_anna@mail.ru

Аннотация. Целью исследования является научно-практическое обоснование экологически безопасного использования вод местного поверхностного источника для орошения черноземов выщелоченных в условиях юга Пензенской области. **Методы.** В ходе исследований проведен комплексный анализ почв (гранулометрический, агрохимический, физико-химический, оценка засоления) и оросительной воды (минерализация, ионный состав, расчет SAR*). Почвенно-мелиоративная группировка выполнена на основе синтеза полученных данных, а режим орошения рассчитан биоклиматическим методом для озимой пшеницы при 75-процентной обеспеченности осадков. **Научная новизна.** Впервые для склоновых агроландшафтов Муромско-Ломовского прогиба выполнена количественная оценка совместимости свойств почвенного поглощающего комплекса (ППК) легкогоглинистых черноземов с химическим составом местных вод, включая уточненную оценку риска натриевого осолонцевания (SAR*). **Результаты.** Установлено, что исследуемые черноземы легкогоглинистые, среднегумусные (гумус 7,06 %), с высокой емкостью поглощения (ППК > 30 ммоль / 100 г), не засолены и не солонцеваты, что позволило отнести их ко II мелиоративной группе. Качество воды источника соответствует II классу, минерализация составляет 0,61 г/л. Рассчитанный показатель SAR* (2,86) при фактической ППК почв свидетельствует о малой вероятности развития осолонцевания. На этой основе разработан дифференцированный режим орошения озимой пшеницы, включающий 4 полива общей оросительной нормой 185 мм (нетто). **Выводы.** Результаты работы позволяют рекомендовать использование воды из местного пруда для орошения без дорогостоящей предварительной подготовки при условии соблюдения разработанного режима, внесения органических удобрений и организации систематического мониторинга солевого состава почв. Предложенный подход может быть применен для оценки аналогичных проектов в лесостепной зоне.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, орошение, качество воды, натриевое осолонцевание, SAR*, режим орошения, Пензенская область, почвенно-мелиоративная группировка

Благодарности. Авторы выражают признательность за помощь и содействие в проведении научно-исследовательских работ кандидатам экономических наук, доцентам кафедры «Кадастр недвижимости и право» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства М. С. Акимовой и Н. Ю. Карабановой.

Для цитирования: Поршакова А. Н., Маслова Л. А., Цапина А. А., Фадеев Д. С. Почвенно-мелиоративное обоснование и экологическая оценка режима орошения черноземов выщелоченных юга Пензенской области // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1642–1653. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1642-1653>.

Дата поступления статьи: 17.02.2026, **дата рецензирования:** 19.06.2026, **дата принятия:** 17.08.2026.

Soil reclamation substantiation and ecological assessment of the irrigation regime for leached chernozems in the south of the Penza region

A. N. Porshakova[✉], L. A. Maslova, A. A. Tsapina, D. S. Fadeev
Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia
[✉]E-mail: porshakova_anna@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is the scientific and practical justification of the environmentally safe use of water from a local surface source for irrigation of chernozems leached in the south of the Penza region. **Methods.** In the course of the studies, a comprehensive analysis of soils (grain size, agrochemical, physicochemical, salinity assessment) and irrigation water (mineralization, ionic composition, SAR* calculation) was carried out. Soil-reclamation grouping was performed on the basis of the synthesis of the obtained data, and the irrigation mode was calculated by the bioclimatic method for winter wheat with 75 % probability of precipitation. **Scientific novelty.** For the first time for slope agrolandscapes of the Murom-Lomovskiy trough, a quantitative assessment of the compatibility of the properties of the soil absorbing complex (SAC) of light clay chernozems with the chemical composition of local waters was carried out, including an updated risk assessment of sodium salting (SAR*). **Results.** It was found that the studied chernozems are easily clay, medium humus (humus 7.06 %), with a high absorption capacity (SAC > 30 mmol / 100 g), not saline and not solonchic, which made it possible to classify them as II reclamation group. The water quality of the source corresponds to class II, mineralization is 0.61 g/l. The calculated SAR* (2.86) at the actual soil SAC indicates that the development of salinization is unlikely. On this basis, a differentiated winter wheat irrigation regime has been developed, including 4 watering with a total irrigation rate of 185 mm (net). **Conclusions.** The results of the work make it possible to recommend the use of water from a local pond for irrigation without expensive preliminary preparation, subject to compliance with the developed regime, the application of organic fertilizers and the organization of systematic monitoring of the salt composition of soils. The proposed approach can be used to evaluate similar projects in the forest-steppe zone.

Keywords: leached chernozem, irrigation, water quality, sodium solonization, SAR*, irrigation mode, Penza region, soil reclamation grouping

Acknowledgements. The authors express their gratitude for the assistance and support provided during the research to M. S. Akimova and N. Yu. Karabanova, candidates of economic sciences and associate professors at the Department of Real Estate Cadastre and Law of the Penza State University of Architecture and Construction.

For citation: Porshakova A. N., Maslova L. A., Tsapina A. A., Fadeev D. S. Soil and reclamation justification and environmental assessment of the irrigation regime for leached chernozems in the south of the Penza region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1642–1653. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1642-1653>. (In Russ.)

Date of paper submission: 17.02.2026, **date of review:** 19.06.2026, **date of acceptance:** 17.08.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Взаимосвязь дифференцированного использования природных ресурсов с рентабельностью сельскохозяйственного производства является одним из базовых принципов отечественной агрономии и экономики земледелия [1]. В условиях нарастающей климатической изменчивости, проявляющейся в увеличении повторяемости засушливых периодов и неравномерности выпадения осадков [2; 3], мелиорация становится ключевым фактором обеспечения устойчивости и продуктивности агросистем, особенно в зонах с недостаточным увлажнением.

Наибольшее количество ошибок при проектировании мелиоративных систем допускается в слу-

чаях недостаточного учета почвенных условий, что может привести к неэффективности мероприятий или вторичной деградации земель [4]. Проблема химического состава оросительной воды сегодня выходит далеко за рамки агротехники. На фоне климатических аномалий использование источников с повышенной минерализацией несет скрытую угрозу – провоцирует засоление и, что особенно опасно, натриевое осолонцевание. В итоге почва стремительно теряет свою устойчивость и продуктивность [5].

Среднее Поволжье (в частности, Пензенская область) испытывает острый дефицит влаги в летние периоды, что толкает аграриев на активное применение орошения. Однако ресурсной базой слу-

жат местные водоемы с переменчивым качеством воды, что делает исход оросительных мероприятий непредсказуемым.

Таким образом, существует очевидное противоречие между объективной необходимостью развития орошения для стабилизации растениеводства в регионе и потенциальным риском вызвать вторичную деградацию ценных черноземных почв (засоление, осолонцевание) при использовании водных ресурсов с неидеальным качеством.

Целью исследования является научно-практическое обоснование почвенно-мелиоративной группировки и разработка экологически безопасного режима орошения для черноземов выщелоченных в условиях юга Пензенской области с использованием вод местного поверхностного источника.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- дать комплексную характеристику почвенного покрова и агроклиматических условий проектируемого участка орошения;
- провести оценку качества воды местного источника (пруд на притоке р. Колышлей) по степени опасности развития процессов засоления и осолонцевания;
- выполнить почвенно-мелиоративную группировку территории и оценить потенциальные риски деградации почв при орошении;
- рассчитать и обосновать режим орошения для основной планируемой культуры – озимой пшеницы;
- дать агроэкологическую оценку предлагаемому комплексу мелиоративных и агротехнических мероприятий.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые для условий склоновых земель Муромско-Ломовского прогиба (юг Пензенской области) проведена комплексная оценка совместимости агрохимических и водно-физических свойств легкоглинистых выщелоченных черноземов с химическим составом воды местного пруда с акцентом на количественную оценку риска натриевого осолонцевания (расчет SAR*). На этой основе разработан дифференцированный режим орошения, направленный не только на компенсацию дефицита влаги, но и на минимизацию вероятности вторичной деградации почвенного плодородия.

Вопросам увлажнения почв и защиты от деградации при поливе мелиораторы и почвоведы уделяют внимание десятилетиями. Обзор этих трудов показывает: исследователи выделяют несколько опорных точек. Именно они легли в основу нашей методологии.

Климат преподносит сюрпризы все чаще. Рост засушливых периодов, сбой сезонных ритмов снижают урожайность [6]. Для нашего региона (а он относится к зоне с повышенными рисками) су-

хость почвы стала привычным фоном. Зерновые культуры оказываются в стрессовых условиях систематически, и это зафиксировано в работах [3; 7; 8]. Орошение в таком раскладе – главный щит от капризов природы [1]. Только есть нюанс, и о нем пишут И. А. Трофимов с соавторами [4]: расширять посевные площади под поливом, не меняя технику, бессмысленно. Ключ к успеху – адаптация. Системы должны «учиться» у местного ландшафта и климатической специфики.

В роли такого адаптера выступает группировка почв – объединение в крупные блоки разрозненных типов, подтипов и разновидностей. Критериями выступают схожесть генетики, агрономических свойств, потенциала плодородия, чтобы при орошении каждая такая группа получила свой режим, щадящий и рациональный.

Как правило, почвенно-мелиоративная группа почв имеет однородные мелиоративные свойства, характер и объем мелиоративных мероприятий, которые должны применяться в орошаемом земледелии. Актуальность детального почвенного картографирования для этих целей подтверждается современными работами, в том числе с применением методов цифрового моделирования [9].

Одним из наиболее серьезных экологических ограничений орошения является риск вторичного засоления и осолонцевания почв, который напрямую зависит от химического состава используемой воды [5]. Для оценки этого риска применяются комплексные методики, включающие определение уровня минерализации и ионного состава, а также расчет интегральных показателей, таких как коэффициент адсорбции натрия (SAR) и его модификацию (SAR*), учитывающую карбонатно-бикарбонатное равновесие [10]. Исследования показывают, что даже при относительно низком уровне общей минерализации воды натриевое осолонцевание может представлять серьезную угрозу, ухудшая физико-химические и водно-физические свойства почвы, особенно в случаях тяжелого гранулометрического состава.

Основой для расчета поливов является принцип поддержания оптимальной влажности в корнеобитаемом слое. Одним из применяемых способов определения потребности сельскохозяйственных культур в воде является биоклиматический метод. Его использование позволяет учитывать изменение водопотребления растений по мере их развития, а также влияние погодных условий. На основании полученных расчетов устанавливаются поливные и оросительные нормы, определяются сроки проведения поливов. Такой подход позволяет обеспечить растения необходимым количеством влаги и одновременно снизить риск возникновения неблагоприятных процессов, в том числе глубинной фильтрации, эрозии почвы и ее переувлажнения [3].

Результативность орошения при этом зависит не только от установленного режима поливов, но и от других агротехнических мероприятий, прежде всего способов обработки почвы и системы внесения удобрений [11].

При оценке устойчивости земледелия в длительной перспективе необходимо учитывать состояние органического вещества почвы (ОВП). Его содержание является одним из показателей, характеризующих уровень плодородия и способность почвы сохранять свои свойства при изменении условий среды. В современных исследованиях особое внимание уделяется динамике органического вещества, а также возможности почв накапливать и удерживать углерод. Для этого применяются различные подходы к моделированию ОВП и оценке потенциала секвестрации углерода почвами исходя из различных внешних факторов [12].

Внедрение адаптивных приемов, таких как прямой посев, использование многолетних трав, сидератов и сохранение растительных остатков, помогает стабилизировать водный режим и делает почву более устойчивой к абиотическим стрессам [13].

Таким образом, анализ литературы свидетельствует о том, что проектирование современных мелиоративных сооружений должно базироваться на комплексном учете почвенно-климатических условий, строгой оценке качества водных ресурсов и применении адаптивных агротехнологий, направленных на сохранение свойств почвы и предотвращение деградации. Настоящее исследование направлено на применение этих принципов для конкретных условий юга Пензенской области, где вопрос обоснованного использования местных во-

дных ресурсов для орошения черноземов остается недостаточно изученным.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились на проектируемом участке орошения, расположенном в южной части Пензенской области и представляющем собой слабосхолмленную равнину с развитой речной и овражно-балочной сетью.

В геоморфологическом отношении исследуемая территория приурочена к денудационной равнине раннеленоплейстоценового возраста (Q1). Район расположен в пределах надпойменной террасы р. Колышлей и осложнен долиной притока б/н р. Колышлей.

Естественный рельеф территории сохранен. Отмечается уклон поверхности в южном направлении. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 199,47 до 219,14 м.

Макрорельеф соответствует Муромско-Ломовскому прогибу, мезорельеф представлен водоразделом и пологим склоном, микрорельеф – пахотными бороздами. Угодье – пашня.

Климат района умеренно-континентальный. Основные агроклиматические характеристики теплого периода, установленные по среднесезонным данным метеостанции «Пенза» (1990–2019 годы), приведены в таблице 1: продолжительность безморозного периода – 192 сут., сумма температур выше 10 °C – 2810 °C, испаряемость за теплый период – 584 мм, осадки за теплый период – 340 мм, запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на начало теплого периода – 65 мм.

Таблица 1
Основные агроклиматические характеристики теплого периода года
(метеостанция «Пенза», среднее многолетнее)

Показатель	Значение
Высота над уровнем моря, м	160
Продолжительность безморозного периода, сут.	192
Сумма температур воздуха >10 °C, °C	2810
Испаряемость за период $t > 5$ °C, мм	584
Осадки за период $t > 5$ °C, мм	340
Запасы продуктивной влаги на начало теплого периода, мм	65

Table 1
Basic agroclimatic characteristics of the warm period
(meteorological station "Penza", long-term average)

Parameter	Value
Elevation above sea level, m	160
Duration of frost-free period, days	192
Sum of air temperatures above 10 °C, °C	2810
Evaporation during the period with $t > 5$ °C, mm	584
Precipitation during the period with $t > 5$ °C, mm	340
Productive moisture reserves at the beginning of the warm period, mm	65

Таблица 2
Критерии оценки качества оросительной воды (фрагмент, по [15])

Класс воды	Минерализация, г/л (ППК 15–30)	Cl ⁻ , мг-экв/л	Опасность Na-осолонцевания (Ca ²⁺ /Na ⁺)
I	< 0,5	< 2,0	> 2,0
II	0,5–1,0	2,0–4,0	2,0–1,0
III	1,0–1,5	4,0–10,0	1,0–0,5
IV	> 1,5	> 10,0	< 0,5

Table 2
Criteria for assessing the quality of irrigation water (fragment, according to [15])

Water class	Mineralization, g/l (SAC 15–30)	Cl ⁻ , mg-eq/l	The danger of Na-salting (Ca ²⁺ /Na ⁺)
I	< 0.5	< 2.0	> 2.0
II	0.5–1.0	2.0–4.0	2.0–1.0
III	1.0–1.5	4.0–10.0	1.0–0.5
IV	> 1.5	> 10.0	< 0.5

Таблица 3
Оценка вероятности натриевого осолонцевания по величине SAR*

Емкость поглощения почв (ППК), ммоль / 100 г	Вероятность осолонцевания по SAR*		
	Маловероятно	Вероятно	Высокая вероятность
> 30	< 6	6–9	> 9
15–30	< 8	8–16	> 16
< 15	< 16	16–24	> 24

Table 3
Estimation of the probability of sodium salinity based on the SAR* value

Soil absorption capacity (SAC), mmol / 100 g	Probability of salinization according to SAR*		
	Unlikely	Probably	High probability
> 30	< 6	6–9	> 9
15–30	< 8	8–16	> 16
< 15	< 16	16–24	> 24

Методы полевых и лабораторных исследований почв

Почвенно-мелиоративные изыскания проводились с целью получения исходных данных для характеристики почвенного покрова. На участке были заложены почвенные разрезы, отобраны монолиты по генетическим горизонтам и объединенные образцы для лабораторного анализа.

В полевых условиях проведено морфологическое описание почвенных профилей. Лабораторные анализы выполнены по стандартным методикам:

– гранулометрический состав определен пипеточным методом по Качинскому; почвы классифицированы по содержанию физической глины (частицы < 0,01 мм);

– содержание гумуса определено по методу Тюрина в модификации ЦИНАО;

– агрохимические показатели: общий азот – по Кьельдалю, подвижные формы фосфора (P₂O₅) и калия (K₂O) – по Мачигину и Чирикову соответственно в модификации ЦИНАО;

– физико-химические свойства: pH солевой вытяжки – потенциметрически, гидролитическая

кислотность – по Каппену в модификации ЦИНАО, сумма обменных оснований (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺) – по методу Каппена – Гильковица;

– для оценки засоления выполнена водная вытяжка (1 : 5) с последующим определением сухого остатка, анионов (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻) и катионов (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) в фильтрате.

Методы оценки качества оросительной воды и рисков деградации почв

Качество воды из пруда на притоке р. Колышлей, планируемой для орошения, оценивали по степени опасности развития засоления и осолонцевания почв согласно [10; 14].

В лабораторных условиях определены общая минерализация, ионный состав (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻), общая жесткость и pH.

На основе полученных данных вода отнесена к одному из четырех классов (I–IV) по следующим критериям (таблица 2): минерализация (для почв с разной емкостью поглощения – ППК), опасность хлоридного засоления, натриевого и магниевого осолонцевания, содообразования.

Таблица 4

Агрохимические и физико-химические свойства черноземов выщелоченных на участке исследований

Глубина, см	Гумус, %	pH (сол.)	P_2O_5 , мг/кг	K_2O , мг/кг	Сумма обменных оснований, ммоль / 100 г	Гидролитическая кислотность, ммоль / 100 г	ППК, ммоль / 100 г	Насыщенность основаниями, %	Na ⁺ в ППК, ммоль / 100 г
0–20	7,06	6,14	77,0	74,5	28,30	2,67	31,72	91,7	0,10
20–40	5,00	5,77	60,5	70,0	29,25	2,97	31,87	90,5	0,10
40–60	2,30	5,90	33,5	73,5	27,30				

Agrotechnologies

Table 4

Agrochemical and physical-chemical properties of leached chernozems in the research area

Depth, cm	Humus, %	pH of salt extract	P_2O_5 , mg/kg	K_2O , mg/kg	Sum of exchange bases, mmol / 100 g	Hydrolytic acidity, mmol / 100 g	SAC, mmol / 100 g	Saturation of bases, %	Na ⁺ in PPC, mmol / 100 g
0–20	7.06	6.14	77.0	74.5	28.30	2.67	31.72	91.7	0.10
20–40	5.00	5.77	60.5	70.0	29.25	2.97	31.87	90.5	0.10
40–60	2.30	5.90	33.5	73.5	27.30				

Для уточненной оценки риска натриевого осолоднения рассчитан показатель SAR* (Adjusted Sodium Adsorption Ratio) по формуле:

$$SAR* = Na^+ / \sqrt{[(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]},$$

где концентрации ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+}) скорректированы с учетом равновесия с карбонатами и бикарбонатами и определены по таблицам приложения к работе [10]. Вероятность осолоднения оценена в зависимости от величины SAR* и ППК почв (таблица 3).

Методы почвенно-мелиоративного районирования и расчета режима орошения

Почвенно-мелиоративная группировка выполнена на основе синтеза данных о почвах, рельефе и геологическом строении. Почвы объединены в группы по принципу сходства их генезиса, агрономических свойств, плодородия и требуемого комплекса мелиоративных мероприятий в условиях орошения.

Расчет режима орошения для планируемой культуры (озимая пшеница) выполнен биоклиматическим методом. Исходными данными послужили:

– агроклиматические характеристики района (таблица 1) и среднесезонные декадные данные по температуре, влажности воздуха, скорости ветра и осадкам;

– почвенные параметры: наименьшая влагоемкость (НВ) – 29,1 % от массы, предполивная влажность – 24,2 % от массы, плотность сложения – 1,39 г/см³, динамика нарастания корневой системы;

– фенологические данные по озимой пшенице и ее водопотреблению.

Расчет оросительной нормы проведен как разность между суммарным водопотреблением культуры и природной влагообеспеченностью за вегетацию. Поливные нормы рассчитаны для декад вегетационного периода исходя из дефицита влажности почвы к моменту полива и глубины промачивания. Сроки и частота поливов определены графоаналитическим методом для условий года 75-процентной обеспеченности по осадкам.

Результаты (Results)

Характеристика почвенного покрова и почвенно-мелиоративное районирование

Комплексный анализ почвенного покрова проектируемого участка позволил установить, что он представлен черноземами выщелоченными, среднегумусными, среднесильными, легкоглинистыми. Мощность гумусированной толщи составляет 0,6 м. Почвообразующей породой являются четвертичные аллювиально-делювиальные серовато-коричневые легкие глины.

Детальные лабораторные исследования выявили благоприятные агрохимические и физико-химические свойства почв (таблица 4):

1. Содержание физической глины (< 0,01 мм) составляет 69,7 %, что соответствует легкоглинистой текстуре.

2. Пахотный горизонт (0–20 см) характеризуется высоким содержанием гумуса (7,06 %), относится к среднегумусным. Содержание подвижного фосфора (77,0 мг/кг) и калия (74,5 мг/кг) оценивается как повышенное.

Таблица 5

Сводная оценка качества оросительной воды из пруда на притоке р. Колышлей

Показатель	Значение	Класс качества	Интерпретация
Минерализация, г/л	0,610	II	Допустимая, требует контроля
Cl ⁻ , мг-экв/л	0,82	I	Опасность засоления мала
Ca ²⁺ /Na ⁺	1,55	II	Умеренный риск Na-осолонцевания
Содообразование	1,216	II	Умеренный риск
SAR*	2,86		Осолонцевание маловероятно

Table 5

Summary assessment of irrigation water quality from the pond on the tributary of the Kolysheley river

Indicator	Value	Quality class	Interpretation
Mineralization, g/L	0.610	II	Acceptable, requires monitoring
Cl ⁻ , mEq/L	0.82	I	The danger of salinity is small
Ca ²⁺ /Na ⁺	1.55	II	Moderate risk of Na-salting
Sodation	1.216	II	Moderate risk
SAR*	2.86		Salting is unlikely

3. Реакция среды нейтральная (рН солевой вытяжки 6,14 в пахотном слое) или близкая к нейтральной (рН 5,77–5,90 в нижележащих горизонтах).

4. Сумма обменных оснований в пахотном горизонте составляет 28,30 ммоль / 100 г почвы, емкость поглощения (ППК) – 31,72 ммоль / 100 г. Почвенный поглощающий комплекс насыщен основаниями на 91,7 %. Содержание обменного натрия минимально (0,10 ммоль / 100 г, или 0,35 % от суммы), что позволяет классифицировать почвы как несоленцеватые. Данные водной вытяжки (сухой остаток 0,045–0,079 %) подтверждают отсутствие засоления по всему профилю.

5. Наименьшая влагоемкость (НВ) составляет 29,1 % от массы, что является благоприятным показателем для легкогоглинистых почв. Общая порозность высокая (в среднем 58,2 %), коэффициент фильтрации варьирует от 0,43 до 0,50 м/сут.

На основе полученных данных и с учетом рельефных условий (водораздел и пологий склон) составлена почвенно-мелиоративная карта (рис. 1). Все почвы участка отнесены ко II почвенно-мелиоративной группе. Данная группа объединяет почвы, пригодные для орошения при условии обязательного проведения сопутствующих агрономических мероприятий, направленных на сохранение и повышение плодородия.

Оценка качества оросительной воды и рисков вторичной деградации

Анализ воды из пруда на притоке р. Колышлей показал, что по химическому составу она является гидрокарбонатной натриево-кальциевой пресной со средней жесткостью (таблица 5).

Классификация по степени опасности развития негативных процессов позволила сделать следующие выводы:

– минерализация воды составляет 0,610 г/л, что соответствует II классу качества для почв с ППК 15–30 ммоль / 100 г;

– опасность хлоридного засоления (Cl⁻ = 0,82 мг-экв/л) и магниевого осолонцевания (Mg²⁺/Mg²⁺+Ca²⁺) = 0,257) оценивается как низкая (I класс);

– показатель содообразования (1,216) и соотношение Ca²⁺/Na⁺ (1,55) соответствуют II классу, указывая на умеренный риск;

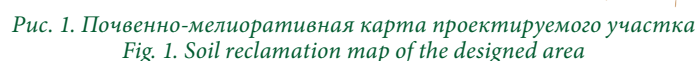
– ключевой для оценки риска натриевого осолонцевания уточненный показатель SAR*, рассчитанный с учетом карбонатного равновесия, составил 2,86. Согласно критериям (таблица 3), для почв с ППК > 30 ммоль / 100 г (фактическое значение 31,7 ммоль / 100 г) такое значение SAR* означает малую вероятность развития натриевого осолонцевания.

Таким образом, вода источника может быть использована для орошения без предварительной водоподготовки, однако требует строгого контроля ее качества и агрохимического мониторинга почв в течение вегетационного периода.

Обоснование режима орошения озимой пшеницы

На основе биоклиматических расчетов для условий среднего по засушливости года (75-процентной обеспеченности) установлено, что для достижения планируемой урожайности озимой пшеницы на исследуемых почвах необходима оросительная норма 185 мм (нетто), что эквивалентно 201 мм (брутто) с учетом потерь воды при поливе.

Данная норма реализуется за 4 полива в критические фазы развития культуры (таблица 6). Поливные нормы дифференцированы в зависимости от глубины корневой системы и водопотребления: от 25 мм на начальных этапах вегетации до 60 мм в период максимального водопотребления (выход в трубку – налив зерна). Для минимизации риска поверхностного стока и эрозии на склоновых землях рекомендовано проводить поливы с нормой более 40 мм за два прохода дождевальными машинами.



Проектный режим орошения озимой пшеницы (год 75-процентной обеспеченности)

Table 6

No. of watering	Watering time	Irrigation norm, mm		Note
		Net	Gross	
1	22.05	25	27	Vegetative – renewal
2	07.06	40	44	Exit to the tube (watering in 2 steps)
3	24.06	60	65	Raking – pouring (watering in 2 steps)
4	17.07	60	65	Milk ripeness (watering in 2 doses)
Total for the season		185	201	

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

кации почв для целей орошения. При проведении классификации учитывались физико-химические характеристики почв, определяющие их пригодность для орошения. Для исследуемого участка характерны легкоглинистый гранулометрический состав, емкость поглощения более 30 ммоль / 100 г, насыщенность основаниями свыше 90 % и нейтральная реакция почвенного раствора. По мнению И. А. Трофимова с соавторами [4], подробная почвенно-мелиоративная оценка необходима уже на этапе проектирования, поскольку позволяет заранее учитывать возможные ограничения и снизить вероятность ошибок при выборе режима орошения.

Дополнительным положительным фактором является отсутствие выраженных признаков солонцеватости и засоления. Содержание обменного натрия составляет менее 0,5 %, а величина сухого остатка находится в пределах 0,08 %. Такие показатели свидетельствуют о невысокой исходной степени риска развития вторичных процессов деградации при орошении.

Вместе с тем водно-физические свойства почв требуют учета при организации поливов. Наименьшая влагоемкость составляет около 29 %, пористость превышает 58 %. Сочетание этих показателей создает достаточно благоприятные условия для накопления влаги и свидетельствует о сохранении удовлетворительного структурного состояния почвы. Однако легкоглинистый гранулометрический состав при несоблюдении установленного режима поливов может способствовать ухудшению водно-физических свойств и уплотнению почвенного профиля. Дополнительным фактором риска может стать использование поливных вод, не соответствующих требованиям к качеству оросительной воды.

В связи с этим в севооборот целесообразно включать многолетние травы и сидеральные культуры [13]. Их использование способствует сохранению и улучшению физического состояния почвы, что особенно актуально при регулярном орошении.

Полученное значение SAR* составляет 2,86. Согласно принятой методике [20], при емкости поглощения почв > 30 ммоль / 100 г и величине SAR* < 6 натриевое осолонцевание почвы маловероятно. Для исследуемого участка величина почвенного поглощенного комплекса в пахотном горизонте составляет 31,72 ммоль на 100 г почвы, а SAR* – 2,86, поэтому по данному показателю натриевое осолонцевание почвы маловероятно.

В соответствии с приведенными расчетами оросительная вода является водой второго класса по минерализации (0,610 г/дм³), первого класса по хлоридному засолению (0,82), первого класса по магниевому осолонцеванию (0,257), второго класса по содообразованию (1,216), второго класса по натриевому осолонцеванию (1,55), при уточненной величине SAR* = 2,86 натриевое осолонцевание почвы маловероятно.

Учитывая вышеизложенное, использование воды из пруда на притоке р. Колышлей возможно без предварительной водоподготовки при строгом контроле ее качества в течение вегетационного периода и контроле агрохимических показателей почвы.

Подобный подход соответствует выводам А. И. Насировой с соавторами [5], отмечающих необходимость постоянного мониторинга при использовании земель в условиях потенциального засоления.

Для участка был разработан режим, предусматривающий четыре полива с общей оросительной нормой 185 мм. Его основная задача заключается в восполнении дефицита влаги, характерного для региона в годы со средней степенью засушливости [7]. Расчет сроков и частоты поливов выполнен графоаналитическим методом.

Схема проведения полива: первый полив проводить расчетной поливной нормой. Последующие поливы проводить за два прохода дождевальной машины нормой за проход, равной $\frac{1}{2}$ расчетной поливной нормы. Это позволяет уменьшить интенсивность поступления воды на поверхность почвы и тем самым снизить вероятность формирования поверхностного стока и водной эрозии. Данное требование особенно актуально в начале вегетационного периода, когда растительный покров еще не полностью сформирован. Кроме того, деление поливной нормы способствует более равномерному распределению влаги в почвенном профиле и позволяет уменьшить ее потери вследствие глубинной фильтрации и поверхностного стока. Такой способ организации полива соответствует принципам рационального использования оросительной воды и снижения нагрузки на почву [16].

Разработанная система мероприятий включает несколько взаимосвязанных этапов: группировку почв по мелиоративным характеристикам, оценку качества оросительной воды, определение режима поливов и разработку агротехнических рекомендаций. Их совместное применение позволяет учитывать не только потребность культуры во влаге, но и возможные изменения состояния почвы в процессе эксплуатации орошаемого участка. Подобный адаптивный подход к организации мелиоративных мероприятий отмечается и в современных исследованиях [1].

Таким образом, проведенная почвенно-мелиоративная оценка и разработка режима орошения для изучаемого участка позволили определить основные условия его дальнейшего использования.

Почвенный покров участка представлен щелочными среднегумусными легкоглинистыми черноземами. Они характеризуются в целом благоприятными агрохимическими показателями: нейтральной реакцией среды, достаточно высоким содержанием гумуса и удовлетворительной обеспеченностью фосфором и калием. Водно-физические свойства также находятся на приемлемом уровне. При этом по результатам химического анализа водной вытяжки признаков засоления и солонцеватости не установлено. Сухой остаток составляет 0,045–0,079 %, содержание обменного натрия – 0,10–0,20 ммоль / 100 г.

С учетом совокупности полученных показателей почвы участка отнесены ко II почвенно-мелиоративной группе. Их использование для орошения

возможно при соблюдении установленных агротехнических и мелиоративных требований.

Исследование воды из местного источника – пруда, расположенного на притоке реки Колышей, – показало, что ее минерализация составляет 0,610 г/л. По химическому составу вода относится к пресным гидрокарбонатным натриево-кальциевым водам.

По совокупности показателей вода отнесена ко II классу с умеренным потенциалом содообразования. Ключевой для прогноза расчетный показатель SAR* составил 2,86. Поскольку фактическая емкость поглощения (ППК) исследуемых черноземов превышает 30 ммоль / 100 г, данное значение SAR* указывает на маловероятность развития натриевого осолонцевания почв при орошении. Таким образом, вода может быть использована без предварительной водоподготовки, но требует строгого периодического контроля химического состава в течение вегетационных сезонов.

Для компенсации дефицита влагообеспеченности в условиях среднего по засушливости года (75-процентной обеспеченности) для озимой пшеницы обоснован режим орошения с оросительной нормой 185 мм (нетто), которая реализуется за 4 полива в критические фазы развития культуры (22.05, 07.06, 24.06, 17.07). Для минимизации рисков поверхностного стока и эрозии на склоновых землях поливы с нормами 40 и 60 мм рекомендовано проводить за два прохода дождевальной машины. Общий расчетный годовой водозабор для проектируемого участка определен в объеме 251,21 тыс. м³.

В целях обеспечения долгосрочной экологической устойчивости орошаемого агроландшафта и сохранения почвенного плодородия разработан комплекс агромелиоративных мероприятий. В его структуру включены соблюдение севооборота с обязательным присутствием многолетних трав (люцерны) и сидеральных культур; внесение органоминеральных удобрений; систематический мониторинг влажности активного слоя почвы и ее агрохимических параметров. Реализация указанного комплекса нацелена на предотвращение вторичного засоления, осолонцевания, водной эрозии и деградации – процессов, ведущих к деградации почв.

Практическая ценность представленного исследования заключается в разработке конкретного научно обоснованного проекта, позволяющего вовлечь в сельскохозяйственный оборот поверхностный водный источник для целей орошения. Установленный факт пригодности воды без применения дорогостоящих методов предварительной подготовки имеет существенное экономическое значение, снижая пороговые затраты на ввод системы в эксплуатацию.

Полученные результаты и апробированный методический подход обладают потенциалом масштабирования. Они могут быть востребованы при проектировании аналогичных мелиоративных систем на черноземных почвах лесостепной зоны с использованием водных ресурсов малых рек и прудовых хозяйств.

Библиографический список

1. Жученко А. А., Жученко А. А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы): теория и практика: в 3 т. Москва: Агрорус, 2009. 958 с.
2. Ефимов В. М., Речкин Д. В., Гончаров Н. П. Многомерный анализ многолетних климатических данных в связи с урожайностью, скороспелостью и проблемой глобального потепления // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024. Т. 28, № 2. С. 155–165. DOI: 10.18699/vjgb-24-18.
3. Демакина И. И., Пронько Н. А., Фисенко Б. В., Корсак В. В., Панкова Т. А. О роли водных мелиораций в природных зонах Саратовской области в условиях изменения климата // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 4. С. 119–138. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-119-138.
4. Трофимов И. А., Трофимова Л. С., Яковлева Е. П. Карты агроландшафтно-экологического районирования природных и природно-сельскохозяйственных экосистем Российской Федерации // Поволжский экологический журнал. 2024. № 3. С. 372–382. DOI: 10.35885/1684-7318-2024-3-372-382.
5. Насирова А. И., Гасанова Т. А., Аскерова Г. Ф., Абасова Н. А. Моделирование электропроводности почвы для устойчивого землепользования в районах, подверженных засолению // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 8. С. 1199–1208. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-08-1199-1208.
6. He L., Cheng L. L., Hu L. L., et al. Deviation from niche optima affects the nature of plant-plant interactions along a soil acidity gradient // Biology Letters. 2016. Vol. 12. Article number 20150925. DOI: 10.1098/rsbl.2015.0925.
7. Овсянникова Г. В., Попов А. С., Сухарев А. А., Копман И. К., Манукян Ю. В. Влагообеспеченность посевов мягкой и твердой озимой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 3. С. 93–98. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-93-98.
8. Дериглазова Г. М. Влияние климата и погодных условий на динамику урожайности озимой пшеницы в условиях Курской области // Мелиорация и гидротехника. 2025. Т. 15, № 3. С. 276–294. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-3-276-294.

9. Шишконокова Е. А., Аветов Н. А., Чуванов С. В., Жоголев А. В. Цифровое почвенное картографирование заболоченной равнины юга криолитозоны Западной Сибири на основе мультиспектральной спутниковой съемки и наземных исследований // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2025. № 125. С. 6–41. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-125-6-41.
10. Методика оценки качества вод для орошения сельскохозяйственных культур на черноземах в центрально-черноземных областях. Новочеркасск, 1988. 54 с.
11. Носкова Е. Н., Софронова А. Ю., Светлакова Е. В. Влияние приемов обработки почвы и уровней минерального питания на урожайность озимой пшеницы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025. Т. 26, № 5. С. 1059–1068. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.5.1059-1068.
12. Семенов В. М., Когут Б. М., Иванов А. Л. Почвенная секвестрация углерода в агроландшафтах: продовольственный императив климатической повестки // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2025. № 124. С. 10–69. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-10-69.
13. Гладышева О. В., Банникова М. И. Урожайность и оценка адаптивности раннеспелых и позднеспелых сортов озимой мягкой пшеницы в условиях Центрального Черноземья // Аграрная наука. 2021. № 1. С. 129–132. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-344-1-129-132.
14. ГОСТ Р 70568-2022 «Системы и сооружения мелиоративные. Инженерные почвенно-мелиоративные и ботанико-культуртехнические изыскания». Москва: Институт стандартизации, 2023. 32 с.
15. Безднина С. Я. Качество воды для орошения: принципы и методы оценки. Москва: РОМА, 1997. 185 с.
16. Михайлин А. А. Построение модели движения внутрипочвенной влаги в склоновых обрабатываемых землях // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025. Т. 26, № 1. С. 196–207. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.1.196-207.
17. Liu Y., Yu D., Su Y., Hao R. Quantifying the effect of trend, fluctuation and extreme event of climate change on ecosystem productivity // Environmental Monitoring and Assessment. 2014. Vol. 186, Iss. 12. Pp. 8473–8486. DOI: 10.1007/s10661-014-4031-z.
18. Han F., Zhang Q., Buyantuev A., et al. Effects of climate change on phenology and primary productivity in the desert steppe of Inner Mongolia // Journal of Arid Land, 2015. Vol. 7, Iss. 2. Pp. 251–263. DOI: 10.1007/s40333-014-0042-4.
19. Юрова А. Ю., Козлов Д. Н., Холодов В. А., Колчанова К. А. Непрерывная модель качества органического вещества почвы: новые перспективы изучения углеродного цикла в сельскохозяйственном земледелии // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2025. № 124. С. 144–183. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-144-183.

Об авторах:

Анна Николаевна Поршак ова, кандидат экономических наук, доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия; ORCID 0009-0005-3849-3263, AuthorID 715147. E-mail: porshakova_anna@mail.ru

Любовь Александровна Маслова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия; ORCID 0009-0002-7933-2077, AuthorID 379446. E-mail: maslovaluba@yandex.ru

Антонина Александровна Цапина, аспирант, ассистент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия; ORCID 0000-0003-4927-5040, AuthorID 1106802. E-mail: tonya.tsapina@mail.ru

Дмитрий Сергеевич Фадеев, аспирант, ассистент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-9716-1630, AuthorID 1144297. E-mail: fadeew.dima@mail.ru

References

1. Zhuchenko A. A., Zhuchenko A. A. Adaptive plant production (ecological and genetic foundations): theory and practice: in 3 volumes. Moscow: Agrorus, 2009. 958 p. (In Russ.)
2. Efimov V. M., Rechkin D. V., Goncharov N. P. Multivariate analysis of long-term climate data in connection with yield, earliness and the problem of global warming. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2024; 28 (2): 155–165. DOI: 10.18699/vjgb-24-18. (In Russ.)
3. Demakina I. I., Pronko N. A., Fisenko B. V., Korsak V. V., Pankova T. A. The role of hydraulic reclamation in natural zones of Saratov region under climate change. *Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024; 14 (4): 119–138. DOI: 10.31774/2712-9357-2024-14-4-119-138. (In Russ.)

4. Trofimov I. A., Trofimova L. S., Yakovleva E. P. Maps of agrolandscape and ecological zoning of natural and natural-agricultural ecosystems of the Russian Federation. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2024; 3: 372–382. DOI: 10.35885/1684-7318-2024-3-372-382. (In Russ.)
5. Nasirova A. I., Khasanova T. A., Askerova G. F., Abasova N. A. Modeling of soil electrical conductivity for sustainable land use in salinized areas. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (8): 1199–1208. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-08-1199-1208. (In Russ.)
6. He L., Cheng L. L., Hu L. L., et al. Deviation from niche optima affects the nature of plant-plant interactions along a soil acidity gradient. *Biology Letters*. 2016; 12: 20150925. DOI: 10.1098/rsbl.2015.0925.
7. Ovsyannikova G. V., Popov A. S., Sukharev A. A., Kopman I. K., Manukyan Yu. V. Moisture supply of the sown winter common and durum wheat. *Grain Economy of Russia*. 2023; 15 (3): 93–98. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-86-3-93-98. (In Russ.)
8. Deriglazova G. M. The influence of climate and weather conditions on the dynamics of winter wheat yield in the Kursk region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2025; 15 (3): 276–294. DOI: 10.31774/2712-9357-2025-15-3-276-294. (In Russ.)
9. Shishkonakova E. A., Avetov N. A., Chuvanov S. V., Zhogolev A. V. Digital soil mapping of the boggy plain in the south of the cryolithozone of West Siberia based on multispectral satellite imagery and on-ground soil studies. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2025; 125: 6–41. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-125-6-41. (In Russ.)
10. *Methodology for assessing the quality of water for irrigation of crops on chernozems in the central chernozem regions*. Novocherkassk, 1988. 54 p. (In Russ.)
11. Noskova E. N., Sofronova A. Yu., Svetlakova E. V. Effect of tillage methods and mineral nutrition levels on winter wheat yield. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2025; 26 (5): 1059–1068. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.5.1059-1068. (In Russ.)
12. Semenov V. M., Kogut B. M., Ivanov A. L. Soil carbon sequestration in the agro-landscapes: the food imperative of the climate agenda. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2025; 124: 10–69. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-10-69. (In Russ.)
13. Gladysheva O. V., Bannikova M. I. Productivity and adaptability assessment of early- and latematuring varieties of winter soft wheat in the Central Nonchernozem region. *Agrarian Science*. 2021; (1): 129–132. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-344-1-129-132. (In Russ.)
14. GOST R 70568-2022 “Reclamation systems and structures. Engineering soil-reclamation and botanical-cultural surveys. General provisions”. Moscow: FGBU “Institut standartizatsii”, 2023. 32 p. (In Russ.)
15. Bezdina S. Ya. *Water quality for irrigation: principles and methods of assessment*. Moscow: ROMA, 1997. 185 p. (In Russ.)
16. Mikhaylin A. A. Construction of a model of subsoil moisture movement in cultivated slope lands. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2025. 26b (1): 196–207. DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.1.196-207. (In Russ.)
17. Liu Y., Yu D., Su Y., Hao R. Quantifying the effect of trend, fluctuation and extreme event of climate change on ecosystem productivity. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014; 186 (12): 8473–8486. DOI: 10.1007/s10661-014-4031-z.
18. Han F., Zhang Q., Buyantuev A., et al. Effects of climate change on phenology and primary productivity in the desert steppe of Inner Mongolia. *Journal of Arid Land*. 2015; 7 (2). 251–263. DOI: 10.1007/s40333-014-0042-4.
19. Yurova A. Yu., Kozlov D. N., Kholodov V. A., Kolchanova K. A. Continuous model of soil organic matter quality: new perspectives for studying the carbon cycle in agricultural lands. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2025; 124: 144–183. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-124-144-183. (In Russ.)

Authors' information:

Anna N. Porshakova, candidate of economic sciences, associate professor, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia; ORCID 0009-0005-3849-3263, AuthorID 715147.

E-mail: porshakova_anna@mail.ru

Lyubov A. Maslova, candidate of agricultural sciences, associate professor, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia; ORCID 0009-0002-7933-2077, AuthorID 379446.

E-mail: maslovaluba@yandex.ru

Antonina A. Tsapina, postgraduate, assistant, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia; ORCID 0000-0003-4927-5040, AuthorID 1106802. E-mail: tonya.tsapina@mail.ru

Dmitry S. Fadeev, postgraduate, assistant, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-9716-1630, AuthorID 1144297. E-mail: fadeew.dima@mail.ru

Изменение функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при внесении рисовой соломы и биодеструкторов

А. И. Якубовская[✉], А. Ю. Еговцева, И. А. Каменева, И. И. Смирнова,
М. В. Гритчин, А. О. Каменев

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

[✉]E-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru

Аннотация. Солома – ценный ресурс органического вещества, макро- (NPK) и микроэлементов. Обработка биопрепаратом рисовой соломы и заделка ее в почву рассматривается как важнейший элемент поддержания почвенного плодородия и устойчивого земледелия. **Цель** настоящего исследования – определить динамику изменения функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при внесении рисовой соломы и комплекса микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Объектом исследования являлись численные показатели основных функциональных групп почвенных микроорганизмов (бактерии, потребляющие азот органических и минеральных соединений, олиготрофы, азотфиксаторы, нитрификаторы, актинобактерии, микромицеты, целлюлозолитики), биогенность, коэффициенты и индексы, характеризующие ориентированность минерализационно-иммобилизационных превращений. Закладка модельных опытов, отбор почвенных проб, микробиологический анализ осуществляли общепринятыми **методами**. **Результаты.** Обработка соломы риса комплексом микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов (КМП ЦМ) с последующей заделкой ее в почву способствовала увеличению численности органотрофной (на 85 % на 30-е сутки экспозиции и на 34 % к завершению опыта – 60 дней), олиготрофной (на 55 и 60 % соответственно на 15-й и 60-й день опыта) микробиоты по сравнению с контролем. Количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов в течение 30 дней эксперимента в 2 раза превышало вариант без обработки КМП ЦМ. Установлено, что при обработке растительных остатков КМП ЦМ увеличивается суммарная численность учтенных групп микроорганизмов в среднем на 26 % за время эксперимента. **Научная новизна.** Впервые изучена динамика изменения функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при интродукции комплекса микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов с соломой риса.

Ключевые слова: почвенные микроорганизмы; целлюлозолитическая ассоциация; индексы; биодеструкция; солома

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00481, <https://rscf.ru/project/25-26-00481/>

Для цитирования: Якубовская А. И., Еговцева А. Ю., Каменева И. А., Смирнова И. И., Гритчин М. В., Каменев А. О. Изменение функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при внесении рисовой соломы и биодеструкторов // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1654–1665. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1654-1665>.

Дата поступления статьи: 06.03.2026, **дата рецензирования:** 10.04.2026, **дата принятия:** 02.06.2026.

Change in the functional structure of the microbial community of meadow-chernozem soil with the introduction of rice straw and biodestructors

A. I. Yakubovskaya✉, A. Yu. Egovtseva, I. A. Kameneva, I. I. Smirnova, M. V. Gritchin, A. O. Kamenev

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

✉E-mail: yakubovskaya_allya@mail.ru

Abstract. Straw is a valuable resource of organic matter, macro- (NPK), and microelements. Treatment of rice straw with a biopreparation and its incorporation into the soil is considered a crucial element in maintaining soil fertility and sustainable agriculture. **The purpose** of this study was to determine the dynamics of changes in the functional structure of the microbial community in meadow-chernozem soils after the addition of rice straw and a complex of microbial preparations containing cellulose-degrading microorganisms. The object of the study were numerical indices of the main functional groups of soil microorganisms (bacteria consuming nitrogen from organic and mineral compounds, oligotrophs, nitrogen fixers, nitrifiers, actinobacteria, micromycetes, cellulolytics), biogenicity, coefficients and indices characterizing the orientation of mineralization-immobilization transformations. The setup of model experiments, collection of soil samples, and microbiological analysis were carried out using generally accepted **methods. Results.** Treatment of rice straw with a complex of microbial preparations of cellulose-degrading microorganisms (CMP CM) followed by its incorporation into the soil contributed to an increase in the abundance of organotrophic (by 85 % on the 30th day of exposure and by 34 % by the end of the experiment – 60 days), oligotrophic (by 55 and 60 %, respectively, on the 15th and 60th days of the experiment) microbiota compared to the control. The number of cellulose-degrading microorganisms was twice as high as in the untreated variant with CMP CM over the 30-day experiment. The total number of microbial groups measured increased by an average of 26 % over the course of the experiment when plant residues were treated with CMP CM. **Scientific novelty.** For the first time, the dynamics of changes in the functional structure of the microbial community of meadow-chernozem soil was studied with the introduction of a complex of microbial preparations of cellulose-destroying microorganisms with rice straw.

Keywords: soil microorganisms; cellulolytic association; indexes; biodegradation; straw

Acknowledgments. This study was supported by grant No. 25-26-00481 from the Russian Science Foundation, <https://rscf.ru/project/25-26-00481/>

For citation: Yakubovskaya A. I., Egovtseva A. Yu., Kameneva I. A., Smirnova I. I., Gritchin M. V., Kamenev A. O. Change in the functional structure of the microbial community of meadow-chernozem soil with the introduction of rice straw and biodestructors. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1654–1665. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1654-1665>. (In Russ.)

Date of paper submission: 06.03.2026, **date of review:** 10.04.2026, **date of acceptance:** 02.06.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Солома – ценный ресурс органического вещества, макро- (NPK) и микроэлементов [1; 2], и ее использование в агропромышленном производстве может являться альтернативным способом восполнения плодородия с частичной или полной заменой минеральных удобрений [3], оказывать благотворное влияние на почву: улучшать структуру, обогащать питательными веществами, способствуя росту урожайности сельскохозяйственных культур [4–6]. Несмотря на то что процесс синтеза доминирует над процессом минерализации гумуса, трансформация соломы происходит медленно, в связи с

чем ее положительное действие проявляется не сразу и в первый год после заделки соломы возможно снижение урожайности возделываемых культур [7].

Процесс разложения соломы носит поэтапный характер: разные группы микроорганизмов специализируются на расщеплении конкретных компонентов растительного сырья. Это приводит к последовательной смене доминирующих видов в микробном сообществе – его состав и функциональная активность существенно трансформируются на разных этапах деструкции соломы. В результате в процессе разложения фиксируется закономерная сукцессия микробных сообществ [8–11].

Такие факторы, как влажность [12], засоление [13], химический состав и размер измельченной соломы [14], влияют на ее доступность в качестве субстрата для микроорганизмов и тем самым регулируют скорость и характер разложения в почве.

Рисовая солома характеризуется высоким содержанием кремния и низким соотношением азота и углерода. Это делает ее малопривлекательной для кормовых целей и затрудняет микробную декомпозицию, особенно в условиях умеренного и засушливого климата [15]. Известно, что на 1 кг произведенного риса приходится до 1 кг пожнивных остатков, главным образом рисовой соломы [16], а интенсификация рисоводства влечет ее накопление. Следовательно, утилизация отходов рисоводства – ключевая проблема современного сельского хозяйства, актуальная и для России, и в мировом масштабе [17].

Для решения важной проблемы утилизации рисовой соломы перспективным способом представляется инокуляция послеуборочных остатков комплексом микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов (КМП ЦМ) с высокой целлюлозолитической активностью и другими полезными с точки зрения агрономии свойствами с последующей заделкой в почву. Такой прием позволяет создать высокую концентрацию полезных микроорганизмов, которые могут успешно конкурировать с аборигенной микробиотой, занимать определенные экологические ниши в агроэкосистеме и за счет синергии различных групп почвенных организмов ускорить декомпозицию органического материала, тем самым обеспечивать аккумуляцию органического вещества и других питательных элементов в почве [18–21].

Цель настоящего исследования – определить динамику изменения функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при внесении рисовой соломы и комплекса микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов для активации процесса деструкции.

Методология и методы исследования (Methods)

Изменение функциональной структуры микробного сообщества исследовали в модельном опыте, в условиях крытой летней теплицы в прямоугольных сосудах (объемом 50 л) с 40 кг лугово-черноземной почвы из рисового чека (Краснодарского края), которая имеет следующие агрохимические характеристики: содержание гумуса в верхнем горизонте 3,6–3,2 %, гумус фульватно-гуматного типа, pH = 6,8...6,9, гранулометрический состав тяжелосуглинистый по всему профилю. Содержание физической глины в верхних горизонтах равно 54 %. На долю илистой фракции в пахотном горизонте приходится 29 % [22]. Планирование и постановка модельных экспериментов осуществлялись по Доспехову [23] в шестикратном повторении. Солому риса сорта Рапан-2 измельчали на лабора-

торной мельнице до 7–10 см и вносили по 400 г на сосуд с почвой, опрыскивали многокомпонентным микробным препаратом для деструкции растительных остатков (соломы, стерни, сидеральных культур), разработанным в ФГБУН «НИИСХ Крыма» на основе ассоциации микроорганизмов с высокой целлюлозолитической активностью и штаммов бактерий с комплексом полезных свойств из Крымской коллекции микроорганизмов (<http://www.ckp-rf.ru/usu/507484/>) и заделывали на глубину 3–7 см.

Схема модельного опыта предполагала следующие варианты:

- 1) контроль – внесение соломы без обработки;
- 2) обработка соломы КМП ЦМ, суспендированным в воде из расчета 1 л/га или 300 л/га рабочего раствора путем опрыскивания измельченной соломы.

Влажность почвы в сосудах поддерживали на уровне 60 %.

Образцы почвы (слой 0–7 см) отбирали до закладки опыта и через 15, 30, 45, 60 суток от начала эксперимента. Функциональную структуру микробного сообщества исследовали в свежееотобранной почве методом предельных разведений с последующим высевом почвенной суспензии на соответствующие питательные среды [24; 25]. Аммонификаторы учитывали на мясопептонном агаре (МПА); бактерии, использующие азот минеральных соединений (они же аминолитики), – на крахмало-аммиачном агаре (КАА); количество азотфиксаторов – на среде Эшби; олигокарбофилы – на голодном агаре (ГА); педотрофы – на почвенном агаре (ПА); нитрификаторы – на нитритном агаре (НА); целлюлозолитические микроорганизмы (ЦМ) – на среде Гетчинсона. Также учитывали численность микромицетов (на среде Чапека – Докса) и актинобактерий (на КАА). Количество микроорганизмов выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ) в 1 г абсолютно сухой почвы (а. с. п.). Коэффициент влажности определяли термостатно-весовым методом. Индекс олиготрофности (ИО) и педотрофности (ИП), коэффициент минерализации-иммобилизации азота (КМИ) рассчитывали математически по соотношению КОЕ выросших на ГА, ПА и КАА к МПА соответственно [24].

Статистическую обработку данных проводили с использованием программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 10, применяли дисперсионный анализ, различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Полученные результаты приведены в виде средних арифметических значений со стандартными ошибками ($M \pm SEM$).

Результаты (Results)

Разложение соломы – многоступенчатый биологический процесс, в который вовлечены разные эколого-трофические группы микроорганизмов. При изучении динамики биодеструкции рисовой

соломы выявлено возрастание численности аммонифицирующих и амилалитических бактерий, выполняющих стартовую функцию разложения соломы, в течение 45 дней (в контрольном варианте – 47,3 млн, а при внесении КМП ЦМ – 54,7 млн) и 30 дней (в контрольном варианте – 42,5 млн, а при внесении КМП ЦМ – 61,7 млн) соответственно (таблица 1). Наибольшее распространение обусловлено скоростью минерализации самых доступных органических соединений. Следует отметить, что до закладки опыта (т. е. отсутствие субстрата в почве) количество описанных выше групп микроорганизмов было на порядок ниже (2,5–2,9 млн). Полученные нами результаты согласуются с литературными данными [26; 27].

Редуцентом на завершающих стадиях разложения соломы является олиготрофная группа микроорганизмов. Внесение КМП ЦМ стимулировало увеличение численности олигокарбофилов в 2 раза (15,0 млн против 8,7 млн в контрольном варианте), максимальное количество отмечено спустя 60 дней ($p < 0,05$) экспозиции и на порядок превысило этот же показатель до заделки растительных остатков (0,6 млн). Через 15 дней эксперимента зафиксирована максимальная численность педотрофных микроорганизмов в опыте. Показано, что обработка растительных остатков КМП ЦМ способствовала увеличению их количества на 56,3 % ($p < 0,05$) и 56,7 % ($p < 0,05$) относительно контрольного варианта через 15 и 60 дней от закладки опыта соответственно. Рост их активности отражает повышение биологической продуктивности почвы и способствует стабилизации микробоценоза за счет более эффективного включения органических остатков в почвенный круговорот веществ. Численность нитрификаторов также значительно увеличилась после внесения соломы, а применение КМП ЦМ обеспечило их прирост к контролю на 32, 9, 17 и 75 % ($p < 0,05$) соответственно через 15, 30, 45 и 60 дней эксперимента. Следует учесть, что в первоначальной пробе почвы (до начала эксперимента) данная группа микроорганизмов не выявлялась. Она выполняет важную функцию – участвует в круговороте азота, переводя ее в нитратную форму, а также играет важную роль в круговороте углерода (гумуса), что вносит вклад в формирование почвенной органической массы [28].

В поддержании баланса биологического азота почвы значительную роль играют азотфиксирующие микроорганизмы, использующие в качестве источника энергии экссудаты корня или доступные им углеводы, образованные в результате трансформации (деструкции) свежей органики. Микробиологический анализ почвы (в рамках нашего опыта) показал, что внесение рисовой соломы стимулирует развитие азотфиксаторов, однако их численность

менялась волнообразно в периоды отбора. Следует отметить, что в исходном образце почвы (до закладки опыта) азотфиксирующая группа микроорганизмов отсутствовала. В образцах почвы, отобранных на 15-й день эксперимента, численность данных микроорганизмов возрастала до $55\text{--}59,7 \times 10^6$ КОЕ в 1 г а. с. п., а внесение КМП ЦМ способствовало тенденции увеличения количества азотфиксаторов на 9 %. Такая же динамика отмечена и на 45-е сутки опыта, но процент стимуляции при интродукции КМП ЦМ был выше (22,0 %, $p < 0,05$). В почвенных образцах, отбор которых осуществлялся на 30-й день опыта, выявлено, что численная популяция азотфиксирующих микроорганизмов снижалась в 2 раза по сравнению с показателем, полученным при первом отборе проб на 15-й день проведения исследования. В ходе эксперимента зафиксировано, что интродукция КМП ЦМ с соломой риса стимулирует рост численности азотфиксирующих микроорганизмов по всем периодам отбора (15, 30, 45 и 60 дней) на 9, 42 ($p < 0,05$), 22 ($p < 0,05$) и 14 % соответственно. Численность азотфиксаторов, как и других эколого-трофических групп микроорганизмов, зависит от наличия доступного им субстрата, осуществляющего метаболический процесс.

Целлюлозолитики – основные деструкторы растительной целлюлозы. Развитие данной трофической группы в рамках наших исследований при внесении КМП ЦМ значительно увеличилось и превысило показатели контрольного варианта: на 86,4 % и 132,3 % на 15-й и 30-й день эксперимента соответственно. Увеличение числа целлюлозоразрушающих микроорганизмов, которые требуют дополнительного азота, указывало на то, что микробиологические процессы были направлены на увеличение азотфиксирующей способности почв, которую косвенно выявили по наличию в почве диазотрофов и накоплению щелочно-гидролизующего азота.

Известно, что микромицеты являются активными деструкторами органических остатков [29; 30], малодоступных другим микроорганизмам, и превалирует данная группа в более поздние стадии их разложения (1–2 года). В наших исследованиях показано, что внесение соломы стимулирует развитие микромицетов: через 15 дней эксперимента их численность составляла 19,8–24,3 КОЕ/г а. с. п., при этом в образцах почвы, отобранных с рисового чека (без соломы) и изученных перед закладкой опыта, данная функциональная группа не была обнаружена. Внесение микроорганизмов-деструкторов способствует количественному росту микромицетов (на 12,7 %) только на 30-е сутки экспозиции; на 45-й день эксперимента количество микромицетов сократилось в 2 раза, на 60-й день – в 3 раза в сравнении с контрольной почвой.

Таблица 1
Динамика численности изученных групп
микроорганизмов (КОЕ в 1 г а. с. п.)

Параметры исследований	Технологии	
	Контроль	Внесение КМП ЦМ
Почва до заделки растительных остатков		
Аммонификаторы, 10^6	2,5 ±0,10	
Амилолитики, 10^6	2,9 ±0,30	
Олигокарбофилы, 10^6	0,6 ±0,01	
Педотрофы, 10^6	2,8 ±0,20	
Нитрификаторы, 10^6	–	
Азотфиксаторы, 10^6	–	
Актинобактерии, 10^3	–	
Микромицеты, 10^3	18,4 ±0,4	
Целлюлозолитики, 10^3	104,0 ±8,0	
15 дней экспозиции		
Аммонификаторы, 10^6	29,9 ±1,06	46,9 ±1,00
Амилолитики, 10^6	35,5 ±0,42	50,1 ±0,36*
Олигокарбофилы, 10^6	5,9 ±0,01	8,3 ±0,02
Педотрофы, 10^6	54,7 ±1,37	85,5 ±1,73*
Нитрификаторы, 10^6	15,4 ±0,57	20,3 ±1,00
Азотфиксаторы, 10^6	55,0 ±0,80	59,7 ±0,50
Актинобактерии, 10^3	28,6 ±0,66	45,9 ±0,63*
Микромицеты, 10^3	24,3 ±1,97	19,8 ±1,51
Целлюлозолитики, 10^3	147,9 ±14,60	275,7 ±19,83
30 дней экспозиции		
Аммонификаторы, 10^6	40,6 ±1,01	48,4 ±1,30
Амилолитики, 10^6	42,5 ±0,80	61,7 ±0,87*
Олигокарбофилы, 10^6	10,8 ±0,50	11,7 ±0,56
Педотрофы, 10^6	29,5 ±0,80	36,2 ±0,85
Нитрификаторы, 10^6	37,4 ±1,93	40,7 ±1,90
Азотфиксаторы, 10^6	22,4 ±0,71	31,8 ±0,60*
Актинобактерии, 10^3	1,8 ±0,15	3,5 ±0,17
Микромицеты, 10^3	81,0 ±4,67	91,3 ±2,57
Целлюлозолитики, 10^3	92,7 ±9,30	215,3 ±27,83
45 дней экспозиции		
Аммонификаторы, 10^6	47,3 ±0,75	54,7 ±0,93
Амилолитики, 10^6	35,7 ±1,13	41,8 ±0,77
Олигокарбофилы, 10^6	3,7 ±0,45	5,3 ±0,36
Педотрофы, 10^6	47,8 ±0,77	49,5 ±0,96
Нитрификаторы, 10^6	24,9 ±1,06	29,2 ±0,90
Азотфиксаторы, 10^6	49,3 ±0,83	60,2 ±0,97*
Актинобактерии, 10^3	0,7 ±0,10	0,8 ±0,11
Микромицеты, 10^3	47,3 ±2,30	43,5 ±2,43
Целлюлозолитики, 10^3	188,2 ±21,83	223,3 ±19,36
60 дней экспозиции		
Аммонификаторы, 10^6	24,2 ±0,82	42,2 ±0,80
Амилолитики, 10^6	24,2 ±0,86	34,3 ±1,20
Олигокарбофилы, 10^6	8,7 ±0,50	15,0 ±0,57*
Педотрофы, 10^6	30,7 ±0,80	48,1 ±0,91*
Нитрификаторы, 10^6	15,8 ±0,93	27,6 ±0,54*
Азотфиксаторы, 10^6	37,5 ±1,70	42,7 ±1,30
Актинобактерии, 10^3	0,9 ±0,10	1,5 ±0,15
Микромицеты, 10^3	29,8 ±2,36	24,4 ±2,50
Целлюлозолитики, 10^3	168,4 ±17,70	213,6 ±15,10

Примечание. * $p < 0,05$.

Table 1
The dynamics of the number of studied groups
of microorganisms (CFU / g of absolutely dry soil)

Studied parameters	Technologies	
	Control	Introduction of the CMP CM
Before sealing the plant residues		
Ammonifiers, 10^6	2.5 ±0.10	
Amylolytic, 10^6	2.9 ±0.30	
Oligocarbophiles, 10^6	0.6 ±0.01	
Pedotrophes, 10^6	2.8 ±0.20	
Nitrifiers, 10^6	–	
Nitrogen fixers, 10^6	–	
Actinobacteria, 10^3	–	
Micromycetes, 10^3	18.4 ±0.4	
Cellulolytics, 10^3	104.0 ±8.0	
15 days of exposure		
Ammonifiers, 10^6	29.9 ±1.06	46.9 ±1.00
Amylolytic, 10^6	35.5 ±0.42	50.1 ±0.36*
Oligocarbophiles, 10^6	5.9 ±0.01	8.3 ±0.02
Pedotrophes, 10^6	54.7 ±1.37	85.5 ±1.73*
Nitrifiers, 10^6	15.4 ±0.57	20.3 ±1.00
Nitrogen fixers, 10^6	55.0 ±0.80	59.7 ±0.50
Actinobacteria, 10^3	28.6 ±0.66	45.9 ±0.63*
Micromycetes, 10^3	24.3 ±1.97	19.8 ±1.51
Cellulolytics, 10^3	147.9 ±14.60	275.7 ±19.83
30 days of exposure		
Ammonifiers, 10^6	40.6 ±1.01	48.4 ±1.30
Amylolytic, 10^6	42.5 ±0.80	61.7 ±0.87*
Oligocarbophiles, 10^6	10.8 ±0.50	11.7 ±0.56
Pedotrophes, 10^6	29.5 ±0.80	36.2 ±0.85
Nitrifiers, 10^6	37.4 ±1.93	40.7 ±1.90
Nitrogen fixers, 10^6	22.4 ±0.71	31.8 ±0.60*
Actinobacteria, 10^3	1.8 ±0.15	3.5 ±0.17
Micromycetes, 10^3	81.0 ±4.67	91.3 ±2.57
Cellulolytics, 10^3	92.7 ±9.30	215.3 ±27.83
45 days of exposure		
Ammonifiers, 10^6	47.3 ±0.75	54.7 ±0.93
Amylolytic, 10^6	35.7 ±1.13	41.8 ±0.77
Oligocarbophiles, 10^6	3.7 ±0.45	5.3 ±0.36
Pedotrophes, 10^6	47.8 ±0.77	49.5 ±0.96
Nitrifiers, 10^6	24.9 ±1.06	29.2 ±0.90
Nitrogen fixers, 10^6	49.3 ±0.83	60.2 ±0.97*
Actinobacteria, 10^3	0.7 ±0.10	0.8 ±0.11
Micromycetes, 10^3	47.3 ±2.30	43.5 ±2.43
Cellulolytics, 10^3	188.2 ±21.83	223.3 ±19.36
60 days of exposure		
Ammonifiers, 10^6	24.2 ±0.82	42.2 ±0.80
Amylolytic, 10^6	24.2 ±0.86	34.3 ±1.20
Oligocarbophiles, 10^6	8.7 ±0.50	15.0 ±0.57*
Pedotrophes, 10^6	30.7 ±0.80	48.1 ±0.91*
Nitrifiers, 10^6	15.8 ±0.93	27.6 ±0.54*
Nitrogen fixers, 10^6	37.5 ±1.70	42.7 ±1.30
Actinobacteria, 10^3	0.9 ±0.10	1.5 ±0.15
Micromycetes, 10^3	29.8 ±2.36	24.4 ±2.50
Cellulolytics, 10^3	168.4 ±17.70	213.6 ±15.10

Note. * $p < 0.05$.

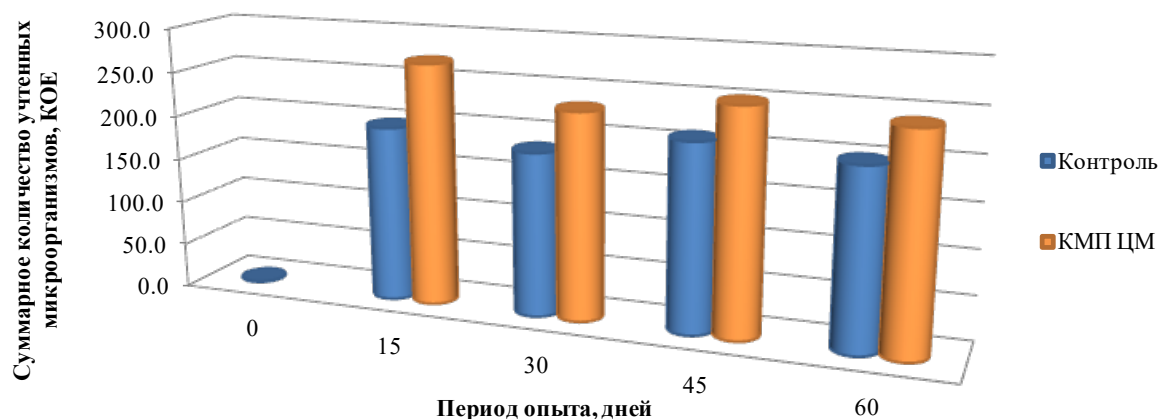


Рис. 1. Суммарное количество микроорганизмов основных эколого-трофических групп почвы при внесении субстрата и КМП ЦМ, КОЕ $\times 10^6$ /г а. с. п.

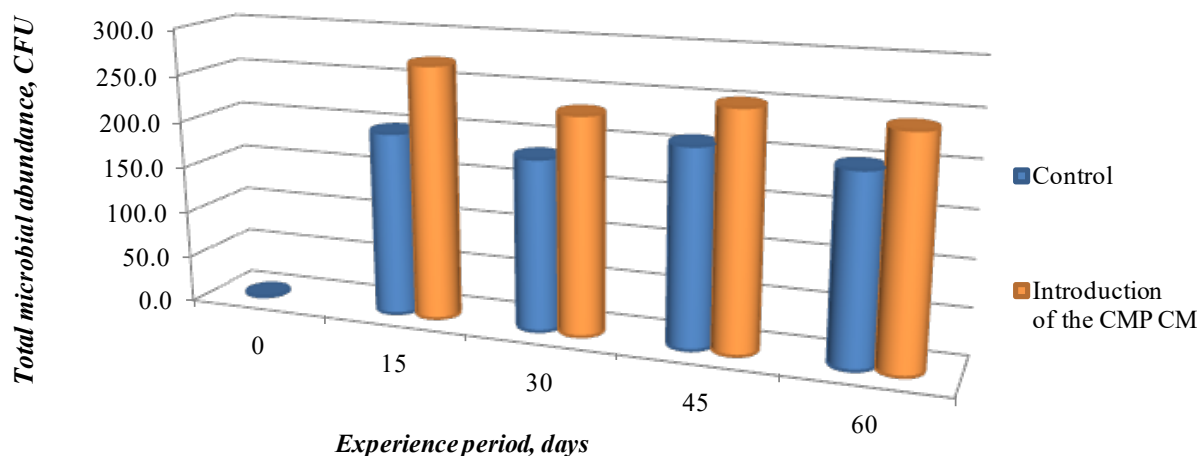


Fig. 1. The total number of microorganisms of the main ecological and trophic groups of the soil during the introduction of the substrate and the CMP CM, CFU $\times 10^6$ /g of absolutely dry soil

Актинобактерии, так же как и микромицеты, выполняют ключевую экофизиологическую роль в разложении растительных остатков, обладая высокой долей целлюлазных ферментов, обеспечивающих глубокую трансформацию труднодоступных соединений [31]. Внесение КМП ЦМ также стимулировало рост численности актинобактерий: через 15 ($p < 0,05$), 30 и 60 дней эксперимента, их количество увеличилось почти в два раза (1,6–1,9 раза) в сравнении с контролем. Важно отметить, что в образцах почвы до внесения субстрата эти микроорганизмы нами не обнаружены.

Результаты исследований показали, что солома в качестве субстрата и интродукция КМП ЦМ для ее трансформации способствует стимуляции и возрастанию численности эколого-трофических групп микроорганизмов в почве относительно контрольного варианта (до закладки опыта).

Суммарное количество учтенных микроорганизмов, характеризующих биогенность почвы, было на порядок выше в варианте опыта с внесением органики – соломы (контроль), а при внесении соломы риса совместно с КМП ЦМ превысило

показатели контрольного варианта на 38, 26, 20 и 21 % во все периоды отбора проб: 15, 30, 45 и 60 дней соответственно (рис. 1). Следует отметить, что максимальное суммарное количество микроорганизмов при внесении соломы отмечено через 45 дней от начала эксперимента, тогда как в варианте с биодеструктором – через 15 дней, что может свидетельствовать об активности микробиоты и более ускоренной трансформации субстрата. Результаты микробиологического анализа показали, что солома в качестве субстрата стимулирует развитие основных эколого-трофических групп микроорганизмов, участвующих в ее трансформации, а интродукция КМП ЦМ для ускорения этого процесса способствует увеличению численности микробного пула почвы во все периоды отбора относительно контрольного варианта.

В работе В. И. Кулагина с соавторами показано, что при расчете интегрального показателя биологического состояния почв наиболее информативными параметрами были численность аммонификаторов, амилаolitikов, актиномицетов [32].

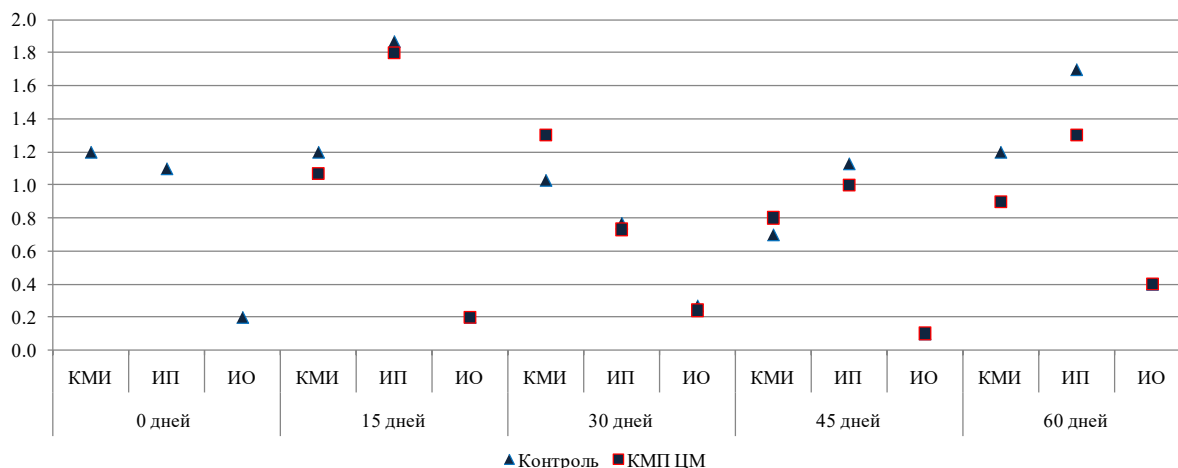


Рис. 2. Направленность минерализационных процессов в лугово-черноземной почве при внесении рисовой соломы и КМП ЦМ
КМИ – коэффициент минерализации-иммобилизации; ИП – индекс педотрофности; ИО – индекс олиготрофности

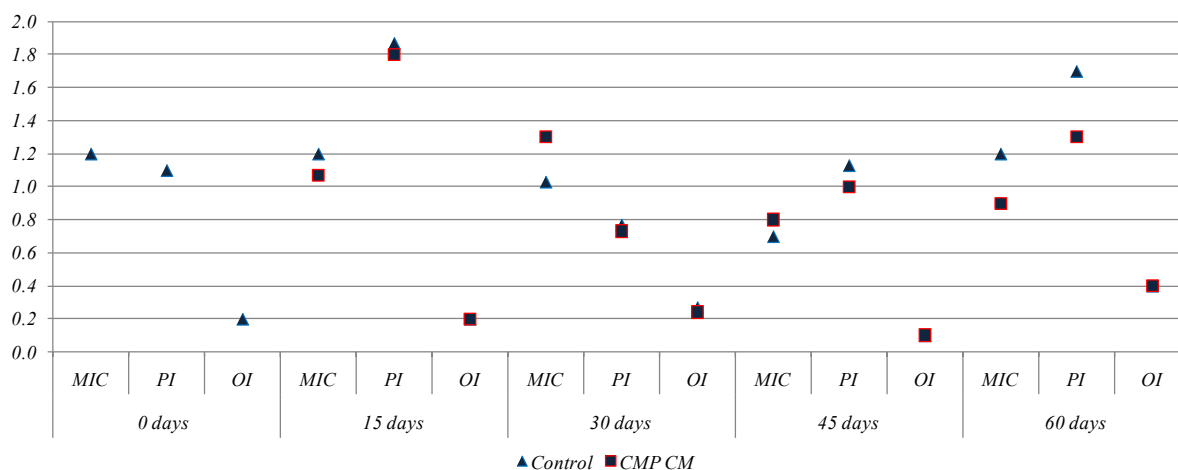


Fig. 2. The direction of the mineralization processes in meadow-chernozem soil with the introduction of rice straw and CMP CM
MIC – mineralization-immobilization coefficient; PI – pedotrophy index; OI – oligotrophy index

Расчет коэффициента минерализации-иммобилизации не показал значимых изменений как перед закладкой опыта, так и через 15, 30 и 60 дней (1,2, 1,1 и 1,2 соответственно), при этом на 45-й день опыта КМИ уменьшился в 1,7 раза относительно начала эксперимента – 15 дней (рис. 2), что обусловлено увеличением численности микроорганизмов, использующих азот минеральных соединений и свидетельствует о преобладании процессов минерализации азота. Отмеченные изменения указывают на замедление распада органического вещества и более интенсивное накопление гумуса, что способствует повышению плодородия и улучшению структуры почвы.

Индекс педотрофности – инструмент для оценки состояния почвы, который позволяет судить о состоянии естественного биогеоценоза, обладающего устойчивостью к негативным факторам [24]. В нашем опыте отмечена динамика изменения индекса педотрофности по мере разложения соломы. Мак-

симальное значение ИП (1,8–1,9) зафиксировано через 15 дней после начала эксперимента, его снижение до 0,73 – через 30 дней, возрастание через 45 и 60 суток, при этом на начальных этапах разложения субстрата значения индекса не имели отличий по вариантам опыта, а при внесении КМП ЦМ через 45 и 60 дней были меньше, чем в контроле, что может свидетельствовать об ускорении процессов гумусообразования при внесении КМП ЦМ [33].

Определение такого параметра, как индекс олиготрофности, позволяет установить степень развития микробиоты, участвующей в новообразовании гумусовых веществ. В образце почвы до закладки опыта и динамике отборов 15, 30, 45 дней данный показатель был на уровне 0,2, что указывает на сбалансированность микробного сообщества; к 60-му дню увеличился до 0,4, что, вероятнее всего, связано с понижением температурного режима и приостановкой деятельности биоты.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В практике земледелия получает все большее распространение такой агротехнологический прием, как применение микробных препаратов для интенсификации процессов трансформации соломы при ее внесении в пахотный горизонт. Солома риса, как и других зерновых культур, является важным источником восполнения органического вещества в почве и фактором активации микробиологических процессов в ней. Проведенные исследования показали динамическую сукцессию микроорганизмов при разложении соломы риса на первоначальном этапе, а также что интродукция КМП ЦМ стимулирует развитие отдельных эколого-трофических групп микроорганизмов.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Установлено возрастание численности аммонификаторов при внесении соломы от 2,9 млн до КОЕ (перед закладкой) до 47,3 млн и последующим снижением до 24,3 млн в 1 г а. с. п. через 60 суток опыта. При внесении КМП ЦМ численность этой группы микроорганизмов увеличилась на 16–74 % в сравнении с контрольным вариантом.

Показано увеличение количества микроорганизмов, использующих азот минеральных соединений, как при внесении органики (соломы), так и при ее инокуляции КМП ЦМ (на 17,0–45,2 % к контролю).

Установлено увеличение численности олигокарбофилов (8,3–72,4 %), педотрофов (3,6–56,7 %) и нитрофилов (8,8–74,7 %) под влиянием инокуляции в течение эксперимента.

Количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов превышало в 2 раза вариант без обработки КМП ЦМ через 15 и 30 дней эксперимента.

Показано стимулирующее действие соломы и КМП ЦМ на развитие микромицетов и актинобактерий: увеличение количества микроскопических

грибов через 30 дней составило 12,7 %, а численность актинобактерий возрастала на 15-е, 30-е и 60-е сутки исследования почти в 2 раза относительно контроля.

Установлено, что при обработке растительных остатков КМП ЦМ возрастает биогенность почвы в среднем на 26 % за период опыта. Применение микробных препаратов для ускорения деструкции растительных остатков способствует сохранению биоразнообразия и является перспективным для применения в АПП.

Расчет коэффициента минерализации-иммобилизации не показал значимых изменений в период эксперимента. Отмечена динамика изменения ИП по мере разложения соломы. Максимальные значения индекса педотрофности (1,8–1,9) зафиксированы через 15 дней от начала эксперимента, который снизился через 30 дней и снова возрастал через 45 и 60 дней экспозиции.

По информативности и значимости изученные параметры следует расположить в следующем порядке: численность аммонификаторов > численность амилаolitikов > численность олиготрофной группы > численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов и микромицетов > индекс олиготрофности.

Таким образом, показано, что интродукция КМП ЦМ с соломой риса стимулирует поэтапное развитие необходимых для ускорения процесса деструкции микроорганизмов, сохраняя баланс естественного биоценоза, и является перспективным путем для рационального управления разложением рисовой соломы, что имеет большое значение для сельского хозяйства и устойчивого управления почвенными ресурсами.

Учитывая, что разложение соломы имеет длительное последствие, эксперимент продолжается.

Библиографический список

1. Van Hung N., Maguyon-Detras M. C., Migo M. V., et al. Rice straw overview: Availability, properties, and management practices // In: Gummert M., Hung N., Chivenge P., Douthwaite B. (eds.) Sustainable rice straw management. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-32373-8_1.
2. Rosado M. J., Marques G., Rencoret J., Gutiérrez A., Del Río J. C. Chemical composition of lipophilic compounds from rice (*Oryza sativa*) straw: An attractive feedstock for obtaining valuable phytochemicals // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Article number 868319. DOI: 10.3389/fpls.2022.868319.
3. Kumar K. G., Husain R., Mishra A., et al. Rice crop residue management by the microbial consortium for rapid decomposition of straw // 3 Biotech. 2024. Vol. 14, No. 5. Article number 137. DOI: 10.1007/s13205-024-03982-z.
4. Sun R., Wang X., Alhaj Hamoud Y., et al. Dynamic variation of bacterial community assemblage and functional profiles during rice straw degradation. // Frontiers in Microbiology. 2023. Vol. 14. Article number 1173442. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1173442.
5. Chen J., Zheng M.-J., Pang D.-W., et al. Straw return and appropriate tillage method improve grain yield and nitrogen efficiency of winter wheat. // Journal of integrative agriculture. 2017. Vol. 16, No. 8. Pp. 1708–1719. DOI: 10.1016/S2095-3119(16)61589-7.
6. Chen L. M., Sun S. L., Yao B., et al. Effects of straw return and straw biochar on soil properties and crop growth: a review // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Article number 986763. DOI: 10.3389/fpls.2022.986763.

7. Наими О. И. Особенности использования соломы в качестве органического удобрения // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019. Vol. 9-1. Pp. 10–13. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11552.
8. Orlova O. V., Kichko A. A., Pershina E. V., Pinaev A. G., Andronov E. E. Succession of bacterial communities in the decomposition of oats straw in two soils with contrasting properties // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53, No. 11. Pp. 1620–1628. DOI: 10.1134/S1064229320090112.
9. Орлова О. В., Гладков Г. В., Зверев А. О. [и др.] Динамика про- и эукариотического микробиома соломы при ее разложении на поверхности почвы // Сельскохозяйственная биология. 2025. Т. 60, № 1. С. 82–95. DOI: 10.15389/agrobiology.2025.1.82rus.
10. Wang X., He P., Xu X., et al. Characteristics of rice straw decomposition and bacterial community succession for 2 consecutive years in a paddy field in southeastern China // Scientific Reports. 2022. Vol. 12, No. 1. Article number 20893. DOI: 10.1038/s41598-022-25229-8.
11. Floudas D. Evolution of lignin decomposition systems in fungi // Advances in Botanical Research. 2021. Vol. 99. Pp. 37–76.
12. Brockett B. F., Prescott C. E., Grayston S. J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada // Soil Biology and Biochemistry. 2012. Vol. 44, No. 1. Pp. 9–20. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.09.003.
13. Muhammad S., Müller T., Joergensen R. G. Decomposition of pea and maize straw in Pakistani soils along a gradient in salinity // Biology and Fertility of Soils. 2006. Vol. 43, No. 1. Pp. 93–101. DOI: 10.1007/s00374-005-0068-z.
14. Bending G. D., Turner M. K., Jones J. E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities // Biology and Fertility of Soils. 2002. Vol. 34, No. 8. Pp. 1073–1082. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00040-8.
15. Лебедев Ю. М., Гонгальский К. Б., Горбунова А. Ю., Зайцев А. С. Разложение рисовой соломы мокрицами (*Isopoda*, *Oniscidea*) и двупарноногими многоножками (*Myriapoda*, *Diplopoda*) в почвах Калмыкии в лабораторном эксперименте // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 3 (84). С. 88–92. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10111.
16. Российский статистический ежегодник 2016. Москва: Росстат, 2016. 725 с.
17. Tang S., Cheng W., Hu R., et al. Simulating the effects of soil temperature and moisture in the off-rice season on rice straw decomposition and subsequent CH₄ production during the growth season in a paddy soil // Biology and Fertility of Soils. 2016. Vol. 52. Pp. 739–748. DOI: 10.1007/s00374-016-1114-8.
18. Chen L., Tang T., Wang Z., et al. A novel fungal and bacterial consortium promotes the degradation of rice straw: conditions optimization and degradation properties // International Biodeterioration & Biodegradation. 2024. Vol. 194. Article number 105875. DOI: 10.1016/j.ibiod.2024.105875.
19. Русакова И. В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах // Juvenis Scientia. 2018. № 9. С. 4–9. DOI: 10.32415/jscientia.2018.09.01.
20. Зеленский Г. Л., Котляров В. В., Котляров Д. В., Зеленский А. Г. Проблемы и перспективы утилизации рисовой соломы // Рисоводство. 2021. № 4 (53). С. 23–29. DOI: 10.33775/1684-2464-2021-53-4-23-29.
21. Еговцева А. Ю., Каменева И. А., Абдурашитов С. Ф., Якубовская А. И., Гритчин М. В., Смирнова И. И. Влияние соломы озимой пшеницы, обработанной целлюлозолитической ассоциацией, на таксономическое разнообразие микробиома чернозема южного // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 3 (39). С. 46–57. DOI: 10.5281/zenodo.13782196.
22. Сидоренко А. В., Елисеева Н. В. Свойства лугово-черноземных почв Кубани под культурой риса // Вестник ОГУ. 2011. № 12 (131). С. 143–45.
23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Альянс, 2015. 315 с.
24. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Нижний Новгород: Нижегородская сельскохозяйственная академия, 2012. 64 с.
25. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. Москва: Дрофа, 2005. 254 с.
26. Русакова И. В. Теоретические основы и методы управления плодородием почв при использовании растительных остатков в земледелии. Владимир: ФГБНУ ВНИИОУ, 2016. 131 с.
27. Дзюин А. Г. Влияние соломы в севообороте на численность микроорганизмов и биологическую активность почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 62, № 1. С. 58–64 DOI: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.58-64.
28. Kleerebezem R., Lückner S. Cyclic conversions in the nitrogen cycle // Frontiers in Microbiology. 2021. Vol. 12. Article number 622504. DOI: 10.3389/fmicb.2021.622504.

29. Sviridova O. V., Vorobyov N. I., Andronov E. E., et al. Optimum ratio of complex biological product and fertilize (NPK) and the contribution of fungi and bacteria to the general decomposition and mulching of coniferous wood waste // *Agronomy Research*. 2022. Vol. 20 (4). Pp. 827–841. DOI: 10.15159/AR.22.059.

30. Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Тагиров Р. М., Рязанов С. С., Хисамова А. М. Выбор микробиологических показателей для выполнения интегральной эколого-биологической оценки почв при переувлажнении // *Принципы экологии*. 2019. № 4. С. 45–56.

31. Bao Y., Dolfing J., Guo Z., et al. Important ecophysiological roles of non-dominant *Actinobacteria* in plant residue decomposition, especially in less fertile soils // *Microbiome*. 2021. Vol. 9, No. 1. Article number 84. DOI: 10.1186/s40168-021-01032-x.

32. Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Рязанов С. С. [и др.] Проверка набора параметров для интегральной оценки эколого-биологического состояния почв при органическом земледелии // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия*. 2021. Т. 7 (73), № 1. С. 90–102.

33. Горгулько Т. В., Дидович С. В., Алексеенко О. П., Шитик А. С. Влияние «Микробиоком-агро» и различных технологий земледелия на микробиологическую активность ризосферы льна масличного // *Таврический вестник аграрной науки*. 2024. № 4 (40). С. 38–51. DOI: 10.5281/zenodo.14184314.

Об авторах:

Алла Ивановна Якубовская, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия;

ORCID 0000-0001-8434-2689, AuthorID 806301. E-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru

Анна Юрьевна Еговцева, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0002-3638-0194, AuthorID 925336. E-mail: eau82@mail.ru

Ирина Алексеевна Каменева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия;

ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450. E-mail: irina.kameneva.7@yandex.ru

Ирина Игоревна Смирнова, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0009-0007-2684-3363, AuthorID 924495.

E-mail: irina_smirnova86@bk.ru

Максим Владимирович Гритчин, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0002-9680-493X, AuthorID 924496.

E-mail: maxim_gmv@mail.ru

Алексей Олегович Каменев, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0009-0007-9026-7583, AuthorID 1232970.

E-mail: testfreelove@yandex.ru

References

1. Van Hung N., Maguyon-Detras M. C., Migo M. V., et al. Rice straw overview: Availability, properties, and management practices. In: *Gummert M., Hung N., Chivenge P., Douthwaite B. (eds.) Sustainable Rice Straw Management*. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-32373-8_1.

2. Rosado M. J., Marques G., Rencoret J., Gutiérrez A., Del Río J. C. Chemical composition of lipophilic compounds from rice (*Oryza sativa*) straw: An attractive feedstock for obtaining valuable phytochemicals. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 868319. DOI: 10.3389/fpls.2022.868319.

3. Kumar K. G., Husain R., Mishra A., et al. Rice crop residue management by the microbial consortium for rapid decomposition of straw. *3 Biotech*. 2024; 14 (5): 137. DOI: 10.1007/s13205-024-03982-z.

4. Sun R., Wang X., Alhaj Hamoud Y., et al. Dynamic variation of bacterial community assemblage and functional profiles during rice straw degradation. *Frontiers in Microbiology*. 2023; 14: 1173442. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1173442.

5. Chen J., Zheng M.-J., Pang D.-W., et al. Straw return and appropriate tillage method improve grain yield and nitrogen efficiency of winter wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017; 16 (8): 1708–1719. DOI: 10.1016/S2095-3119(16)61589-7.

6. Chen L. M., Sun S. L., Yao B., et al. Effects of straw return and straw biochar on soil properties and crop growth: a review. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 986763. DOI: 10.3389/fpls.2022.986763.

7. Naimi O. I. Features of using straw as an organic fertilizer. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019; 9-1: 10–13. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11552.

8. Orlova O. V., Kichko A. A., Pershina E. V., Pinaev A. G., Andronov E. E. Succession of bacterial communities in the decomposition of oats straw in two soils with contrasting properties. *Eurasian Soil Science*. 2020; 53 (11): 1620–1628. DOI: 10.1134/ S1064229320090112.
9. Orlova O. V., Gladkov G. V., Zverev A. O., et al. Dynamics of the pro- and eukaryotic microbiome of straw during its destruction under surface application. *Agricultural Biology*. 2025; 60 (1): 82–95. DOI: 10.15389/agrobiology.2025.1.82rus. (In Russ.)
10. Wang X., He P., Xu X., et al. Characteristics of rice straw decomposition and bacterial community succession for 2 consecutive years in a paddy field in southeastern China. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1): 20893. DOI: 10.1038/s41598-022-25229-8.
11. Floudas D. Evolution of lignin decomposition systems in fungi. *Advances in Botanical Research*. 2021; 99: 37–76.
12. Brockett B. F., Prescott C. E., Grayston S. J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. *Soil Biology and Biochemistry*. 2012; 44 (1): 9–20. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.09.003.
13. Muhammad S., Müller T., Joergensen R. G. Decomposition of pea and maize straw in Pakistani soils along a gradient in salinity. *Biology and Fertility of Soils*. 2006; 43 (1): 93–101. DOI: 10.1007/s00374-005-0068-z.
14. Bending G. D., Turner M. K., Jones J. E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. *Biology and Fertility of Soils*. 2002; 34 (8): 1073–1082. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00040-8.
15. Lebedev Yu. M., Gongalsky K. B., Gorbunova A. Yu., Zaytsev A. S. Decomposition of rice straw by woodlice (*Isopoda*, *Oniscidea*) and millipedes (*Myriapoda*, *Diplopoda*) in soils of Kalmykia in a laboratory experiment. *Arid Ecosystems*. 2020; 26 (3): 88–92. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10111. (In Russ.)
16. *Russian Statistical Yearbook 2016*. Moscow: Rosstat, 2016. 725 p. (In Russ.)
17. Tang S., Cheng W., Hu R., et al. Simulating the effects of soil temperature and moisture in the off-rice season on rice straw decomposition and subsequent CH₄ production during the growth season in a paddy soil. *Biology and Fertility of Soils*. 2016; 52: 739–748. DOI: 10.1007/s00374-016-1114-8.
18. Chen L., Tang T., Wang Z., et al. A novel fungal and bacterial consortium promotes the degradation of rice straw: conditions optimization and degradation properties. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2024; 194: 105875. DOI: 10.1016/j.ibiod.2024.105875.
19. Rusakova I. V. Biopreparations for decomposition of plant residues in agroecosystems. *Juvenis Scientia*. 2018; 9: 4–9. DOI: 10.32415/jscientia.2018.09.01. (In Russ.)
20. Zelenskiy G. L., Kotlyarov V. V., Kotlyarov D. V., Zelenskiy A. G. Problems and prospects of rice straw disposal. *Rice Growing*. 2021; 4 (53): 23–29. DOI: 10.33775/1684-2464-2021-53-4-23-29. (In Russ.)
21. Egovtseva A. Yu., Kameneva I. A., Abdurashitov S. F., et al. Influence of winter wheat straw treated with cellulolytic association on the taxonomic diversity of the microbiome of chernozem southern. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024; 3 (39): 46–57. DOI: 10.5281/zenodo.13782196. (In Russ.)
22. Sidorenko A. V., Eliseeva N. V. Properties meadow chernozem soils of crop Kuban rice. *Bulletin of Orenburg State University*. 2011; 12 (131): 143–45. (In Russ.)
23. Dospikhov B. A. *Methodology of field experiment*. Moscow: Al'yans, 2015. 315 p. (In Russ.)
24. Titova V. I., Kozlov A. V. *Methods for assessing the functioning of soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod Agricultural Academy, 2012. 64 p. (In Russ.)
25. Tepper E. Z., Shilnikova V. K., Pereverzeva G. I. *Practical training in microbiology*. Moscow: Drofa, 2005. 254 p. (In Russ.)
26. Rusakova I. V. *Theoretical foundations and methods of soil fertility management when using plant residues in agriculture*. Vladimir: VNIIOU, 2016. 131 p. (In Russ.)
27. Dzyuin A. G. Effect of straw on the number of microorganisms and biological activity of soil in crop rotation. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018; 62 (1): 58–64. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.58-64. (In Russ.).
28. Kleerebezem R., Lückers S. Cyclic conversions in the nitrogen cycle. *Frontiers in Microbiology*. 2021; 12: 622504. DOI: 10.3389/fmicb.2021.622504.
29. Sviridova O. V., Vorobyov N. I., Andronov E. E., et al. Optimum ratio of complex biological product and fertilize (NPK) and the contribution of fungi and bacteria to the general decomposition and mulching of coniferous wood waste. *Agronomy Research*. 2022; 20 (4): 827–841. DOI: 10.15159/AR.22.059.
30. Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Tagirov R. M., Ryazanov S. S., Khisamova A. M. Selection of microbiological indicators to perform an integrated ecological-and-biological assessment of waterlogged soils. *Principles of Ecology*. 2019; 4: 45–56. (In Russ.)

31. Bao Y., Dolfing J., Guo Z., et al. Important ecophysiological roles of non-dominant *Actinobacteria* in plant residue decomposition, especially in less fertile soils. *Microbiome*. 2021; 9 (1): 84. DOI: 10.1186/s40168-021-01032-x.

32. Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Ryazanov S. S., et al. Assessment of the set of parameters for an integral evaluation of an ecological and biological state of soils in organic agriculture. *Scientific Notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University Biology. Chemistry*. 2021; 7 (73): 90–102. (In Russ.)

33. Gorgulko T. V., Didovich S. V., Alekseenko O. P., Shitik A. S. Influence of “Microbiocom-agro” and various farming technologies on the microbiological activity of the rhizosphere of *Linum usitatissimum*. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024; 4 (40): 38–51. DOI: 10.5281/zenodo.14184314. (In Russ.)

Authors' information:

Alla I. Yakubovskaya, candidate of biological science, leading researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0001-8434-2689, AuthorID 806301.

E-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru

Anna Yu. Egovtseva, researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia;

ORCID 0000-0002-3638-0194, AuthorID 925336. E-mail: eau82@mail.ru

Irina A. Kameneva, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450.

E-mail: irina.kameneva.7@yandex.ru

Irina I. Smirnova, junior researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia;

ORCID 0009-0007-2684-3363, AuthorID 924495. E-mail: irina_smirnova86@bk.ru

Maksim V. Gritchyn, researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia;

ORCID 0000-0002-9680-493X, AuthorID 924496. E-mail: maxim_gmv@mail.ru

Aleksey O. Kamenev, junior researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia;

ORCID 0009-0007-9026-7583, AuthorID 1232970. E-mail: testfreelove@yandex.ru

Распространенность патологий конечностей крупного рогатого скота

О. А. Быкова[✉], В. Е. Шакиров, А. И. Нефедов, А. А. Ярышкин

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: olbyk75@mail.ru

Аннотация. Целью данного исследования является выявление распространенности ортопедических патологий, их взаимосвязь с условиями содержания и генетическая обусловленность в условиях учебно-опытного хозяйства. **Методы.** Проводился целевой ортопедический осмотр поголовья учебно-опытного хозяйства групп родильного отделения, сухостоя, дойного стада и молодняка с фотофиксацией, количественные и табличные данные обработаны классическими методами вариационной статистики, рекомендованными для биологических исследований. **Научная новизна.** В статье приводятся новые данные о характере распространенности и взаимосвязи с технологическим циклом и генетической обусловленностью наиболее часто встречающихся патологий конечностей у голштинской погоды крупного рогатого скота. Проводится сравнение с актуальными данными ряда других исследователей. **Результаты.** Среди обследованного поголовья наиболее часто встречаются одна или две сочетанные ортопедические патологии (49,81 % случаев), обнаруживаемые в родильном отделении (65,71 % случаев), в сухостойной группе (60,86 % случаев) и в дойном поголовье (58,28 % случаев). Наиболее часто встречающейся патологией в данном хозяйстве является бурсит запястного и заплюсневоего сустава: 45,45 % и 37,08 % зарегистрированных случаев из всех обследованных групп соответственно. При этом в подавляющем большинстве случаев такие бурситы носят хронический характер. В свою очередь, в хозяйстве отмечается крайне низкая встречаемость патологий дистальных отделов конечностей, искривления конечностей, а также бурситов коленных и локтевых суставов. Также обнаружены единичные случаи явных аномалий внутриутробного развития. Полученные данные значительно различаются с результатами других исследователей по аналогичной тематике, что обуславливает необходимость дальнейшей работы по установлению породной предрасположенности и степени влияния зоогигиенических условий в рамках отдельного хозяйства и породы.

Ключевые слова: коровы, крупный рогатый скот, ортопедия, патологии конечностей, бурситы.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 26-26-20079) и Правительства Свердловской области (РНТФ, договор 21-26-МГ, проект № 26-26-20079).

Для цитирования: Быкова О. А., Шакиров В. Е., Нефедов А. И., Ярышкин А. А. Распространенность патологий конечностей крупного рогатого скота // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1666–1674. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1666-1674>.

Дата поступления статьи: 19.06.2026, **дата рецензирования:** 31.07.2026, **дата принятия:** 19.08.2026.

Prevalence of limb pathologies in cattle

O. A. Bykova[✉], V. E. Shakirov, A. I. Nefedov, A. A. Yaryshkin

Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

[✉]E-mail:olbyk75@mail.ru

Abstract. The purpose of this study is to identify the prevalence of orthopedic pathologies, their relationship with housing conditions, and their genetic basis in the conditions of a training and experimental farm. **Methods.** To conduct the study, a targeted orthopedic examination was carried out on the livestock of the training and experimental farm, including groups from the maternity ward, dry cows, dairy herd, and young animals, with photo documentation; the quantitative and tabular data were processed using classical methods of variation statistics recommended for biological research. **Scientific novelty.** The article presents new data on the nature of the prevalence and its relationship with the technological cycle and genetic predisposition of the most common limb pathologies in black-and-white Holstein-Friesian cattle. A comparison is made with the current data from a number of other researchers. **Results.** Among the examined livestock, one or two combined orthopedic pathologies are most commonly observed (49.81 % of cases), detected in the maternity ward (65.71 % of cases), in the dry group (60.86 % of cases), and in the milking stock (58.28 % of cases). The most frequently occurring pathology in this farm is bursitis of the carpal and tarsal joints: 45.45 % and 37.08 % of the registered cases from all examined groups, respectively. At the same time, in the vast majority of cases, such bursitis is chronic in nature. In turn, the farm records an extremely low incidence of pathologies affecting the distal parts of the limbs, limb deformities, and bursitis of the knee and elbow joints. Isolated cases of obvious intrauterine developmental abnormalities have also been detected. The data obtained differ significantly from the results of other researchers working on similar topics, which necessitates further work to establish breed-specific predispositions and the extent of the influence of zoohygienic conditions within a particular farm and breed.

Keywords: cows, cattle, orthopedics, limb pathologies, bursitis

Acknowledgments. The research was supported by the Russian Science Foundation (Project No. 26-26-20079) and the Government of the Sverdlovsk Region (RNTF, Agreement No. 21-26-MG, Project No. 26-26-20079).

For citation: Bykova O. A., Shakirov V. E., Nefedov A. I., Yaryshkin A. A. Prevalence of limb pathologies in cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1666–1674. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1666-1674>. (In Russ.)

Date of paper submission: 19.06.2026, **date of review:** 31.07.2026, **date of acceptance:** 19.08.2026.

Постановка проблемы (introduction)

В условиях современного продуктивного животноводства перед ветеринарными специалистами все чаще встает задача не только сохранения здоровья поголовья в целом, но и нахождения наиболее оптимальных способов борьбы с наиболее распространенными частными патологиями. В связи с этим регулярная профилактика таких патологий подразумевает не только изучение возможных мер предупреждения, но и систематический анализ их распространенности, причин возникновения и эффективности проводимого лечения в условиях отдельных животноводческих предприятий [1]. В связи с этим все большую актуальность приобретают накопление и статистический анализ данных о наиболее распространенных патологиях, непосредственно влияющих на продуктивность молочного скота, их причинах, а также генетической обусловленности [2].

Крупный рогатый скот голштинской породы на протяжении длительного времени остается одним из наиболее востребованных в молочном животноводстве во всем мире. Наряду с этим зоотехническая и ветеринарная работа, направленная на сохранение чистоты породных линий, напрямую влияет не только на продуктивность, но и на predisposed и устойчивость к различным заболеваниям. Среди наиболее распространенных заболеваний, влияющих на продуктивность и имеющих генетическую обусловленность, находятся ортопедические патологии конечностей [3; 4].

Согласно данным ряда авторов, в некоторых хозяйствах ортопедические патологии могут поражать до 80 % поголовья, что приводит к снижению надоев в половине регистрируемых случаев [5; 6]. При этом наблюдается породная предрасположенность, отмечается зависимость от сезонности, этапа технологического цикла и условий содержания. На-

личие ортопедических патологий конечностей также приводит к более ранней выбраковке животных на разных этапах [7; 8]. В ряде работ отмечается, что эта причина является наиболее частой наряду с акушерской патологией и коррелирует с уровнем инбридинга. Профилактика ортопедических патологий в условиях отдельных хозяйств требует детального анализа не только зоогигиенических условий содержания и ветеринарного сопровождения, но и выявления породных особенностей животных и их генетической предрасположенности к болезням конечностей с целью достижения максимальной эффективности [9; 10].

Наличие различных хирургических патологий, в том числе патологий конечностей, также нередко приводит к выбраковке животных в раннем возрасте, чем наносит значительный экономический ущерб. На примере некоторых хозяйств показано, что доля таких случаев в группе молодняка может достигать 13,54 % от всех ветеринарных патологий [11]. Генетически обусловленные аномалии внутриутробного развития в данной возрастной группе являются основной причиной, оказывающей критическое влияние на развитие опорно-двигательного аппарата и дальнейшую животноводческую эксплуатацию [12; 13].

В ряде хозяйств отмечается неодинаковая частота встречаемости различных патологий конечностей. В то же время наблюдается недостаток данных о взаимосвязи таких патологий и генетической предрасположенности к ним [14; 15]. В связи с выше сказанным отмечается высокое влияние патологий конечностей на молочную продуктивность крупного рогатого скота в разных технологических периодах и экономическую эффективность животноводческих предприятий [16–18]. Изучение условий содержания, генетической предрасположенности и распространенности патологий конечностей позволяет проводить узконаправленную профилактику классическими и инновационными методами в условиях отдельного хозяйства, что напрямую отражается в количестве и качестве получаемой продукции и на экономической эффективности хозяйства в целом [19–21].

Методология и методы исследования (Methods)

В качестве материала для исследования выступает поголовье крупного рогатого скота голштинской породы ($n = 275$), содержащегося в учебно-опытном хозяйстве ФГБОУ ВО Уральский ГАУ. Животные находятся на привязном содержании с регулярным моционом в летний период на территории хозяйства. Кормление животных в зимний период осуществляется силосно-сенажной смесью, в летний – сенажом и зелеными кормами, для каждого животного оборудованы индивидуальные поилки. Доеение осуществляется в молокопровод вакуумными аппаратами. В животноводческих по-

мещениях бетонное напольное покрытие, в качестве подстилки используется опил хвойных пород. На предприятии проводится плановая вакцинация, регулярная ортопедическая обработка и дезинфекция копыт.

В процессе исследования проведен ортопедический осмотр с фотофиксацией текущего поголовья разных технологических групп на предмет наличия и стадийности патологий конечностей, а также зоогигиенический анализ условий содержания. В процессе ортопедического осмотра поэтапно изучали состояние копытного рога, подошвы, кожи венчика, расстояние межкопытной щели, состояние связок и сухожилий пясти и плюсны, предплечья и голени, плеча и бедра. Отдельное внимание было уделено наличию, стадийности и локализации бурситов суставов конечностей, особенностям постановки в зависимости от технологического цикла.

Результаты наблюдений вносили в таблицу. Количественные данные обработаны статистическим методом с использованием статистических методов с применением программного обеспечения Microsoft Excel и StatSoft Statistica.

Результаты (Results)

При обследовании поголовья было установлено, что в 28 % случаев у животных не обнаруживаются клинических признаков болезней конечностей, наибольшая доля здоровых животных при этом приходится на молодняк, среди поголовья которого доля здоровых животных составляет 97,5 %. В свою очередь, наиболее часто встречаются животные, имеющие одну или две патологии конечностей: 25,81 % и 24 % соответственно. Такое распределение характерно для сухостоя, дойного и родильного отделений (таблица 1).

Таким образом, была выявлена зависимость от технологического цикла. Наибольшее количество животных, имеющих одну или две патологии, встречается в родильном отделении и составляет 65,71 %. В сухостойной группе доля таких животных несколько меньше и составляет 60,86 %, а в группе дойного поголовья – 58,28 %. В свою очередь, в группе молодняка только у 2,5 % обследованных животных обнаруживаются признаки болезней конечностей, что говорит о явной возрастной прогрессии и влиянии этапа технологического цикла на распространенность (таблица 2).

Также при осмотре дойного поголовья было выявлено, что в этой группе наибольшая частота встречаемости животных с тремя-четырьмя, а также пятью и более патологиями конечностей (24,53 % и 7,97 % соответственно). В других технологических группах три или четыре патологии либо встречаются редко (14,28 % в родильном отделении и 17,39 % в группе сухостоя), либо не обнаружены совсем (молодняк), а наличие пяти или более патологий характерно только для данной группы (таблица 2).

Таблица 1

Ортопедическая заболеваемость поголовья коров

Результат обследования	Количество, гол.	Процент, %*
Здоровы	77	28
Обнаружена одна ортопедическая патология	71	25,81
Обнаружено две ортопедических патологии	66	24
Обнаружено три ортопедических патологии	32	11,63
Обнаружено четыре ортопедических патологии	16	5,81
Обнаружено пять ортопедических патологий	4	1,14
Обнаружено шесть и более ортопедических патологий	9	3,27

Примечание. В таблице приведены данные целевого ортопедического осмотра. * Процент от всего обследованного поголовья без детализации по возрасту и этапу технологического цикла.

Table 1

Orthopedic morbidity in the cow herd

The examination result	Quantity, heads	Percentage, %*
Healthy	77	28
One orthopedic pathology has been detected	71	25.81
Two orthopedic pathologies have been detected	66	24
Three orthopedic pathologies have been detected	32	11.63
Four orthopedic pathologies have been detected	16	5.81
Five orthopedic pathologies have been detected	4	1.14
Six or more orthopedic pathologies have been detected	9	3.27

Note. The table presents data from a targeted orthopedic examination. * Percentage of the total examined population, without detailed breakdown by age and stage of the technological cycle.

Таблица 2

Ортопедическая заболеваемость коров в различных технологических группах

Группа	Всего, гол.	Здоровые, гол.	Одна или две патологии, гол.	Три или четыре патологии, гол.	Пять и более патологий, гол.
Родильное отделение	35 12,72 %*	7 20 %**	23 65,71 %	5 14,28 %	0 0,0 %
Сухостойные коровы	23 8,36 %*	5 21,73 %	14 60,86 %	4 17,39 %	0 0,0 %
Дойное поголовье	163 59,27 %*	28 17,17 %	95 58,28 %	40 24,53 %	13 7,97 %
Молодняк	40 14,54 %*	39 97,5 %	1 2,5 %	0 0,0 %	0 0,0 %

Примечание. Обследованы следующие технологические группы: родильное отделение, сухостой, дойное поголовье и молодняк.

* Указана доля от всего обследованного поголовья.

** Указано процентное соотношение внутри группы технологического цикла.

Table 2

Orthopedic morbidity in cows across different technological groups

Group	Total, heads	Healthy, heads	One or two pathologies, heads	Three or four pathologies, heads	Five or more pathologies, heads
Maternity ward	35 12.72 %*	7 20 %**	23 65.71 %	5 14.28 %	0 0.0 %
Dry cows	23 8.36 %*	5 21.73 %	14 60.86 %	4 17.39 %	0 0.0 %
Dairy stock	163 59.27 %*	28 17.17 %	95 58.28 %	40 24.53 %	13 7.97 %
Young stock	40 14.54 %*	39 97.5 %	1 2.5 %	0 0.0 %	0 0.0 %

Note. The following technological groups were examined: the maternity ward, dry cows, milking stock, and young stock.

* The share of the total examined stock is indicated.

** The percentage ratio within the group of the technological cycle is indicated.

При более детальном изучении было выявлено, что наиболее распространенной патологией является бурсит запястного сустава, обнаруженный в 45,45 % случаев. На втором месте по встречаемо-

сти – бурситы заплюсневой сустава, обнаруженные в 37,08 % случаев. При этом иные наблюдаемые патологии, связанные с зооигиеническими условиями и имеющие генетическую предраспо-

ложенность, такие как бурситы локтевых суставов и воспаление венчика копыта на тазовых конечностях имеют сравнительно меньший процент встречаемости или не обнаружены совсем (таблица 3).

При этом среди патологий дистального отдела наибольшую встречаемость имеют увеличение копытной щели на грудных конечностях (18,53 % случаев) и зацепы копытцев, подавляющее боль-

шинство из которых (86,48 %) локализуется на грудных конечностях. В свою очередь, копытная гниль, ламинит и воспаление венчика суммарно составляют менее 3 % обнаруженных патологий, что является признаком высокой эффективности проводимых на хозяйстве ортопедических обработок и дезинфекции.

Таблица 3

Распространенность ортопедических патологий поголовья учебно-опытного хозяйства

Обнаруженные патологии	Количество, гол.	Процент*
Разрастание копытного рога тазовых конечностей	37	13,45
Разрастание копытного рога грудных конечностей	4	1,45
Бурсит запястного сустава левой грудной конечности	61	22,18
Бурсит запястного сустава правой грудной конечности	64	23,27
Бурсит заплюсневое сустава правой тазовой конечности	51	18,54
Бурсит заплюсневое сустава левой тазовой конечности	51	18,54
Бурсит локтевого сустава левой грудной конечности	0	0
Бурсит локтевого сустава правой грудной конечности	0	0
Бурсит коленного сустава правой тазовой конечности	3	1,09
Бурсит коленного сустава левой тазовой конечности	1	0,36
Зацепы на грудных конечностях	64	23,27
Зацепы на тазовых конечностях	10	3,63
Увеличение межкопытной щели на левой грудной конечности	24	8,72
Увеличение межкопытной щели на правой грудной конечности	27	9,81
Увеличение межкопытной щели на правой тазовой конечности	18	6,54
Увеличение межкопытной щели на левой тазовой конечности	13	4,72
X-образная постановка тазовых конечностей	3	1,09
Воспаление венчика на грудных конечностях	3	1,09
Воспаление венчика на тазовых конечностях	0	0
Копытная гниль	3	1,09

Примечание. Приведены количественные данные без привязки к конкретным животным.

* Процент от всего обследованного поголовья без детализации по возрасту и этапу технологического цикла.

Table 3

Prevalence of orthopedic pathologies in the livestock of the educational and experimental farm

Detected pathologies	Quantity, heads	Percentage*
Overgrowth of the hoof horn of the pelvic limbs	37	13.45
Overgrowth of the hoof horn of the thoracic limbs	4	1.45
Bursitis of the carpal joint of the left thoracic limb	61	22.18
Bursitis of the carpal joint of the right thoracic limb	64	23.27
Bursitis of the tarsal joint of the right pelvic limb	51	18.54
Bursitis of the tarsal joint of the left pelvic limb	51	18.54
Bursitis of the elbow joint of the left thoracic limb	0	0
Bursitis of the elbow joint of the right thoracic limb	0	0
Bursitis of the knee joint of the right pelvic limb	3	1.09
Bursitis of the knee joint of the left pelvic limb	1	0.36
Hooks on the thoracic limbs	64	23.27
Hooks on the pelvic limbs	10	3.63
Increase in the interdigital space on the left thoracic limb	24	8.72
Increase in the interdigital space on the right thoracic limb	27	9.81
Increased interdigital space on the right pelvic limb	18	6.54
Increased interdigital space on the left pelvic limb	13	4.72
X-shaped positioning of the pelvic limbs	3	1.09
Inflammation of the coronary band on the thoracic limbs	3	1.09
Inflammation of the coronary band on the pelvic limbs	0	0
Hoof rot	3	1.09

Note. Quantitative data are provided without reference to specific animals.

* The percentage of the total surveyed livestock, without detailed breakdown by age and stage of the technological cycle.



Рис. 1. Образование дополнительных пальцев на тазовой конечности коровы
 Fig. 1. The formation of additional toes on the pelvic limb of a cow

Кроме того, встречаются единичные случаи (менее 1 %) бурсита коленного сустава в острой форме. При осмотре поголовья также обнаружены случаи явной аномалии внутриутробного развития, проявляющейся в виде дополнительных пальцев на одной из тазовых конечностей. Частота таких случаев также составила менее 1 % (рис. 1).

Низкая частота встречаемости избыточного разрастания копытного рога (13,45 % на тазовых конечностях и 1,45 % на грудных конечностях), вероятно, также обусловлена регулярной гигиенической расчисткой и обрезкой копыт, проводимой на хозяйстве. Кроме того, остается невыясненной доля влияния применяемого на хозяйстве объема моциона. Искривление конечностей, обнаруженное у 3 голов (1,09 % обследованных животных), все из которых находятся в родильном отделении и группе сухостоя и имеют сочетанные патологии, также требует дополнительных исследований генетической и зоогигиенической обусловленности в рамках конкретной породы.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Исходя из полученных данных, следует заключить, что наиболее частой патологией, встречающейся в рамках поголовья исследованного хозяйства, является бурсит запястных и заплюсневых суставов. Выявленные в ходе работы особенности распространенности бурситов свидетельствуют о низком качестве материала подстилки и нерегулярной замене, а также недостатке моциона. В свою очередь, низкая частота встречаемости копытной гнили и воспаления венчика говорит о высокой эффективности проводимых на хозяйстве профилактических мероприятий [1–5].

Полученные в ходе работы данные частично согласуются с результатами других исследований. Таким образом, в ряде хозяйств основной ортопедической проблемой становятся язвы Рустергольца, травматические поражения копыт, копытная гниль и ламиниты. Бурситы, как правило, составляют менее 20 % от общего количества патологий, а случаи аномалий внутриутробного развития не фиксируются. В проведенном нами исследовании основной патологией являются бурситы запястных и заплюсневых суставов, что следует рассматривать как особенности зоогигиенических условий, а также установить влияние породной предрасположенности. В большинстве актуальных работ не указывается количество сочетанных патологий, в том числе ортопедических, у отдельных животных, а также влияние такой ситуации на хозяйственную эффективность животных. Данные взаимосвязи требуют дальнейшего изучения в возрастном аспекте [6–10].

В свою очередь, по результатам исследования ортопедические патологии наиболее распространены среди взрослого поголовья, что также согласуется с данными других исследователей и говорит о значительном влиянии зоогигиенических условий на всем протяжении эксплуатации животных в хозяйстве. Отдельного внимания при дальнейшей разработке темы заслуживают установление породной предрасположенности и влияния инбридинга внутри хозяйства на распространенность и течение болезней конечностей у данной породы крупного рогатого скота, а также дальнейший мониторинг с целью установления частоты встречаемости аномалий внутриутробного развития [11–15].

Обнаруженная картина распространенности и локализации патологий конечностей в очередной раз обращает внимание на необходимость регулярного мониторинга зоогигиенических условий на промышленных хозяйствах и подчеркивает эффективность плановой дезинфекции, ортопедической обработки копыт и важности регуляции моциона [16–21]. Дальнейшие исследования по установлению породной предрасположенности голштинского скота к патологиям конечностей позволят не только рационально корректировать зоотехническую работу в рамках отдельных хозяйств, но и проводить своевременную узконаправленную ветеринарную профилактику. На основании проведенного осмотра и анализа количественных данных можно сделать следующие выводы:

1. В условиях учебно-опытного хозяйства Уральского ГАУ наиболее часто встречающейся патологией конечностей являются бурситы, локализующиеся преимущественно в области запястных и заплюсневых суставов.

2. Наиболее часто у обследованных животных обнаруживается одна или две сочетанные патологии.

гии. Больше их количество (три и более) обнаруживается только в группе дойного поголовья.

3. Среди молодняка на исследуемом хозяйстве наблюдается наименьшее количество патологий конечностей, что указывает на тесную взаимосвязь с возрастом и технологическим циклом.

4. Случаи явных нарушений внутриутробного развития в данном хозяйстве носят единичный ха-

рактер, что требует ряда дальнейших наблюдений и исследований.

5. Случаи заболеваний копыт в обследованном хозяйстве также носят единичный характер, что расходится с данными других исследователей и свидетельствует о высоком качестве комплекса проводимой ортопедической профилактики.

Библиографический список

1. Батраков А. Я., Виденин В. Н., Сердюк Г. Н., Иванов Ю. В. Пути повышения резистентности организма голштинизированного отечественного поголовья коров // Ветеринария. 2017. № 12. С. 11–13.
2. Четвертакова Е. В., Алексеева Е. А., Назарченко О. В. [и др.] Устойчивость крупного рогатого скота красноярского края к наследственно-средовым болезням в условиях промышленной технологии // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12. С. 219–226. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-219-226.
3. Шендаков А. И. Результаты селекции черно-пестрого скота при использовании потенциала голштинской породы // Вестник аграрной науки. 2020. № 5 (86). С. 107–114. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.5.107.
4. Глазунов Ю. В. Распространение ортопедических патологий у крупного рогатого скота в ООО «Земля» Тюменской области // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2014. № 4 (27). С. 22–25.
5. Stoddard G. C., Cramer G. A. Review of the Relationship Between Hoof Trimming and Dairy Cattle Welfare // Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 2017. Vol. 33, No. 2. Pp. 365–375. DOI: 10.1016/j.cvfa.2017.02.012.
6. Dmitrieva O., Polovintseva T., Kozlovskaya A., Shcherbakova N. Diseases of cattle hooves “ОАО Ударики, Безжанитский район” Pskov region // Chronos: Natural and Technical Sciences. 2021. No. 6. Pp. 22–26. DOI: 10.52013/2712-9691-34-1-4.
7. Коломийцев С. М. Видовая структура и инцидентность регистрации хирургических болезней дистальной части конечностей у коров // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 118–124.
8. Марьин Е. М. Болезни копыт у коров различных пород // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2011. № 2 (30). С. 104–105.
9. Недашковский И. С. Причины выбытия голштинизированного черно-пестрого и голштинского скота в зависимости от уровня инбридинга // Вестник КрасГАУ. 2024. № 7 (208). С. 116–122. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-116-122.
10. Ненашев И. В., Хакимов И. Н. Профилактическая диспансеризация молочных коров при патологиях дистального отдела конечностей // Аграрный вестник Северного Кавказа. 2025. № 15 (3). С. 23–34. DOI: 10.31279/2949-4796-2025-15-3-23-34.
11. Ненашев И. В. Распространенность ортопедических болезней дистального отдела конечностей у крупного рогатого скота в зависимости от условий содержания // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4. С. 103–108. DOI: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-103-108.
12. Семенов Б. С., Виденин В. Н., Батраков А. Я. Структура болезней конечностей у коров в промышленных комплексах, их этиология и лечение // Международный вестник ветеринарии. 2018. № 2. С. 122–129.
13. Шендаков А. И. Основные Причины выбраковки коров в племенных стадах чёрно-пестрого скота Орловской области // Вестник аграрной науки. 2022. № 1 (94). С. 65–70. DOI: 10.17238/ISSN2587-666X.2022.1.65.
14. Антонов М. В., Крупин Е. О. Анализ причин выбраковки молодняка крупного рогатого скота и установление взаимосвязи с возрастом животных // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2025. № 262 (2). С. 86–92. DOI: 10.31588/2413_4201_1883_2_262_86.
15. Ненашев И. В., Марьин Е. М., Марьина О. Н. Ортопедическая заболеваемость голштинизированных коров в условиях беспривязного содержания // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (44). С. 190–194. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-4-190-194.
16. Сайтханов Э. О., Беседин Д. С. Ортопедическая диспансеризация коров и анализ эффективности ветеринарно-санитарных мероприятий по профилактике болезней копыт // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2019. № 2 (42). С. 156–161.
17. Warner G. D. Bovine lameness from the ground up // Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice. 2024. Vol. 40, Iss. 1. Pp. 81–109. DOI: 10.1016/j.cvfa.2023.08.003.

18. Шубина Т. П., Золотарев С. П., Немченко А. А. Заболевания конечностей у крупного рогатого скота и современные методы их лечения // Международный научно-исследовательский журнал. 2026. № 3 (165). DOI: 10.60797/IRJ.2026.165.27.

19. Саприкина Т. Ю., Криворучко А. Ю., Скокова А. В. Генетические аномалии крупного рогатого скота (обзор) // Сельскохозяйственный журнал. 2022. № 2 (15). С. 92–102. DOI: 10.25930/2687-1254/011.2.15.2022.

20. Мартынов Н. А., Зайцева О. С., Соколова О. В., Зубарева В. Д. Анализ частот распространения CVM, BY, BLAD в популяциях крупного рогатого скота // Инновации и продовольственная безопасность. 2024. № 4 (42). С. 119–128. DOI: 10.31677/2311-0651-2023-42-4-119-128.

21. Безбородова Н. А., Соколова О. В., Мартынов Н. А. Молекулярно-генетический мониторинг наследственных аномалий у крупного рогатого скота: гипотрихоз, идиопатическая эпилепсия и дилатор-фенотип (обзор) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55, № 12. С. 86–93. DOI: 10.26898/0370-8799-2025-12-9.

22. Ball K. Electronic monitoring and surveillance in the workplace // Publications Office of the European Union. 2021. DOI: 10.2760/5137.

Об авторах:

Ольга Александровна Быкова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 000-0002-0753-1539, AuthorID 663503. E-mail: olbyk75@mail.ru

Вячеслав Евгеньевич Шакиров, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры морфологии и экспертизы, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-6511-4701, AuthorID 1053813. E-mail: shakirov_ve@urgau.ru

Артем Иванович Нефедов, преподаватель кафедры морфологии и экспертизы, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0007-2970-0800, AuthorID 1234277. E-mail: artyom.nefyodoff@yandex.ru

Андрей Александрович Ярышкин, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-9215-5952, AuthorID 777264. E-mail: x2580x@yandex.ru

References

1. Batrakov A. Ya., Videnev V. N., Serdyuk G. N., Ivanov Yu. V. Methods of improving native Holstein half-breeds cows resistance. *Veterinary Medicine*. 2017; 12: 11–13. (In Russ.)

2. Chetvertakova E. V., Alekseeva E. A., Nazarchenko O. V., Lushchenko A. E., Zhilyakova G. M., Kolesnikov V. A. Cattle resistance of the Krasnoyarsk region to hereditary-environmental diseases under industrial technology. *Bulletin of KSAU*. 2021; 12: 219–226. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-219-226. (In Russ.)

3. Shendakov A. I. The black-and-white cattle breeding results when using the potential of Holstein breed. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; 5 (86): 107–114. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.5.107. (In Russ.)

4. Glazunov Yu. V. Prevalence of orthopedic pathologies in cattle at LLC “Zemlya” in the Tyumen Region. *Bulletin of Northern Trans-Ural state agricultural university*. 2014; 4(27): 22–25. (In Russ.)

5. Stoddard G. C., Cramer G. A. Review of the relationship between hoof cleaning and the welfare of dairy cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2017; 33 (2): 365–375. DOI: 10.1016/j.cvfa.2017.02.012.

6. Dmitrieva O., Polovintseva T., Kozlovskaya A., Shcherbakova N. Diseases of cattle hooves in JSC Udarnik, Bezhanitsky district, Pskov region. *Chronos: Natural and Technical Sciences*. 2021; 6: 22–26. DOI: 10.52013/2712-9691-34-1-4.

7. Kolomiitsev S. M. Species structure and incidence of registration of surgical diseases of the distal extremities in cows. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2018; 4: 118–124. (In Russ.)

8. Maryin E. M. Diseases of the hooves in cows of various breeds. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2011; 2 (30): 104–105. (In Russ.)

9. Nedashkovsky I. S. Reasons for holsteinized black-and-white and holstein cattle dismissal depending on the inbreeding level. *Bulletin of KSAU*. 2024; 7 (208): 116–122. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-7-116-122. (In Russ.)

10. Nenashev I. V., Khakimov I. N. Preventive dispensation of dairy cows with pathologies of the distal extremities. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025; 15 (3): 23–34. DOI: 10.31279/2949-4796-2025-15-3-23-34. (In Russ.)

11. Nenashev I. V. The prevalence of orthopedic diseases of the distal extremities in cattle depending on housing conditions. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2024; 4: 103–108. DOI: 10.55170/1997-3225-2024-9-4-103-108. (In Russ.)
12. Semenov B. S., Videnev V. N., Batrakov A. Ya. Etiology and treatment of extremities cows structure diseases in industrial complexes. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2018; 2: 122–129. (In Russ.)
13. Shendakov A. I. Main reasons for culling cows in breeding herds of black-and-white cattle in the Orel region. *Bulletin of Agrarian Science*. 2022; 1 (94): 65–70. DOI: 10.17238/ISSN2587-666X.2022.1.65. (In Russ.)
14. Antonov M. V., Krupin E. O. Analysis of the reasons for culling of young calves and establishment of a relationship with the age of animals. *Scientific Notes of Kazan Bauman Academy of Veterinary Medicine*. 2025; 262 (2): 86–92. DOI: 10.31588/2413_4201_1883_2_262_86. (In Russ.)
15. Nenashev I. V., Maryin E. M., Maryina O. N. Orthopedic morbitability of holsteinized cows in the conditions of loose housing. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018; 4 (44): 190–194. DOI: 10.18286/1816-4501-2018-4-190-194. (In Russ.)
16. Saytkhanov E. O., Besedin D. S. Orthopedic medical examination of cows and analysis of the efficiency of veterinary and sanitary actions for prevention of diseases of hooves. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2019; 2 (42): 156–161. (In Russ.)
17. Warner G. D. Lameness in cattle: causes and treatment. *Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. 2024; 40 (1): 81–109. DOI:10.1016/j.cvfa.2023.08.003.
18. Shubina T. P., Zolotaryov S. P., Nemchenko A. A. Limb diseases in cattle and modern methods of treatment. *International Research Journal*. 2026; 3 (165). DOI: 10.60797/IRJ.2026.165.27. (In Russ.)
19. Saprikina T. Yu., Krivoruchko A. Yu., Skokova A. V. Genetic anomalies of cattle (review). *Agricultural Journal*. 2022; 2 (15): 92–102. DOI: 10.25930/2687-1254/011.2.15.2022. (In Russ.)
20. Martynov N. A., Zaytseva O. S., Sokolova O. V., Zubareva V. D. Analysis of the frequency of distribution of CVM, BY BLAD in cattle populations. *Innovations and Food Safety*. 2024; 4 (42): 119–128. DOI: 10.31677/2311-0651-2023-42-4-119-128. (In Russ.)
21. Bezborodova N. A., Sokolova O. V., Martynov N. A. Molecular genetic monitoring of hereditary abnormalities in cattle: hypotrichosis, idiopathic epilepsy and dilutor phenotype (review). *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2025; 12 (325): 86–93. DOI: 10.26898/0370-8799-2025-12-9. (In Russ.)
22. Ball K. Electronic monitoring and workplace surveillance. *Publications Office of the European Union*. 2021. DOI: 10.2760/5137.

Authors' information:

Olga A. Bykova, doctor of agricultural sciences, professor at the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 000-0002-0753-1539, AuthorID 663503.
E-mail: olbyk75@mail.ru

Vyacheslav E. Shakirov, candidate of veterinary sciences, associate professor at the department of morphology and expertise, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-6511-4701, AuthorID 1053812. E-mail: shakirov_ve@urgau.ru

Artem I. Nefedov, lecturer at the department of morphology and expertise, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0007-2970-0800, AuthorID 1234277. E-mail: artyom.nefyodoff@yandex.ru

Andrey A. Yaryshkin, candidate of biology sciences, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-9215-5952, AuthorID 777264. E-mail: x2580x@yandex.ru

Гистоморфометрические особенности железистого и мышечного отделов желудка цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308 в период выращивания

М. А. Дерхо¹✉, С. А. Гриценко¹, П. В. Бурков¹, Ю. В. Матросова¹, М. Б. Ребезов²

¹ Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия

✉ E-mail: derkho2010@yandex.ru

Аннотация. Актуальность. Сведения о гистоморфологических особенностях желудка птиц фрагментарны и недостаточно детализированы в отношении возрастной динамики и межкроссовых различий. При этом они являются основополагающими при разработке подходов к повышению продуктивности птицы, что определяет актуальность их изучения. **Методы.** Объект исследования – цыплята-бройлеры кроссов Смена 9 и Росс 308 в периоды промышленного выращивания. Материал исследования – железистый и мышечный отделы желудка 10-, 21- и 32-суточных цыплят, морфогенез которых оценен при помощи гистологических, морфометрических и статистических методов. **Научная новизна.** Впервые проведена комплексная сравнительная гистоморфометрическая оценка желудка бройлеров двух кроссов в критические возрастные точки с количественным определением вклада возрастного и генетического факторов в изменчивость структурных параметров. **Результаты.** Траектория морфогенеза желудка у цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308, формирующаяся на фоне сопоставимого прироста живой массы, сопряжена с кроссовым фактором. Типовая гистоархитектоника отделов желудка сохраняется в период выращивания, возрастные изменения носят преимущественно количественный характер. Межкроссовые морфометрические различия проявляются уже в 10-суточном возрасте. У кросса Росс 308 с возрастом сбалансированно изменяются структурные компоненты железистого и мышечного отделов желудка на фоне усиления секреторного компонента; у кросса Смена 9 на ранних этапах выращивания приоритетно развитие железистого отдела, а на более поздних – лимфоидной ткани при отставании формирования кутикулы. Статистический анализ подтвердил доминирующую роль возраста как фактора изменчивости морфометрических показателей ($\eta^2 > 80...99\%$, $\eta = 0,63...1,00$; $p \leq 0,001$). Значимость фактора «кросс» возрастает к 21–32 суткам выращивания. Симметричность распределения данных обосновывает применение параметрических методов анализа и использование средних значений как репрезентативных характеристик выборок. Установленные различия в траекториях морфогенеза у кроссов Смена 9 и Росс 308 позволяют рассматривать морфометрические показатели как объективные маркеры функциональной зрелости и адаптационного потенциала органа.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, железистый и мышечный желудок, кросс, возраст, гистология, морфометрия, статистические взаимосвязи

Благодарности. Исследования выполнены в рамках регионального конкурса Российского научного фонда 2025 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» (соглашение № 26-16-20003 от 12.05.2026 г).

Для цитирования: Дерхо М. А., Гриценко С. А., Бурков П. В., Матросова Ю. В., Ребезов М. Б. Гистоморфометрические особенности железистого и мышечного отделов желудка цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308 в период выращивания // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1675–1703. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1675-1703>.

Дата поступления статьи: 07.06.2026, **дата рецензирования:** 04.07.2026, **дата принятия:** 05.08.2026.

Histomorphometric features of the glandular and muscular sections of the stomach of broiler chickens of the Smena 9 and Ross 308 crosses during the rearing period

M. A. Derkho¹✉, S. A. Gritsenko¹, P. V. Burkov¹, Yu. V. Matrosova¹, M. B. Rebezov²

¹ South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

² Gorbатов Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

✉ E-mail: derkho2010@yandex.ru

Abstract. Relevance. Information about the histomorphological features of the stomach of birds is fragmentary and insufficiently detailed in relation to age dynamics and cross-border differences. At the same time, they are fundamental in the development of approaches to increasing poultry productivity, which determines the relevance of their study. **Methods.** The object of the study is broiler chickens of the Smena 9 and Ross 308 crosses during periods of industrial cultivation. The study material includes the glandular and muscular sections of the stomach of 10-, 21-, and 32-days-old chicks, whose morphogenesis was assessed using histological, morphometric, and statistical methods. **Scientific novelty.** For the first time, a comprehensive comparative histomorphometric assessment of the stomach of broilers of two crosses was performed at critical age points with quantitative determination of the contribution of age and genetic factors to the variability of structural parameters. **Results.** The trajectory of stomach morphogenesis in broiler chickens of the Smena 9 and Ross 308 crosses, which is formed against the background of a comparable increase in live weight, is associated with a crossover factor. The typical histo-architectonics of the stomach sections is preserved during rearing, age-related changes are mainly quantitative in nature. Intercrossal morphometric differences appear as early as 10 days of age. In the Ross 308 cross, the structural components of the glandular and muscular sections of the stomach change in a balanced manner with age, while the secretory component increases.; In the Smena 9 cross, the development of the glandular department is prioritized in the early stages of cultivation, and in the later stages – the lymphoid tissue with lagging cuticle formation. Statistical analysis confirmed the dominant role of age as a factor in the variability of morphometric parameters ($\eta^2 > 80...99\%$, $\eta = 0,63...1,00$; $p \leq 0,001$). The importance of the “cross” factor increases by 21–32 days of cultivation. The symmetry of the data distribution justifies the use of parametric analysis methods and the use of averages as representative characteristics of samples. The established differences in morphogenesis trajectories in the Smena 9 and Ross 308 crosses allow us to consider morphometric indicators as objective markers of functional maturity and adaptive potential of an organ.

Keywords: broiler chickens, glandular and muscular stomach, cross, age, histology, morphometry, statistical relationships

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of the Russian Science Foundation’s 2025 regional competition “Conducting fundamental scientific research and Exploratory scientific research by individual scientific groups” (Agreement No. 26-16-20003 dated 12.05.2026).

For citation: Derkho M. A., Gritsenko S. A., Burkov P. V., Matrosova Yu. V., Rebezov M. B. Histomorphometric features of the glandular and muscular sections of the stomach of broiler chickens of the Smena 9 and Ross 308 crosses during the rearing period. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1675–1703. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1675-1703>.

Date of paper submission: 07.06.2026, **date of review:** 04.07.2026, **date of acceptance:** 05.08.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В условиях промышленного выращивания цыплят-бройлеров показатели продуктивности птицы напрямую сопряжены с механизмами поддержания энергетического гомеостаза, среди которых базовым является потребление корма и преобразование его компонентов в субстраты метаболизма по-

средством функций желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) [1–5].

При этом интенсивность метаболических процессов и скорость роста бройлеров как результат покрытия энергозатрат на единицу массы тела зависят от возрастных особенностей становления функций пищеварительной системы [6–9], опреде-

ляя эффективность переваривания и скорость подготовки компонентов корма к всасыванию.

Хотя общая структура органов ЖКТ сохраняется в ходе постнатального онтогенеза, а их морфология и гистология обладают значительным сходством, но она варьирует не только между видами птиц, но и в пределах одного вида [10–13], в частности, и у цыплят-бройлеров разных кроссов. Данные различия обусловлены генетическими особенностями кроссов, спецификой кормовых рационов, а также технологическими условиями выращивания, определяющими уровень энергетических затрат и характер адаптационных процессов [14–16]. При этом изменения происходят как на уровне отдельных органов, так и их участков, определяя возможность выполнения специализированных функций по пищеварению и усвоению компонентов корма [17].

Основой данных изменений служат возрастные особенности структуры эпителия и наличие органоспецифичных типов эпителиальных клеток, благодаря которым обеспечивается «региональность» процессов пищеварения и всасывания [18]. Особое место в функционировании ЖКТ цыплят-бройлеров, как и других птиц, занимает желудок – орган, обеспечивающий комплексную подготовку корма к дальнейшему пищеварению [19; 20]. При этом он состоит из двух морфологически и физиологически обособленных отделов: железистого, обеспечивающего химическую обработку корма за счет секреции пищеварительных ферментов, и мышечного, выполняющего механическую переработку и регулирующего скорость и полноту подготовки корма к дальнейшему перевариванию в нижележащих отделах ЖКТ [21; 22]. Сложность структурной организации желудка служит проявлением морфологической и физиологической адаптации органа к специфике кормления птиц, позволяя организму обеспечивать процесс пищеварения [23; 24]. При этом гистоморфологические характеристики желудка, включая толщину мышечного слоя, плотность железистого эпителия, соотношение структурных компонентов стенки органа, являются объективными показателями морфофункциональной адаптации бройлерной птицы к условиям кормления и выращивания. Данные параметры могут существенно варьировать в зависимости от возраста, технологических условий и, что особенно важно, генетических особенностей кросса [22; 23].

Поскольку современные мясные кроссы (включая отечественные линии, например Смена 9, и зарубежные, например Росс-308) характеризуются различными темпами роста, особенностями метаболизма и требованиями к кормлению. Различия в генетической программе роста потенциально обуславливают неодинаковые адаптационные изменения в структуре органов пищеварения [24; 25], в частности, в гистоархитектонике железистого и

мышечного отделов желудка. При этом сравнительные данные по гистоморфологическим особенностям желудка у бройлеров разных кроссов в условиях промышленной технологии выращивания в литературе представлены фрагментарно.

Исследования в данном направлении обуславливают возможность использования выявленных морфологических параметров как критериев оценки адаптационного потенциала кроссов, а также для научно обоснованной корректировки рационов и технологических режимов выращивания. Кроме того, установление связи между структурными характеристиками желудка и динамикой прироста массы тела позволит выявить морфологические маркеры, отражающие эффективность реализации генетического потенциала птицы в конкретных производственных условиях.

Таким образом, сравнительная возрастная оценка гистоморфологических особенностей желудка у цыплят-бройлеров разных кроссов в условиях промышленного выращивания является актуальной задачей как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения, позволяя по-новому взглянуть на физиологичность реакции организма на технологические параметры [25–28].

Цель исследования – провести сравнительную оценку гистоморфологических характеристик железистого и мышечного отделов желудка у цыплят-бройлеров разных кроссов в условиях промышленного выращивания, а также установить взаимосвязь между выявленными морфологическими параметрами с динамикой прироста массы тела птицы.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования выполнены в 2026 году на ООО «Магнитогорский птицеводческий комплекс» (Челябинская область, Россия).

Объектом исследования являлись цыплята-бройлеры финальных гибридов кроссов Росс 308 и Смена 9, выращиваемые в условиях клеточного содержания при нормируемых технологических условиях и использовании общепринятой лечебно-профилактической схемы.

Длительность периода выращивания составила 38 суток. Кормление цыплят-бройлеров осуществлялось готовыми сухими комбикормами, производимыми на комбикормовом заводе предприятия по четырем рецептурам. Рационы включали стартовый (ПК 5), ростовые (ПК 5-2, ПК 6-1) и финишный (ПК 6-2) комбикорма, питательная ценность которых соответствовала кормовой программе предприятия.

В конце отдельных фаз кормления (в возрасте 10, 21 и 32 суток) проводили клинико-диагностическое вскрытие птицы ($n = 10$ для каждого кросса и возрастной точки). В ходе вскрытия осуществляли забор образцов для гистоморфологических исследований – фрагменты железистого и мышечного отделов желудка объемом около 1 см³, отобранные

из однотипных анатомических участков для обеспечения сопоставимости данных.

Протокол подготовки образцов был ориентирован на максимальное сохранение прижизненной морфологической структуры ткани и включал следующие этапы [29]:

1. Фиксация. Образцы фиксировали в 10-процентном нейтральном забуференном растворе формалина в течение 24 часов для остановки аутолиза и стабилизации тканевой структуры.

2. Промывка. Ее проводили в проточной воде в течение 1 часа с целью удаления избытка фиксирующего агента.

3. Проводка. Операция предусматривала поэтапное обезвоживание фрагментов органов в спиртах возрастающей концентрации (70, 80 и 96 %) с экспозицией в каждом растворе 4 часа. Далее материал подвергали пересушиванию в смеси спирта и хлороформа (1 : 1) в течение 1 часа, затем в чистом хлороформе 2 часа.

4. Заливка в парафин. Пропитку материала проводили в смеси хлороформа и парафина при температуре 37 °С в течение 1 часа, после чего выполняли пропитку двумя порциями расплавленного парафина при 56 °С (по 45 минут каждая) с последующим формированием парафиновых блоков.

5. Нарезка срезов. Из парафиновых блоков изготавливали серийные срезы толщиной 5–6 мкм. Стандартизацию толщины срезов обеспечивали при помощи санного микротомы MC-2 (Россия).

6. Депарафинизация. Перед окрашиванием парафин удаляли путем экспозиции срезов в ксилоле в течение 2 минут. Остаточные количества ксилола удаляли обработкой 96-процентным этиловым спиртом (экспозиция 2 минуты), далее препараты промывали дистиллированной водой.

7. Окрашивание. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином: наносили гематоксин с экспозицией 2–3 минуты, затем проводили промывку водой в течение 5–10 минут, после чего наносили эозин (экспозиция 1 минута) с последующей промывкой водой.

8. Обезвоживание, просветление и заключение препарата. После окрашивания препараты обезвоживали в двух порциях 96-процентного спирта (по 1 минуте), затем окончательно в 100-процентном спирте (1 минута). Просветление срезов осуществлялось в ксилоле (2 минуты). На последнем этапе окрашенные препараты заключали в канадский бальзам и накрывали покровным стеклом.

Микроскопическое исследование срезов проводили при различных увеличениях ($\times 100$; $\times 200$). Фотодокументирование осуществляли с использованием микроскопа Leica DMRXA (Германия) и цифровой камеры Leica DFC 290 (Германия), сопряженной с персональным компьютером. Морфометрическую обработку цифровых изображений

выполняли с применением программного обеспечения ImageScore S (Системы для Микроскопии и Анализа, Россия), позволяющего выполнять калибровку по шкале, использовать инструменты измерения, экспортировать результаты [30].

Статистический анализ включал расчет следующих показателей: среднего арифметического ($\bar{X}$), ошибки среднего ($\pm m$), коэффициента вариации (C_v), медианы (Me) и моды (Mo). Для межгрупповых сравнений (по возрастным группам и между кроссами) применяли t -критерий Стьюдента (td) с определением уровня статистической значимости (* $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$). Для оценки силы влияния факторов (возраст, кросс) на изучаемые признаки рассчитывали корреляционное отношение (η) и факториальную дисперсию (η^2 , %). Визуализацию результатов осуществляли посредством построения графиков возрастной динамики средних, медиан, мод и показателей вариативности, а также столбчатых диаграмм, отражающих отклонения показателей кросса Смена 9 от кросса Росс 308. Все первичные морфометрические и биометрические показатели были систематизированы в электронной таблице Microsoft Excel (версия Microsoft 365, США).

Результаты (Results)

Установлено, что у цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308 в период с 10-х по 32-е сутки выращивания происходит закономерное увеличение живой массы в 6,38 и 6,62 раза ($p \leq 0,001$) соответственно, что свидетельствует о сопоставимой динамике роста и наличии у обоих кроссов генетического потенциала к проявлению продуктивных качеств. Основой интенсивного роста птиц является обеспечение обменных процессов пластическими и энергетическими субстратами; ключевую роль в покрытии этих затрат играют органы пищеварения, обеспечивающие трансформацию питательных веществ корма в метаболически доступные формы [6; 7; 9].

Одним из основных органов пищеварения является желудок, который благодаря двухкамерному строению у птиц обеспечивает механическую подготовку и химическое расщепление компонентов корма, подготавливая его к усвоению в кишечнике [22; 31; 32]. При этом в условиях интенсивного птицеводства желудок птиц, как и другие органы ЖКТ, испытывает повышенную метаболическую нагрузку, что отражается на его возрастных гистоморфологических изменениях [33].

У цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308 гистологическое строение слизистых оболочек железистого и мышечного отделов желудка зависело от возраста.

В 10-суточном возрасте морфологическая картина железистого отдела желудка была однотипной. Поверхность слизистой оболочки представлена со-

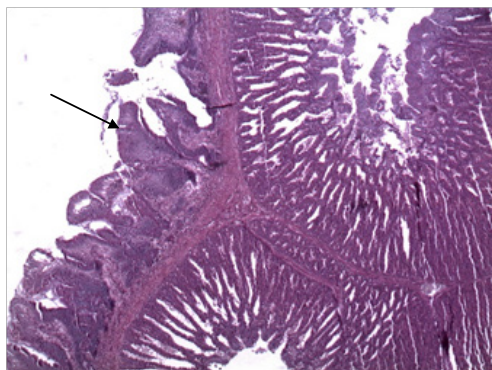
сочками, выстланными однослойным призматическим эпителием (рис. 1.1, 1.2). Сосочки образовывали простые трубчатые железы (рис. 1.3, 1.4). В подслизистом слое залегало большое количество глубоких желез альвеолярного типа, выстланных кубическим эпителием (рис. 1.5, 1.6).

Поверхность слизистой оболочки мышечного отдела желудка была покрыта кутикулой [34], которая у цыплят кросса Росс 308 имела более одно-

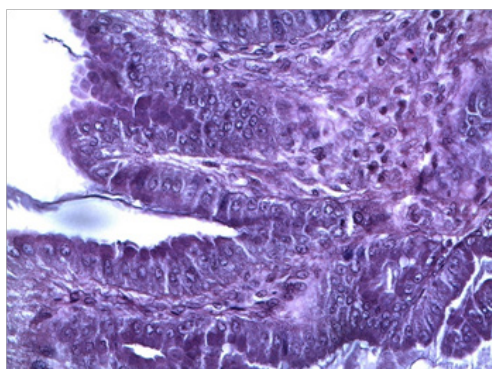
родную структуру и более равномерную толщину (рис. 2.2), чем у цыплят кросса Смена 9 (рис. 2.1).

Слизистая оболочка образовывала многочисленные складки и ямки, выстланные однослойным цилиндрическим эпителием. Желудочные железы имели такую же выстилку. В подслизистом слое встречались узелки лимфоидной ткани. Их количество на единице площади было выше у цыплят кросса Росс 308, чем у цыплят кросса Смена 9.

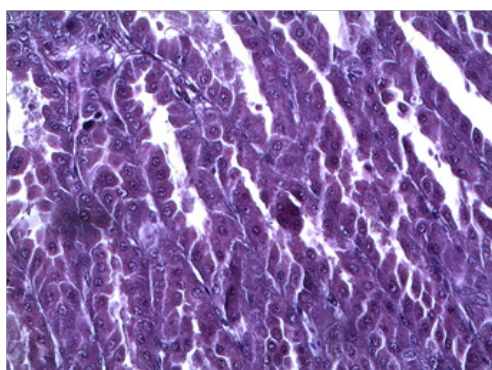
Смена 9
Smena 9



1.1

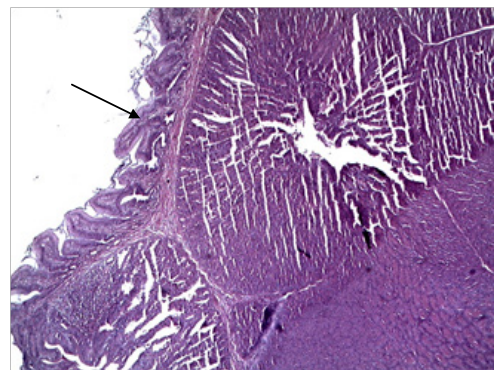


1.3

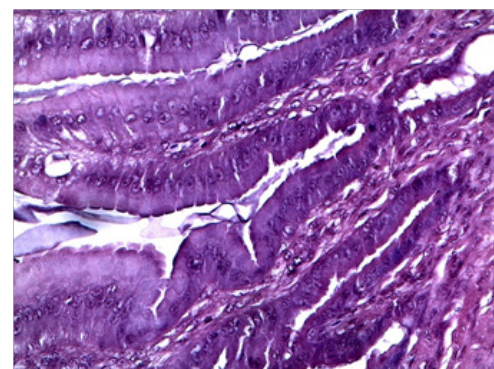


1.5

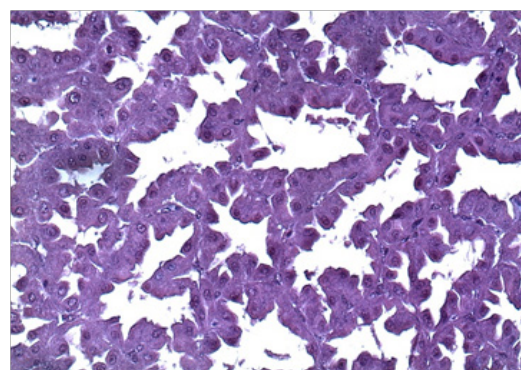
Росс 308
Ross 308



1.2



1.4



1.6

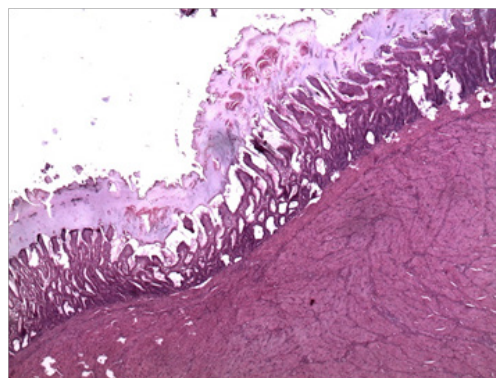
Рис. 1. Гистологическая картина в железистом желудке у бройлеров в 10-суточном возрасте: 1.1, 1.2 – слизистая оболочка (стрелки), железы альвеолярного типа (пунктирные стрелки) в подслизистой основе, ув. $\times 50$; 1.3, 1.4 – простые трубчатые железы слизистой оболочки, ув. $\times 400$; 1.5, 1.6 – железы альвеолярного типа в подслизистой основе, ув. $\times 400$. Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 1. Histological picture in the glandular stomach of broilers at 10 days of age: 1.1, 1.2 – mucous membrane (arrows), alveolar-type glands (dotted arrows) in the submucosa, magnification $\times 50$; 1.3, 1.4 – simple tubular glands of the mucous membrane, magnification $\times 400$; 1.5, 1.6 – alveolar-type glands in the submucosa, magnification $\times 400$.

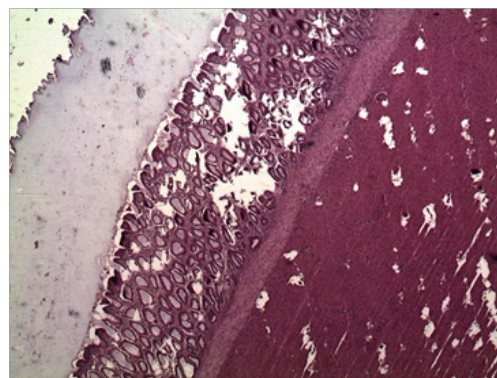
Staining by hematoxylin and eosin

Смена 9
Stena 9

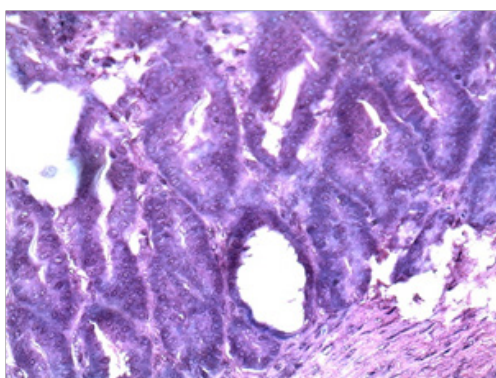
Росс 308
Ross 308



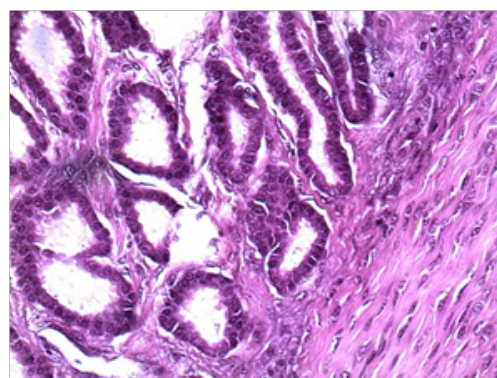
2.1



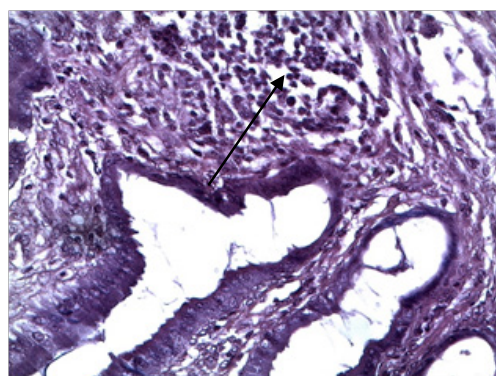
2.2



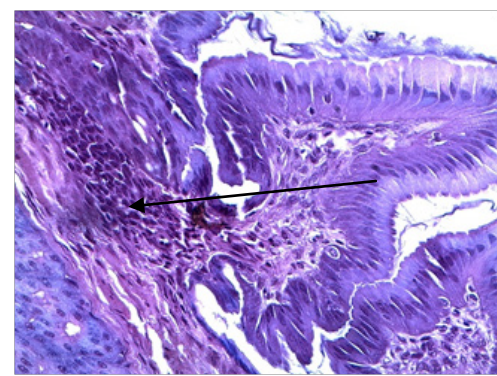
2.3



2.4



2.5



2.6

Рис. 2. Гистологическая картина в мышечном желудке у бройлеров в 10-суточном возрасте: 2.1, 2.2 – кутикула (стрелки) на поверхности слизистой оболочки, ув. $\times 50$; 2.3, 2.4 – желудочные железы простого трубчатого строения в подслизистой основе, ув. $\times 400$; 2.5 – небольшой рыхлый узелок лимфоидной ткани (стрелка) в собственной пластинке слизистой оболочки, ув. $\times 400$; 2.6 – плотный, четко очерченный узелок лимфоидной ткани (стрелка) в собственной пластинке слизистой, ув. $\times 400$. Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 2. Histological picture in the muscular stomach of broilers at 10 days of age: 2.1, 2.2 – cuticle (arrows) on the surface of the mucous membrane, magnification $\times 50$; 2.3, 2.4 – gastric glands of a simple tubular structure in the submucosa, magnification $\times 400$; 2.5 – a small loose nodule of lymphoid tissue (arrow) in its own mucus plate is the lining, magnification $\times 400$; 2.6 – is a dense, clearly defined nodule of lymphoid tissue (arrow) in its own mucosal plate, magnification $\times 400$. Staining by hematoxylin and eosin

В 21-суточном возрасте сохранялась однотипность в морфологической картине железистого отдела желудка у цыплят исследуемых кроссов. При этом по результатам обзорной микроскопии не было выявлено существенных отличий с данными 10-суточного возраста. Сосочки слизистой были выражены отчетливо, выстланы однослойным призматическим эпителием. В подслизистом слое на-

блюдалось большое количество желез альвеолярного типа, выстланных кубическим эпителием (рис. 3.1, 3.2). В некоторых препаратах был представлен фрагмент перехода пищевода в желудок в области желудочной миндалины (рис. 3.3, 3.4). Лимфоидная ткань залегала в собственной пластинке слизистой оболочки, окружая пищеводные и желудочные железы (рис. 3.3, 3.4, 3.5, 3.6).

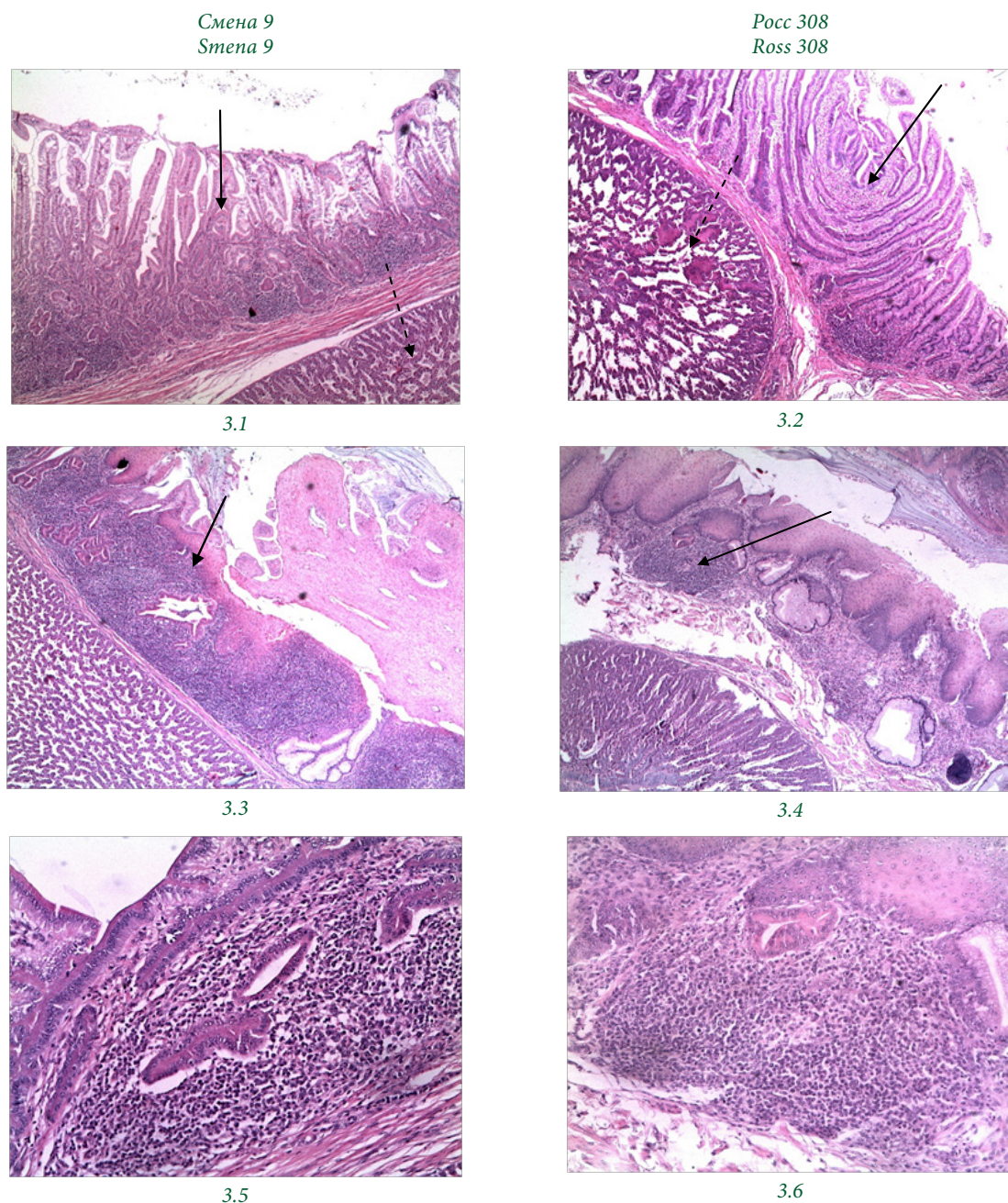


Рис. 3. Гистологическая картина в железистом желудке у бройлеров в 21-суточном возрасте: 3.1, 3.2 – слизистая оболочка (стрелки), железы альвеолярного типа (пунктирные стрелки) в подслизистой основе, ув. $\times 50$; 3.3, 3.4 – лимфоидная ткань желудочной миндалины (стрелки), ув. $\times 200$; 3.5, 3.6 – простые трубчатые железы (стрелки) окружены лимфоидной тканью, ув. $\times 400$. Окраска гематоксилином и эозином

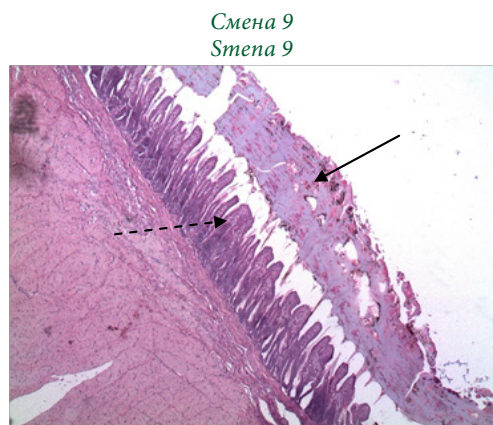
Fig. 3. Histological picture in the glandular stomach of broilers at 21 days of age: 3.1, 3.2 – mucous membrane (arrows), alveolar type glands (dotted arrows) in the submucosa, magnification $\times 50$; 3.3, 3.4 – lymphoid tissue of the gastric tonsil (arrows), magnification $\times 200$; 3.5, 3.6 – simple tubular glands (arrows) are surrounded by lymphoid tissue, magnification $\times 400$. Staining by hematoxylin and eosin

Гистологическая картина в препаратах мышечного отдела желудка у цыплят-бройлеров сравнимых кроссов в 21-суточном возрасте была однотипной. По отношению к предыдущему сроку исследования (10-суточному возрасту) увеличилась оптическая плотность кутикулы, укрывающей слизистую оболочку (рис. 4.1, 4.2). Линейные размеры всех слоев стенки были достоверно больше у цы-

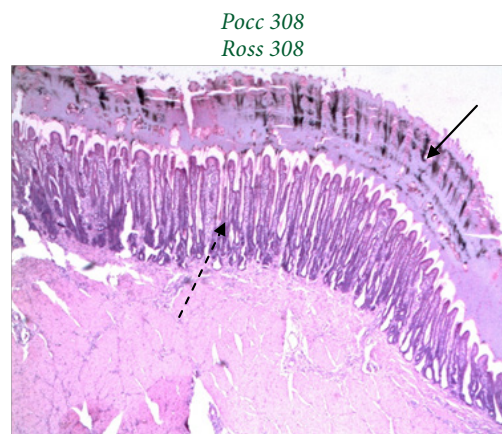
плят кросса Росс 308 по сравнению с кроссом Смена 9. Складки и ямки слизистой были выражены отчетливо, выстланы однослойным цилиндрическим эпителием. Желудочные железы имели такую же выстилку. В подслизистом слое встречались узелки лимфоидной ткани. Их количество на единице площади оставалось выше у цыплят кросса Росс 308, чем у цыплят кросса Смена 9 (рис. 4.3, 4.4).

Морфологическая картина железистого отдела желудка у цыплят исследуемых кроссов в 32-суточном возрасте характеризовалась однотипностью. По результатам обзорной микроскопии гистоло-

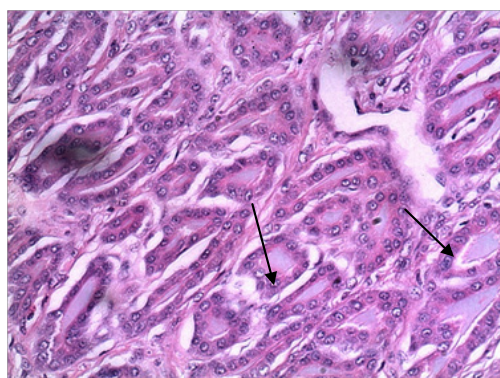
гические характеристики органа не имели существенных отличий от данных цыплят-бройлеров в 21-суточном возрасте.



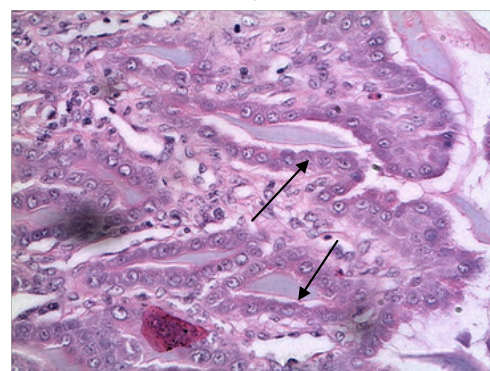
4.1



4.2



4.3

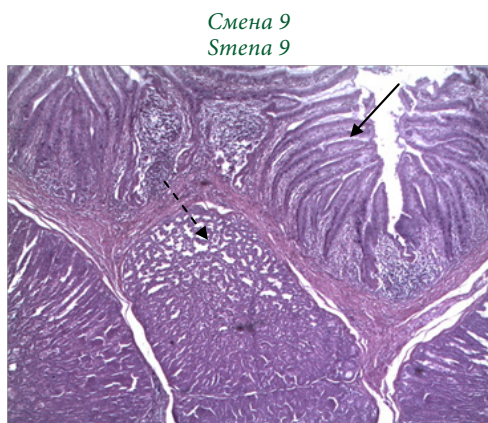


4.4

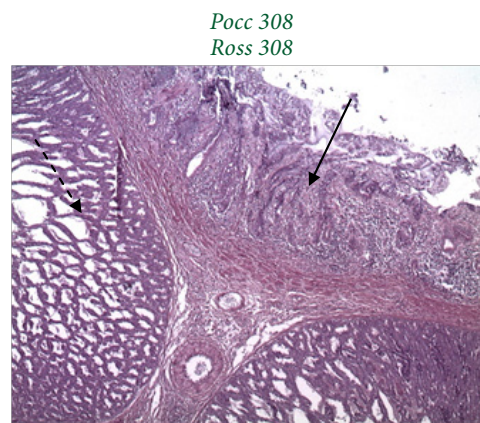
Рис. 4. Гистологическая картина в мышечном желудке у бройлеров в 21-суточном возрасте:

4.1 – кутикула (сплошная стрелка) на поверхности слизистой оболочки (пунктирная стрелка), ув. $\times 50$;
4.2 – плотная складчатая кутикула (стрелка) укрывает слизистую оболочку (пунктирная стрелка), ув. $\times 50$;
4.3, 4.4 – простые трубчатые железы поверхностных отделов слизистой оболочки заполнены белковыми массами (стрелки), формирующими кутикулу, ув. $\times 400$. Окраска гематоксилином и эозином

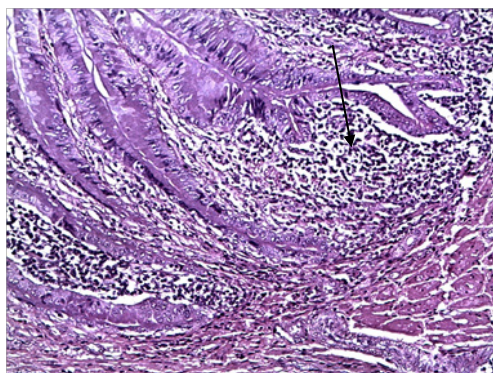
Fig. 4. Histological picture in the muscular stomach of broilers at 21 days of age: 4.1 – cuticle (solid arrow) on the surface of the mucous membrane (dotted arrow), magnification $\times 50$; 4.2 – dense folded cuticle (arrow) covers the mucous membrane (dotted arrow), magnification $\times 50$; 4.3, 4.4 – simple tubular glands of the superficial sections of the mucous membrane are filled with protein masses (arrows) forming the cuticle, magnification $\times 400$. Staining by hematoxylin and eosin



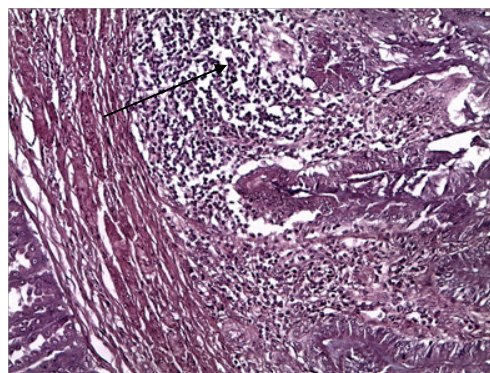
5.1



5.2



5.3

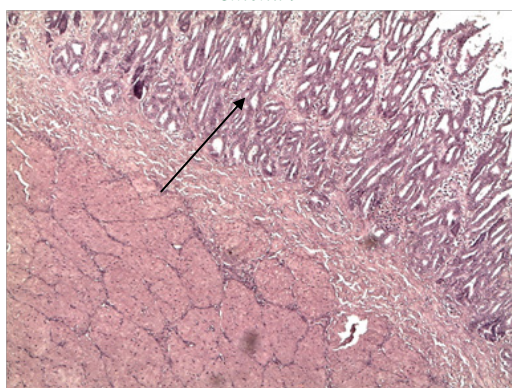


5.4

Рис. 5. Гистологическая картина в железистом желудке у бройлеров в 32-суточном возрасте: 5.1, 5.2 – слизистая оболочка (стрелки), железы альвеолярного типа (пунктирные стрелки) в подслизистой основе, ув. $\times 50$; 5.3, 5.4 – узелки лимфоидной ткани (стрелки) в подслизистом слое, ув. $\times 200$. Окраска гематоксилином и эозином

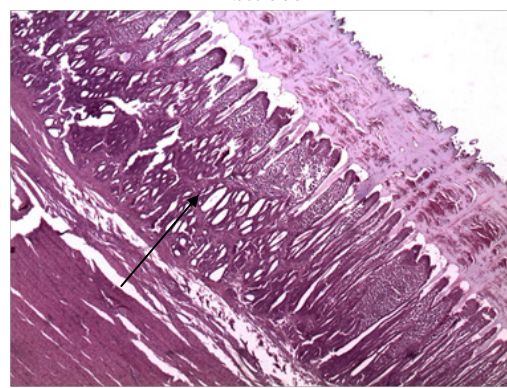
Fig. 5. Histological picture in the glandular stomach of broilers at 32 days of age: 5.1, 5.2 – mucous membrane (arrows), alveolar type glands (dotted arrows) in the submucosa, magnification $\times 50$; 5.3, 5.4 – lymphoid nodules (arrows) in the submucosa, magnification $\times 200$. Staining by hematoxylin and eosin

Смена 9
Smena 9

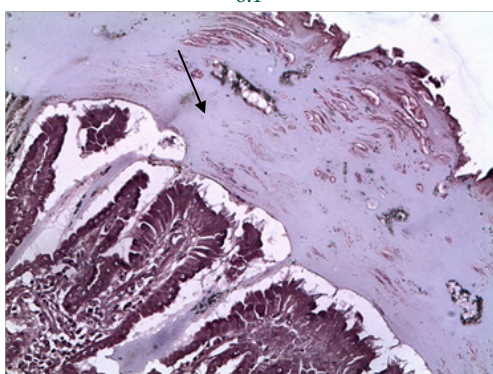


6.1

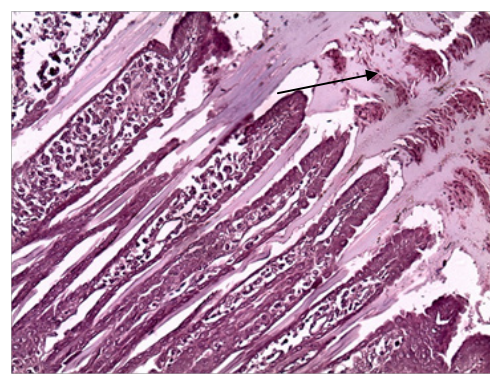
Росс 308
Ross 308



6.2



6.3



6.4

Рис. 6. Гистологическая картина в мышечном желудке у бройлеров в 32-суточном возрасте: 6.1, 6.2 – слизистая оболочка (стрелки), ув. $\times 50$; 6.3, 6.4 – кутикула (стрелки) на поверхности слизистой оболочки, ув. $\times 200$. Окраска гематоксилином и эозином

Fig. 6. Histological picture in the muscular stomach of broilers of the 3rd group: 6.1, 6.2 – mucous membrane (arrows), magnification $\times 50$; 6.3, 6.4 – cuticle (arrows) on the surface of the mucous membrane, magnification $\times 200$. Staining by hematoxylin and eosin

Сосочки слизистой были выражены отчетливо, выстланы однослойным призматическим эпителием. В подслизистом слое наблюдалось присутствие большого количества желез альвеолярного типа, выстланных кубическим эпителием (рис. 5.1, 5.2).

При этом у цыплят кросса Смена 9 происходило существенное (почти на 50 %) увеличение плотности упаковки узелков лимфоидной ткани в подслизистом слое, хотя у птиц кросса Росс 308 этот показатель был достоверно выше (рис. 5.3, 5.4).

Гистологическая картина в препаратах мышечного желудка у цыплят сравнимых кроссов в 32-суточном возрасте существенно не изменялась по отношению к предыдущему сроку исследования ни по качественным, ни по количественным характеристикам.

Линейные размеры всех слоев стенки оставались достоверно больше у цыплят-бройлеров кросса Росс 308 по сравнению с кроссом Смена 9 (рис. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4). Складки и ямки слизистой были выражены отчетливо, выстланы однослойным цилиндрическим эпителием. Желудочные железы имели такую же выстилку. В подслизистом слое встречались узелки лимфоидной ткани. Их количество на единице площади оставалось выше у цыплят кросса Росс 308, чем у цыплят кросса Смена 9.

Таким образом, анализ данных гистологического исследования железистого и мышечного отделов желудка цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308 в период с 10-х по 32-е сутки выращивания позволил выявить следующие особенности:

1. Стабильность основной гистологической структуры отделов желудка: сохраняются ключевые морфологические элементы (слизистая оболочка, подслизистая основа, мышечная пластинка слизистой оболочки, железы, складки, узелки лимфоидной ткани, кутикула) и тип эпителиальной выстилки.

2. Основные возрастные изменения носят количественный характер (увеличение оптической плотности кутикулы, нарастание линейных размеров слоёв) либо затрагивают отдельные компоненты (динамика плотности лимфоидной ткани).

3. Наличие устойчивых межкроссовых различий: более выраженные линейные параметры стенки мышечного желудка и более высокая плотность лимфоидных узелков у цыплят кросса Росс 308, а также более ранняя структурная однородность кутикулы. У кросса Смена 9 в позднем сроке (32-е сутки) отмечается специфическое увеличение плотности лимфоидной ткани именно в железистом отделе.

На следующем этапе был проведен морфометрический анализ железистого и мышечного отделов желудка цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308 в возрастном аспекте. При этом направленность и степень возрастных изменений структур желудка определялась принадлежностью птиц к кроссу.

Так, в 10-суточном возрасте у бройлеров уже были выявлены отличия по величине морфометрических показателей железистого отдела желудка (таблица 1). Они особенно были выражены (на уровне 42,42–69,35 %) в отношении толщины подслизистой основы, толщины железистого компонента слизистой оболочки (*lamina propria*) и площади подслизистого слоя в поле зрения микроскопа.

К 32-суточному возрасту по сравнению с 10-суточным статистически значимо увеличивалась толщина слизистой оболочки железистого отдела желудка: у кросса Смена 9 – в 1,36 раза, кросса Росс 308 – в 1,92 раза ($p \leq 0,001$). Данная динамика отражает различия в скорости пролиферации клеток слизистого эпителия в ходе постнатального развития. Толщина подслизистой основы имела разнонаправленную возрастную вариабельность. У цыплят кросса Смена 9 показатель снижался в 1,52 раза ($p \leq 0,001$), тогда как у кросса Росс 308, наоборот, увеличивался в 2,76 раза ($p \leq 0,001$).

При этом площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа у обоих кроссов к 32-суточному возрасту возрастала в 2,39 раза ($p \leq 0,001$) и достигала значений $473,98 \pm 14,43$ и $693,71 \pm 2,37$ мм² соответственно. Это было обусловлено особенностями генетической программы развития железистого отдела желудка, определяющей формирование железистых зон и соединительнотканых прослоек между дольками желез. Выявленные закономерности подтверждаются динамикой толщины железистого компонента слизистой оболочки (*lamina propria*): у кросса Смена 9 показатель увеличился на 15,81 % ($p \leq 0,01$), у кросса Росс 308 – на 7,82 % (таблица 1). Площадь складок слизистой оболочки тоже имела положительную возрастную динамику, однако темпы ее нарастания различались между кроссами: у кросса Смена 9 – в 1,95 раза ($p \leq 0,01$), у кросса Росс 308 – в 4,54 раза ($p \leq 0,01$). Количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки (на 1 мм²) характеризовалось противоположной направленностью изменений: у кросса Смена 9 их численность снижалась в 2,33 раза ($p \leq 0,01$), а у кросса Росс 308, наоборот, возрастала в 1,29 раза ($p \leq 0,01$). Это свидетельствует о различиях в формировании секреторного компонента слизистой оболочки у исследуемых кроссов.

Таким образом, на ранних этапах промышленного постнатального онтогенеза (в 10 суток) программы развития железистого отдела желудка у цыплят исследуемых кроссов уже характеризовались различиями по морфометрическим показателям. Это отражало наличие у каждого кросса специфического приоритета в развитии структурных компонентов желудка. Генетическая программа кросса Росс 308 была ориентирована на преимущественное разрастание эпителиального компонента и формирование более сложного рельефа слизистой оболочки, что проявлялось в увеличении толщины подслизистой основы, выраженном нарастании площади складок и повышении численности бокаловидных клеток. У кросса Смена 9 снижение толщины подслизистой основы на фоне увеличения ее площади в поле зрения микроскопа свидетельствует о перераспределении ресурсов организма, направленном на развитие иных структурных компонентов (в том

числе потенциально – других отделов ЖКТ). При этом отмечалось более существенное нарастание толщины железистого компонента слизистой оболочки (*lamina propria*), отражая его приоритетность в развитии железистого аппарата. Выявленные возрастные морфометрические закономерности обусловлены тем, что генетически закрепленные программы развития кроссов по-разному обеспечивают баланс между задачами интенсивного общего роста организма, развитием железистого аппарата, усложнением архитектоники слизистой оболочки

и поддержанием необходимого уровня слизистой секреции.

При оценке возрастной динамики модальных значений морфометрических показателей железистого отдела желудка (рис. 7) выявлено, что для большинства анализируемых признаков тренды моды у кроссов Смена 9 и Росс 308 согласуются с динамикой средних арифметических значений. В ряде возрастных точек отсутствие модальных значений обусловлено ограниченным объемом выборки.

Таблица 1
Возрастная динамика морфометрических показателей железистого отдела желудка, $n = 10$, $\bar{X} \pm m_x$

Признак	Возраст, сут.			
	10	21	32	В среднем за период исследований
Смена 9				
Живая масса, г	315,60 $\pm 9,59$	1024,30 $\pm 44,92^{***}$	2015,30 $\pm 74,83^{***}$	1118,40 $\pm 132,49$
Толщина слизистой оболочки, мкм	339,30 $\pm 20,80$	444,20 $\pm 16,43^{***}$	461,20 $\pm 17,31^{***}$	414,90 $\pm 14,28$
Толщина подслизистой основы, мкм	96,33 $\pm 7,39$	79,24 $\pm 3,78^*$	63,29 $\pm 4,81^{***}$	79,62 $\pm 3,97$
Толщина железистого компонента слизистой оболочки (<i>lamina propria</i>), мкм	1 139,60 $\pm 39,99$	1 350,00 $\pm 12,65^{***}$	1 319,80 $\pm 40,38^{**}$	1 269,80 $\pm 25,46$
Количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки, в 1 мм ²	63,00 $\pm 0,56$	32,00 $\pm 0,63^{***}$	27,00 $\pm 1,04^{***}$	40,67 $\pm 2,99$
Площадь складки слизистой оболочки, мкм ²	2 861,97 $\pm 120,50$	6 486,24 $\pm 279,64^{***}$	5 589,49 $\pm 316,83^{***}$	4 979,23 $\pm 319,51$
Количество узелков лимфоидной ткани, в 1 мм ²	18,00 $\pm 0,21$	35,00 $\pm 1,14^{***}$	62,00 $\pm 0,47^{***}$	38,33 $\pm 3,39$
Площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм ²	197,90 $\pm 5,52$	299,14 $\pm 2,84^{***}$	473,98 $\pm 14,43^{***}$	323,67 $\pm 21,71$
Росс 308				
Живая масса, г	312,80 $\pm 4,01$	1 026,40 $\pm 25,97^{***}$	2 072,20 $\pm 63,79^{***}$	1 137,13 $\pm 135,99$
Толщина слизистой оболочки, мкм	376,40 $\pm 24,35$	996,20 $\pm 21,62^{***}$	724,80 $\pm 15,44^{***}$	699,13 $\pm 48,51$
Толщина подслизистой основы, мкм	56,88 $\pm 5,92$	90,47 $\pm 9,11^{**}$	157,40 $\pm 11,35^{***}$	101,58 $\pm 9,26$
Толщина железистого компонента слизистой оболочки (<i>lamina propria</i>), мкм	1 623,00 $\pm 74,79$	1 644,90 $\pm 49,33$	1 750,00 $\pm 24,31$	1 672,63 $\pm 31,58$
Количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки, в 1 мм ²	63,00 $\pm 0,21$	72,00 $\pm 0,30^{***}$	81,10 $\pm 0,35^{***}$	72,03 $\pm 1,38$
Площадь складки слизистой оболочки, мкм ²	2 325,80 $\pm 109,62$	10 972,35 $\pm 727,84^{***}$	10 562,50 $\pm 824,31^{***}$	7 953,55 $\pm 820,59$
Количество узелков лимфоидной ткани, в 1 мм ²	25,00 $\pm 0,21$	40,90 $\pm 0,31^{***}$	71,20 $\pm 0,66^{***}$	45,70 $\pm 3,57$
Площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм ²	290,70 $\pm 0,21$	540,27 $\pm 10,57^{***}$	693,71 $\pm 2,37^{**}$	508,23 $\pm 31,04$

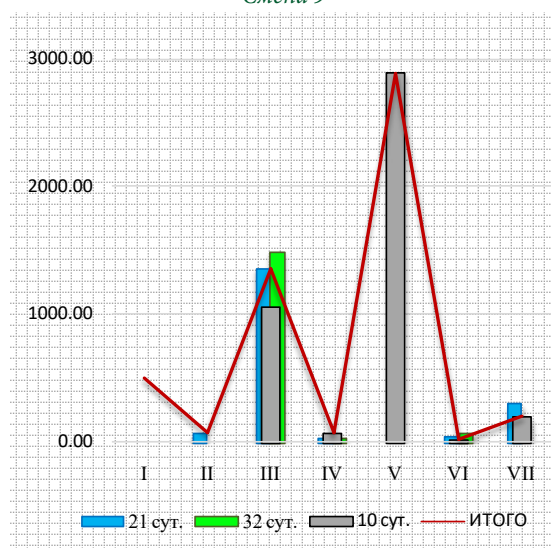
Примечание. При расчете критерия Стьюдента (t_d) для оценки возрастных изменений внутри каждого кросса за контрольную (референтную) группу принята 1-я группа (цыплята в возрасте 10 суток) как отражающая исходный уровень морфометрических показателей в начале раннего постнатального онтогенеза; значение достоверности при * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Table 1
Age-related dynamics of morphometric parameters of the glandular part of the stomach, $n = 10$, $X \pm m_x$

Trait	Age, days			
	10	21	32	Average over the study period
Smena 9				
Live body weight, g	315.60 $\pm$ 9.59	1 024.30 $\pm$ 44.92***	2 015.30 $\pm$ 74.83***	1 118.40 $\pm$ 132.49
Mucous membrane thickness, μ m	339.30 $\pm$ 20.80	444.20 $\pm$ 16.43***	461.20 $\pm$ 17.31***	414.90 $\pm$ 14.28
Submucosa thickness, μ m	96.33 $\pm$ 7.39	79.24 $\pm$ 3.78*	63.29 $\pm$ 4.81***	79.62 $\pm$ 3.97
Thickness of the glandular component of the mucous membrane (lamina propria), μ m	1 139.60 $\pm$ 39.99	1 350.00 $\pm$ 12.65***	1 319.80 $\pm$ 40.38**	1 269.80 $\pm$ 25.46
Number of goblet cells in the area of mucosal folds, per 1 mm ²	63.00 $\pm$ 0.56	32.00 $\pm$ 0.63***	27.00 $\pm$ 1.04***	40.67 $\pm$ 2.99
Area of mucosal fold, μ m ²	2 861.97 $\pm$ 120.50	6 486.24 $\pm$ 279.64***	5 589.49 $\pm$ 316.83***	4 979.23 $\pm$ 319.51
Number of lymphoid nodules, per 1 mm ²	18.00 $\pm$ 0.21	35.00 $\pm$ 1.14***	62.00 $\pm$ 0.47***	38.33 $\pm$ 3.39
Area of the submucosal layer in the microscope field of view, mm ²	197.90 $\pm$ 5.52	299.14 $\pm$ 2.84***	473.98 $\pm$ 14.43***	323.67 $\pm$ 21.71
Ross 308				
Live body weight, g	312.80 $\pm$ 4.01	1026.40 $\pm$ 25.97***	2072.20 $\pm$ 63.79***	1137.13 $\pm$ 135.99
Mucous membrane thickness, μ m	376.40 $\pm$ 24.35	996.20 $\pm$ 21.62***	724.80 $\pm$ 15.44***	699.13 $\pm$ 48.51
Submucosa thickness, μ m	56.88 $\pm$ 5.92	90.47 $\pm$ 9.11**	157.40 $\pm$ 11.35***	101.58 $\pm$ 9.26
Thickness of the glandular component of the mucous membrane (lamina propria), μ m	1 623.00 $\pm$ 74.79	1 644.90 $\pm$ 49.33	1 750.00 $\pm$ 24.31	1 672.63 $\pm$ 31.58
Number of goblet cells in the area of mucosal folds, per 1 mm ²	63.00 $\pm$ 0.21	72.00 $\pm$ 0.30***	81.10 $\pm$ 0.35***	72.03 $\pm$ 1.38
Area of mucosal fold, μ m ²	2 325.80 $\pm$ 109.62	10 972.35 $\pm$ 727.84***	10 562.50 $\pm$ 824.31***	7 953.55 $\pm$ 820.59
Number of lymphoid nodules, per 1 mm ²	25.00 $\pm$ 0.21	40.90 $\pm$ 0.31***	71.20 $\pm$ 0.66***	45.70 $\pm$ 3.57
Area of the submucosal layer in the microscope field of view, mm ²	290.70 $\pm$ 0.21	540.27 $\pm$ 10.57***	693.71 $\pm$ 2.37**	508.23 $\pm$ 31.04

Note. When calculating Student's t-test (td) to assess age-related changes within each cross, the 1st group (10-day-old chicks) was taken as the control (reference) group, reflecting the baseline level of morphometric parameters at the beginning of early postnatal ontogenesis; significance at * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

Смена 9



Росс 308

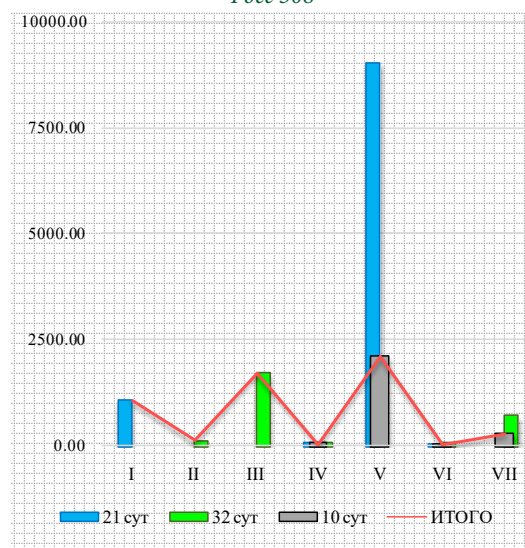


Рис. 7. Возрастная динамика модальных значений морфометрических показателей железистого отдела желудка у цыплят-бройлеров кросса: I – толщина слизистой оболочки, мкм; II – толщина подслизистой основы, мкм; III – толщина железистого компонента слизистой оболочки (lamina propria), мкм; IV – количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки в 1 мм²; V – площадь складки слизистой оболочки, мкм²; VI – количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм²; VII – площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм²

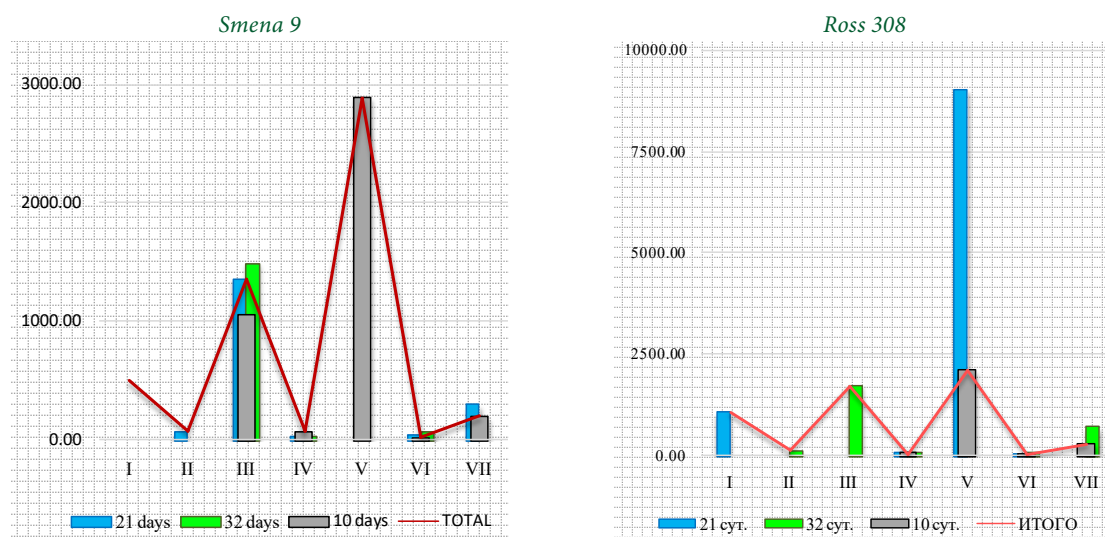


Fig. 7. Age dynamics of modal values of morphometric indicators of the glandular part of the stomach in broiler chickens of the cross: I – the thickness of the mucous membrane, mcm; II – the thickness of the glandular base, mcm; III – the thickness of the glandular component of the mucous membrane (lamina propria), mcm; IV – the number of goblet cells in the area of the folds of the mucous membrane in 1 mm²; V – the area of the fold of the mucous membrane, microns; VI – the number of lymphoid nodules in 1 mm²; VII – the area of the submucosal layer in the field of view of the microscope, mm²

Для кроссов Смена 9 и Росс 308 отмечено практически полное совпадение моды со средними значениями по таким показателям, как количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки и количество узелков лимфоидной ткани на 1 мм². Данный факт свидетельствует о симметричности распределения указанных признаков в выборке.

Анализ медианных значений морфометрических показателей железистого отдела желудка подтвердил их близость к средним арифметическим величинам у исследуемых кроссов, что служит статистическим свидетельством нормального (или близкого к нормальному) распределения изучаемых данных. При этом возрастная динамика медиан у кроссов имела выраженную специфику:

1. Кросс Смена 9 характеризовался достоверным возрастным ростом медианы количества узелков лимфоидной ткани (с 18,00 до 62,00 в 1 мм²) и площади подслизистого слоя в поле зрения микроскопа (с 197,80 до 472,78 мм²). Одновременно регистрировалось снижение медианы количества бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки (с 63,00 до 27,00 в 1 мм²) (рис. 8, а).

2. Кросс Росс 308 демонстрировал другой характер возрастных изменений: медиана толщины слизистой оболочки имели пик на 21-е сутки выращивания (993,00 мкм) с последующим снижением до 727,50 мкм к 32-суточному возрасту. При этом медиана количества бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки увеличивалась с возрастом с 63,00 до 81,00 в 1 мм²; медиана количества узелков лимфоидной ткани – с 25,00 до 72,00 в 1 мм²; медиана площади подслизистого слоя в поле зрения микроскопа – с 290,70 до 694,04 мм² (рис. 8, б).

Таким образом, совпадение моды и среднего, а также близость медианы к среднему значению у

обоих кроссов свидетельствуют о симметричности и нормальности распределения морфометрических показателей железистого отдела желудка. Это позволяет корректно использовать параметрические методы анализа и рассматривать средние значения как репрезентативные характеристики выборки. Несмотря на общие закономерности (рост площади подслизистого слоя, увеличение количества лимфоидных узелков), кроссы демонстрируют принципиально разную стратегию морфогенеза: у кросса Смена 9 акцент на перераспределение ресурсов между структурными и секреторными компонентами с редукцией бокаловидных клеток; у кросса Росс 308 более сбалансированное нарастание всех компонентов с выраженной фазовой динамикой толщины слизистой оболочки.

Величина морфометрических показателей мышечного отдела желудка зависела от принадлежности цыплят-бройлеров к конкретному кроссу (таблица 2). В 10-суточном возрасте были выявлены значимые межкроссовые различия, выраженность которых превышала аналогичные различия в железистом отделе желудка. У кросса Росс 308 значения изучаемых морфометрических показателей превышали уровень кросса Смена 9 в 1,34–5,17 раза. Наиболее существенные межкроссовые различия отмечены по толщине кутикулы (2,86 раза), толщине подслизистой основы (5,17 раза) и количеству узелков лимфоидной ткани (3,10 раза). Полученные данные подтверждали ранее выдвинутое предположение о наличии у исследуемых кроссов различной генетически детерминированной программы морфогенеза желудка, проявления которой регистрируются уже на ранних этапах постнатального онтогенеза.

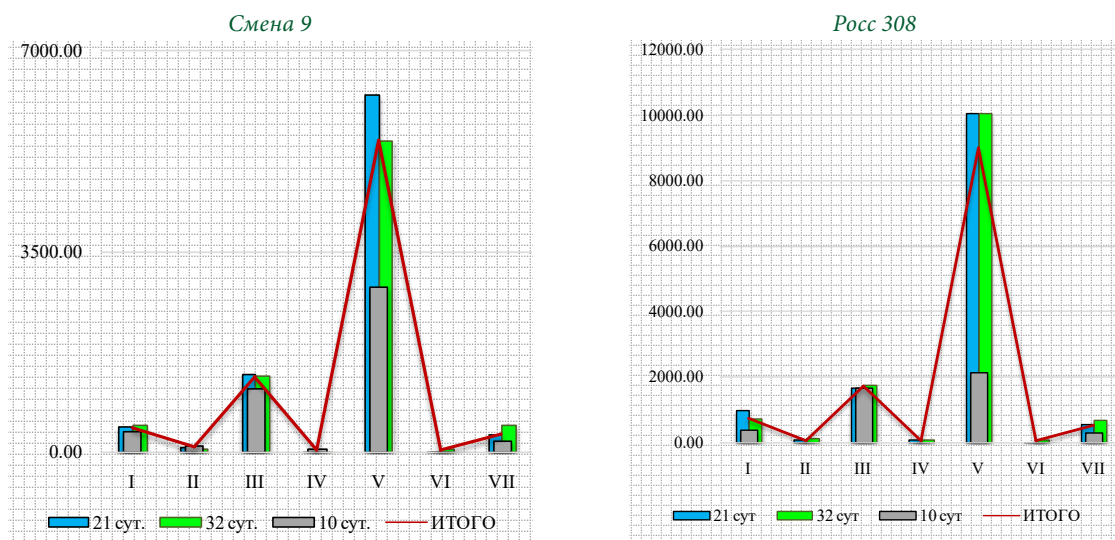


Рис. 8. Возрастная динамика медианных значений морфометрических показателей железистого отдела желудка у цыплят-бройлеров кросса: I – толщина слизистой оболочки, мкм; II – толщина подслизистой основы, мкм; III – толщина железистого компонента слизистой оболочки (lamina propria), мкм; IV – количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки в 1 мм²; V – площадь складки слизистой оболочки, мкм²; VI – количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм²; VII – площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм²

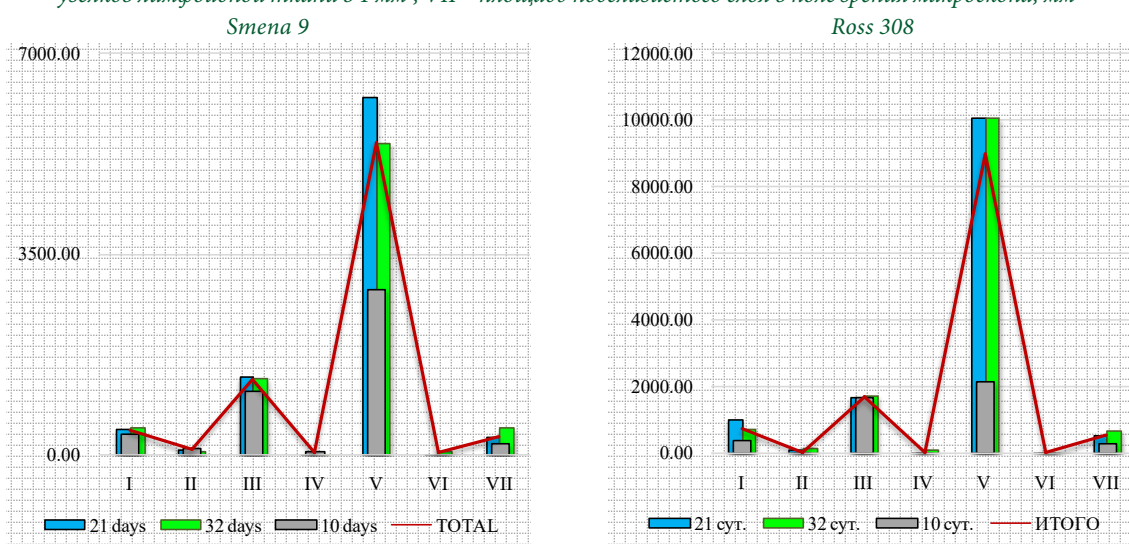


Fig. 8. Age dynamics of median values of morphometric indicators of the glandular part of the stomach in broiler chickens of the cross: I – the thickness of the mucous membrane, mcm; II – the thickness of the glandular base, mcm; III – the thickness of the glandular component of the mucous membrane (lamina propria), mcm; IV – the number of goblet cells in the area of the folds of the mucous membrane in 1 mm²; V – the area of the fold of the mucous membrane, microns; VI – the number of lymphoid nodules in 1 mm²; VII – the area of the submucosal layer in the field of view of the microscope, mm²

Возрастная динамика средних значений морфометрических показателей мышечного отдела желудка у исследуемых кроссов характеризовалась положительной тенденцией: у кросса Смена 9 показатели увеличивались в 1,12–8,40 раза, у кросса Росс 308 – в 1,15–3,48 раза. Отмечена фазовая специфика роста отдельных параметров: пиковые значения зафиксированы в 21-суточном возрасте у кросса Смена 9 по толщине кутикулы; у кросса Росс 308 – по толщине кутикулы, слизистой оболочки и подслизистой основы (таблица 2). К 32-суточному возрасту кросс Росс 308 по величине морфометрических показателей превосходил кросс

Смена 9 в 1,33–1,68 раза, что свидетельствует о сохранении межкроссовых различий на протяжении всего исследованного периода выращивания.

Таким образом, морфогенез мышечного отдела желудка цыплят-бройлеров характеризуется ранней манифестацией генетических различий, которые сохраняются в ходе выращивания. Они реализуются в первую очередь в функционально значимых зонах органа (кутикуле, подслизистой основе, лимфоидных структурах). У цыплят-бройлеров кросса Росс 308 уже в 10-суточном возрасте формируется защитный и соединительнотканый каркас органа, потенциально обеспечивающий его более высокую

устойчивость к механическим нагрузкам при переходе на более грубые компоненты корма. Наличие пиковых значений отдельных морфометрических параметров в 21-суточном возрасте отражает фазовую специфику морфогенеза; у Смена 9 опережающим развитием обладает только кутикула, а у

Росс 308 несколько структурных компонентов (кутикула, слизистая оболочка, подслизистая основа), что свидетельствует о более синхронизированной программе развития структур мышечного отдела желудка.

Таблица 2
Возрастная динамика морфометрических показателей мышечного отдела желудка, $n = 10, X \pm m_x$

Признак	Возраст, суток			
	10	21	32	В среднем за период исследований
Смена 9				
Толщина кутикулы, мкм	181,90 ±16,35	329,70 ±15,87***	282,90 ±11,13***	264,83 ±14,06
Толщина слизистой оболочки, мкм	334,40 ±15,19	349,80 ±9,11	543,60 ±14,64***	409,27 ±19,16
Толщина подслизистой основы, мкм	28,70 ±2,48	75,71 ±4,83***	93,83 ±3,36***	66,08 ±5,50
Количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм ²	10,00 ±0,21	48,30 ±1,07***	81,00 ±0,67***	46,43 ±5,40
Площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм ²	202,05 ±3,24	213,63 ±3,58*	226,21 ±4,23***	213,96 ±2,76
Кросс Росс 308				
Толщина кутикулы, мкм	521,90 ±9,30	780,60 ±28,61***	475,60 ±5,79***	592,70 ±26,80
Толщина слизистой оболочки, мкм	579,90 ±15,89	890,10 ±16,96***	779,60 ±13,22***	749,87 ±25,34
Толщина подслизистой основы, мкм	148,50 ±5,76	230,20 ±9,02***	170,90 ±6,87*	183,20 ±7,60
Количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм ²	31,00 ±0,21	61,00 ±0,39***	108,00 ±1,40***	66,67 ±5,90
Площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм ²	271,93 ±0,21	297,60 ±2,14***	331,60 ±4,66***	300,38 ±4,83

Примечание. При расчете критерия Стьюдента (td) для оценки возрастных изменений внутри каждого кросса за контрольную (референтную) группу принята 1-я группа (цыплята в возрасте 10 суток) как отражающая исходный уровень морфометрических показателей в начале раннего постнатального онтогенеза; значение достоверности при * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Table 2
Age-related dynamics of morphometric parameters of the muscular part of the stomach, $n = 10, X \pm m_x$

Trait	Age, days			
	10	21	32	Average over the study period
Smena 9				
Cuticle thickness, μm	181.90 $\pm$ 16.35	329.70 $\pm$ 15.87***	282.90 $\pm$ 11.13***	264.83 $\pm$ 14.06
Mucous membrane thickness, μm	334.40 $\pm$ 15.19	349.80 $\pm$ 9.11	543.60 $\pm$ 14.64***	409.27 $\pm$ 19.16
Submucosa thickness, μm	28.70 $\pm$ 2.48	75.71 $\pm$ 4.83***	93.83 $\pm$ 3.36***	66.08 $\pm$ 5.50
Number of lymphoid nodules per 1 mm ²	10.00 $\pm$ 0.21	48.30 $\pm$ 1.07***	81.00 $\pm$ 0.67***	46.43 $\pm$ 5.40
Area of the submucosal layer in the microscope field of view, mm ²	202.05 $\pm$ 3.24	213.63 $\pm$ 3.58*	226.21 $\pm$ 4.23***	213.96 $\pm$ 2.76
Ross 308				
Cuticle thickness, μm	521.90 $\pm$ 9.30	780.60 $\pm$ 28.61***	475.60 $\pm$ 5.79***	592.70 $\pm$ 26.80
Mucous membrane thickness, μm	579.90 $\pm$ 15.89	890.10 $\pm$ 16.96***	779.60 $\pm$ 13.22***	749.87 $\pm$ 25.34
Submucosa thickness, μm	148.50 $\pm$ 5.76	230.20 $\pm$ 9.02***	170.90 $\pm$ 6.87*	183.20 $\pm$ 7.60
Number of lymphoid nodules per 1 mm ²	31.00 $\pm$ 0.21	61.00 $\pm$ 0.39***	108.00 $\pm$ 1.40***	66.67 $\pm$ 5.90
Area of the submucosal layer in the microscope field of view, mm ²	271.93 $\pm$ 0.21	297.60 $\pm$ 2.14***	331.60 $\pm$ 4.66***	300.38 $\pm$ 4.83

Note. When calculating Student's t-test (td) to assess age-related changes within each cross, the 1st group (10-day-old chicks) was taken as the control (reference) group, reflecting the baseline level of morphometric parameters at the beginning of early postnatal ontogenesis; significance at * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

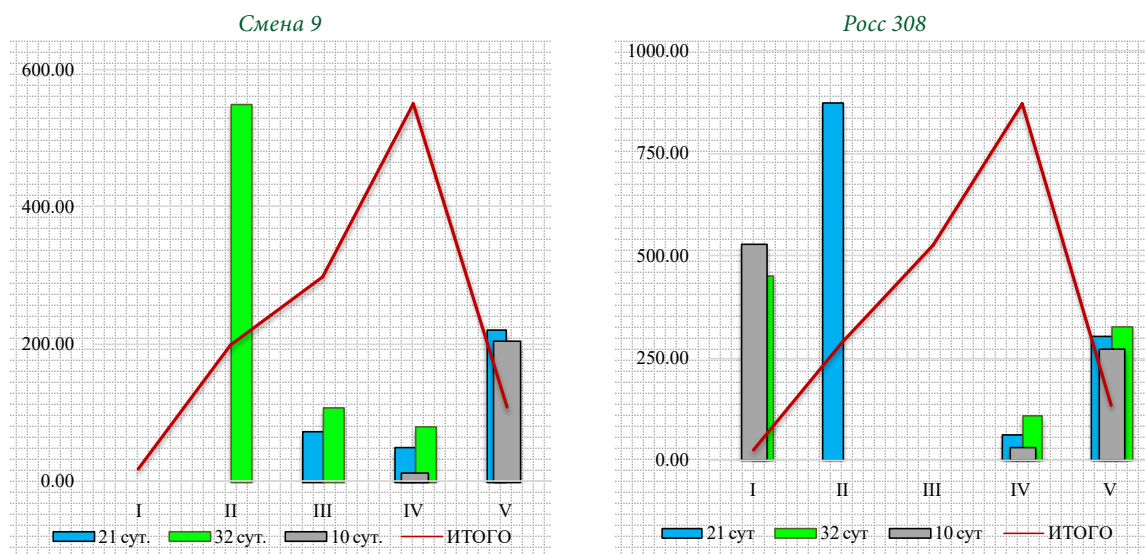


Рис. 9. Возрастная динамика модальных значений морфометрических показателей мышечного отдела желудка у цыплят-бройлеров кросса: I – толщина кутикулы, мкм; II – толщина слизистой оболочки, мкм; III – толщина подслизистой основы, мкм; IV – количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм²; V – площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм²

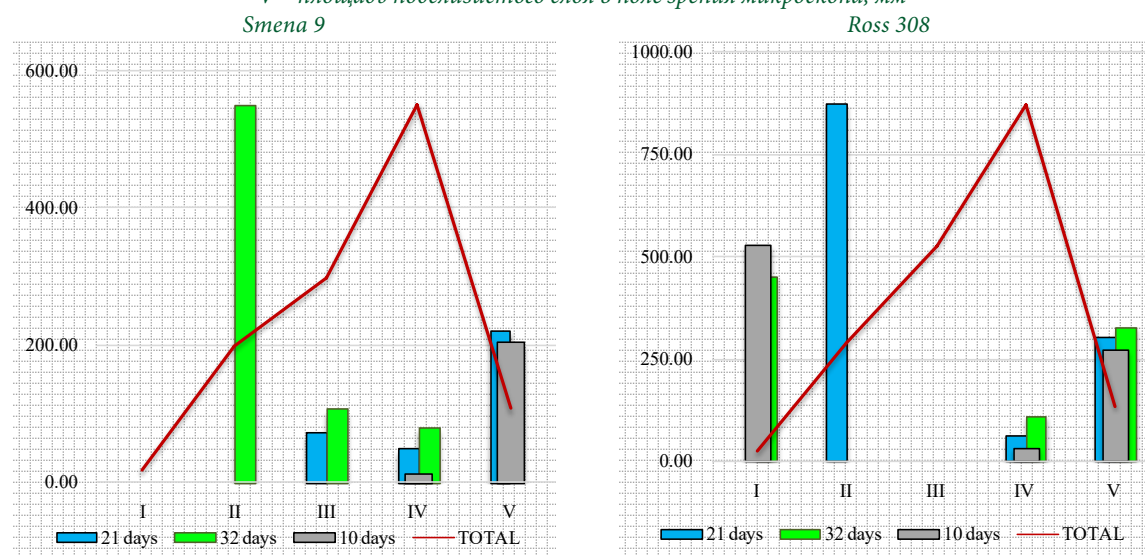


Fig. 9. Age dynamics of modal values of morphometric parameters of the intestinal stomach in broiler chickens of the cross: I – the thickness of the cuticle, mcm; II – the thickness of the mucous membrane, mcm; III – the thickness of the glandular base, mcm; IV – the number of lymphoid nodules in 1 mm²; V – the area of the submucosal layer in the field of view of the microscope, mm²

Модальные значения морфометрических показателей мышечного отдела желудка не выявлены у 40,00–46,67 % параметров обоих кроссов. Это отражало мультимодальный или равномерный характер распределения значений, не позволяя выделить среди них доминирующие (рис. 9). При этом моды для показателей «количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм²» и «площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа» практически совпадали со средними арифметическими значениями, позволяя их рассматривать в качестве репрезентативных характеристик. Следовательно, мода в рамках исследуемых выборок морфометрических показателей у кроссов не является информативной для большинства параметров мышечного отдела желуд-

ка, что сопряжено не столько с их генетическими особенностями, сколько с характеристиками распределения признаков.

Анализ медианных значений морфометрических показателей мышечного отдела желудка показал практически полное совпадение медиан со средними арифметическими значениями как у отечественного кросса Смена 9, так и у зарубежного кросса Росс 308 (рис. 10). Это свидетельствует о симметрии распределения изучаемых параметров в обеих выборках и позволяет рассматривать среднее арифметическое значение в качестве репрезентативной меры центральной тенденции при характеристике морфометрических особенностей мышечного отдела желудка у данных кроссов.

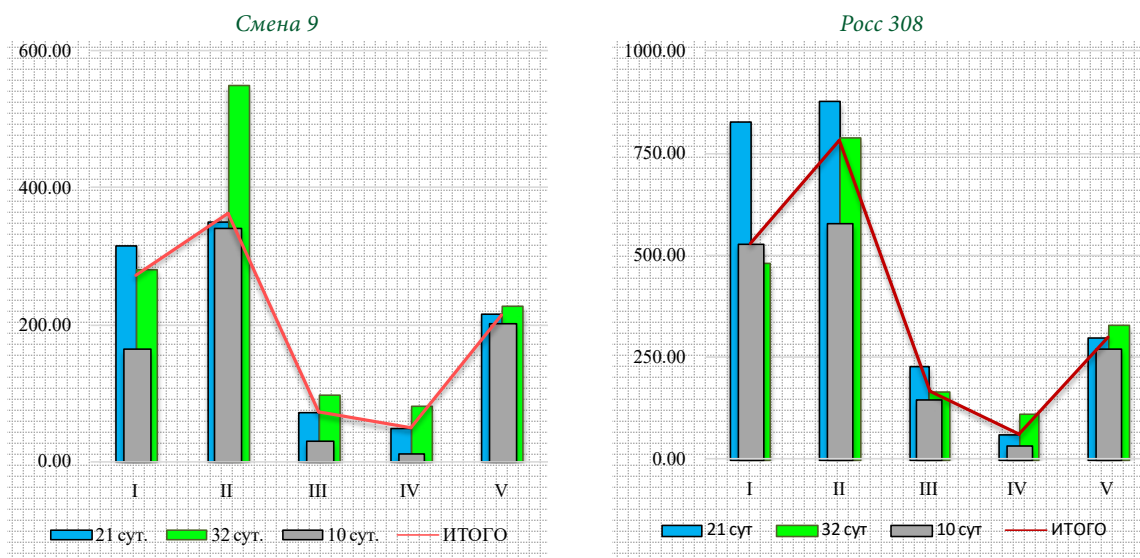


Рис. 10. Возрастная динамика медианных значений морфометрических показателей мышечного отдела желудка у цыплят-бройлеров кросса: I – толщина кутикулы, мкм; II – толщина слизистой оболочки, мкм; III – толщина подслизистой основы, мкм; IV – количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм²; V – площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм²

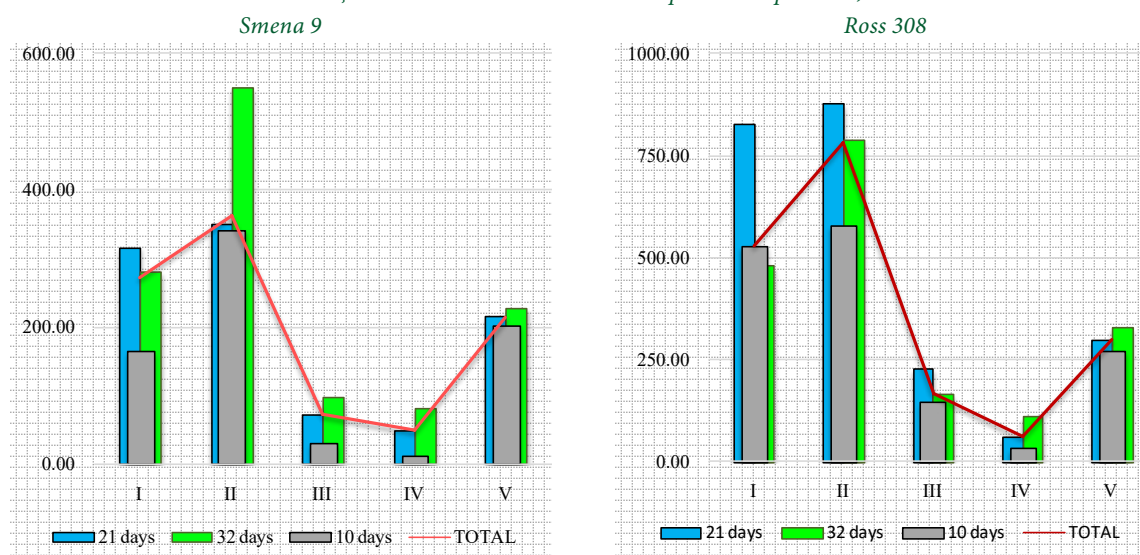


Fig. 10. Age dynamics of the median values of morphometric parameters of the intestinal stomach in broiler chickens of the cross: I – the thickness of the cuticle, mcm; II – the thickness of the mucous membrane, mcm; III – the thickness of the glandular base, mcm; IV – the number of lymphoid nodules in 1 mm²; V – the area of the submucosal layer in the field of view of the microscope, mm²

В ходе анализа относительных отклонений (%) морфометрических показателей желудка кросса Смена 9 от кросса Росс 308 установлено, что во все изученные возрастные периоды большинство признаков у отечественного кросса имеют отрицательные значения. Это свидетельствует о системных межкроссовых различиях в морфогенезе железистого и мышечного отделов желудка:

1. В 10-суточном возрасте у цыплят кросса Смена 9 значения толщины подслизистой основы и площади складки слизистой оболочки железистого отдела желудка на 69,36 и 23,05 % соответственно превышали данные кросса Росс 308. В мышечном отделе желудка у цыплят кросса Смена 9 выявля-

лись максимальные отрицательные отклонения по толщине подслизистой основы (–80,67 %), толщине кутикулы (–65,15 %) и количеству узелков лимфоидной ткани (–67,74 %). Это отражает межкроссовые различия в пространственно-временной организации морфогенеза отделов желудка на раннем этапе постнатального онтогенеза: у кросса Смена 9 приоритетно развитие структур железистого отдела (подслизистая основа, складчатость слизистой), тогда как формирование защитных (кутикула), соединительнотканых (подслизистая основа) и иммунных (лимфоидные узелки) компонентов мышечного отдела отстает по сравнению с кроссом Росс 308 (рис. 11, а).

2. Начиная с 21-суточного возраста отмечается прогрессирование относительные отрицательные отклонений морфометрических показателей желудка кросса Смена 9 по сравнению с кроссом Росс 308. На данном этапе выявлены максимальные межкроссовые различия: в железистом отделе желудка по толщине слизистой оболочки (–55,41 %) и количеству бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки (–55,56 %); в мышечном отделе желудка по толщине кутикулы (–57,76 %), толщине слизистой оболочки (–60,70 %) и толщине подслизистой основы (–67,11 %).

Это свидетельствует о нарастающем влиянии генетически детерминированных факторов на формирование траектории морфогенеза желудка у исследуемых кроссов (рис. 11, б).

3. К 32-суточному возрасту отрицательные отклонения между кроссами сохраняются (рис. 11, в), однако их выраженность заметно снижается по сравнению с 21-суточным возрастом. Наиболее существенное сглаживание разницы отмечено по таким показателям, как толщина слизистой оболочки железистого и мышечного отделов желудка, толщина кутикулы и толщина подслизистой основы мышечного желудка.

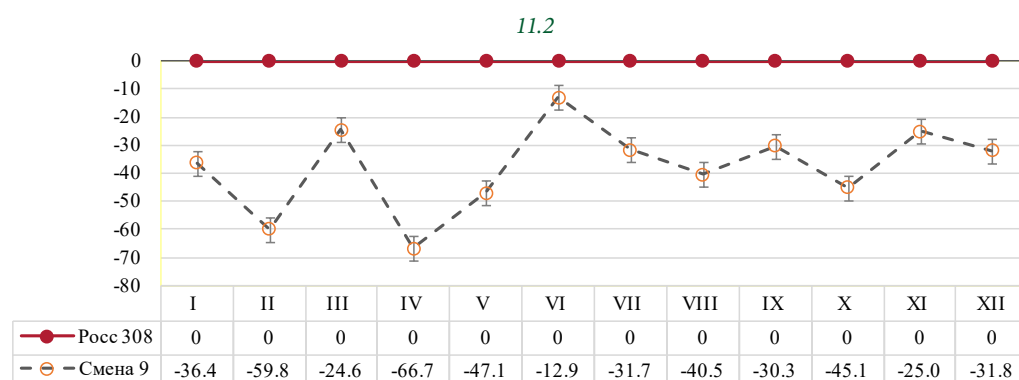
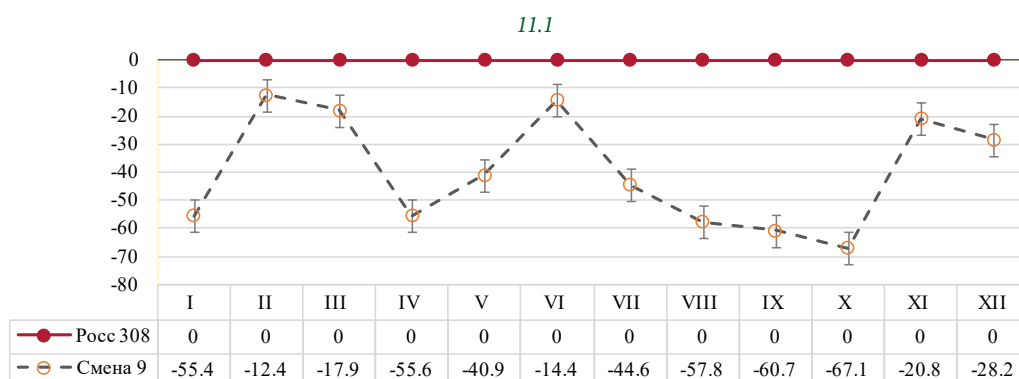
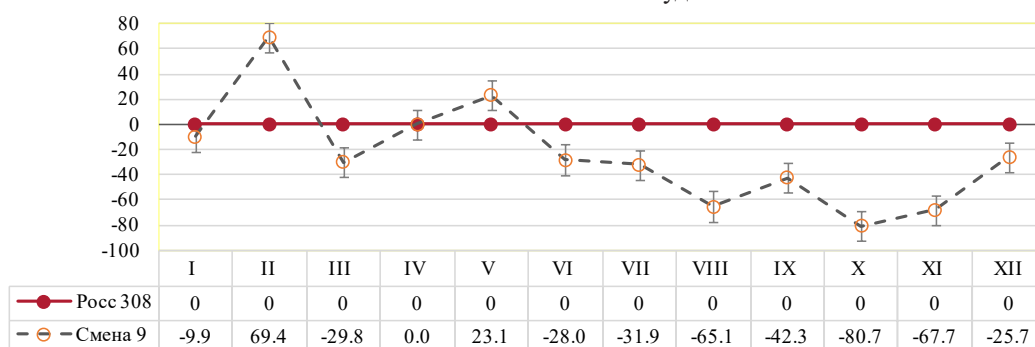


Рис. 11. Динамика относительных отклонений показателей морфометрии желудка кросса Смена 9 от кросса Росс 308, %: 11.1 – в 10-суточном возрасте; 11.2 – в 21-суточном возрасте; 11.3 – в 32-суточном возрасте. I – толщина слизистой оболочки, мкм; II – толщина подслизистой основы, мкм; III – толщина железистого компонента слизистой оболочки (*latina propria*), мкм; IV – количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки в 1 мм²; V – площадь складки слизистой оболочки, мм²; VI – количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм²; VII – площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм²; VIII – толщина кутикулы, мкм; IX – толщина слизистой оболочки, мкм; X – толщина подслизистой основы, мкм; XI – количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм²; XII – площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм²

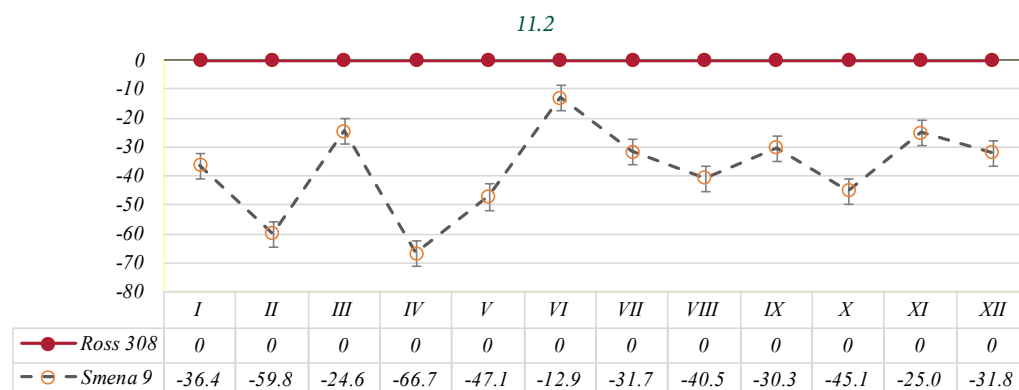
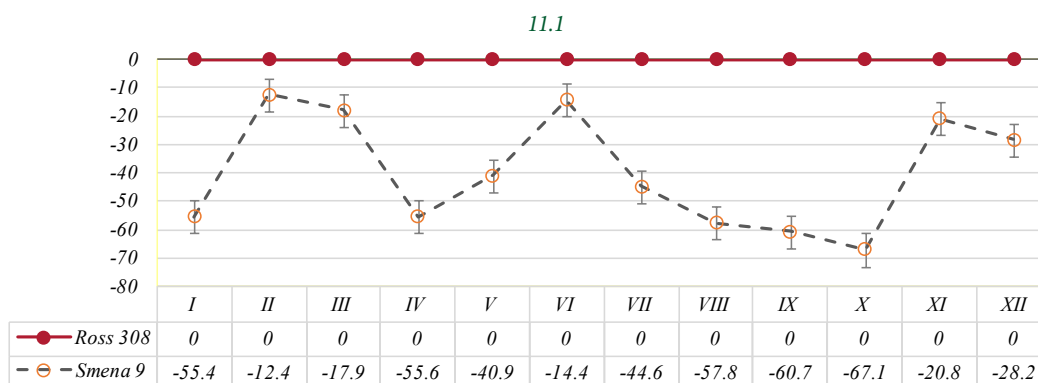
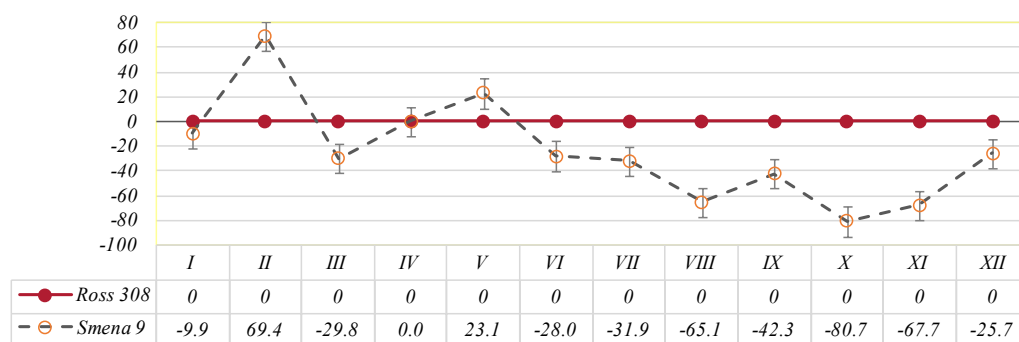


Fig. 11. The dynamics of relative deviations in the morphometry of the stomach of the Smena 9 cross from the Ross 308 cross, %: 11.1 – at 10 days of age; 11.2 – at 21 days of age; 11.3 – at 32 days of age. I – the thickness of the mucous membrane, mcm; II – the thickness of the glandular base, μm ; III – the thickness of the glandular component of the mucous membrane (lamina propria), μm ; IV – the number of goblet cells in the area of the folds of the mucous membrane in 1 mm^2 ; V – the area of the fold of the mucous membrane, μm ; VI – the number of lymphoid nodules in 1 mm^2 ; VII – the area of the submucosal layer in the field of view of the microscope, mm^2 ; VIII – the thickness of the cuticle, μm ; IX – the thickness of the mucous membrane, mcm; X – the thickness of the glandular base, μm ; XI – the number of lymphoid nodules in 1 mm^2 ; XII – the area of the submucosal layer in the field of view of the microscope, mm^2

Обобщенный анализ относительных отклонений показывает, что кросс Смена 9 уступает кроссу Росс 308 по большинству морфометрических параметров желудка на всех этапах исследования. При этом кросс Росс 308 характеризуется более стабильным и гомогенным развитием желудка на всех этапах раннего постнатального онтогенеза, тогда как Смена 9 демонстрирует большую индивидуальную изменчивость, что может быть обусловлено генетическими особенностями и открывает возможности для селекционного отбора.

По данным однофакторного дисперсионного анализа возраст выступает доминирующим факто-

ром, определяющим изменчивость морфометрических показателей желудка у цыплят-бройлеров исследуемых кроссов (таблица 3).

У кросса Смена 9 доля влияния возраста (η^2) варьировала в широком диапазоне: максимальные значения зафиксированы в железистом отделе желудка для количества узелков лимфоидной ткани (98,60 %), количества бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки (97,91 %), площади подслизистого слоя в поле зрения микроскопа (95,12 %); в мышечном отделе – для количества узелков лимфоидной ткани (99,42 %). Минимальное влияние возраста отмечено в железистом от-

деле желудка для толщины подслизистой основы (39,75 %) и толщины железистого компонента слизистой оболочки (*lamina propria*) (45,90 %); в мышечном отделе – площади подслизистого слоя в поле зрения микроскопа (44,09 %). Корреляци-

онное отношение (η) находилось в диапазоне 0,63–1,00, что свидетельствует о сильной связи морфометрических параметров с возрастом ($p \leq 0,001$ для большинства показателей).

Таблица 3
Корреляционное отношение (η) и факториальная дисперсия η^2x , % возраста птицы на морфометрические показатели желудков

Показатель	Смена 9		Росс 308	
	η	η^2x – доля влияния фактора, %	η	η^2x – доля влияния фактора, %
Живая масса, г	0,98	0,95 $\pm$ 0,34***	0,99	0,97 $\pm$ 0,20***
Железистый отдел желудка				
Толщина слизистой оболочки, мкм	0,70	49,14 $\pm$ 3,77***	0,97	94,29 $\pm$ 0,42***
Толщина подслизистой основы, мкм	0,63	39,75 $\pm$ 4,46**	0,84	70,21 $\pm$ 2,21***
Толщина железистого компонента слизистой оболочки (<i>lamina propria</i>), мкм	0,68	45,90 $\pm$ 4,01***	0,33	10,62 $\pm$ 6,62
Количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки в 1 мм ²	0,99	97,91 $\pm$ 1,46***	0,99	98,62 $\pm$ 1,39***
Площадь складки слизистой оболочки, мкм ²	0,90	80,24 $\pm$ 1,46***	0,90	81,24 $\pm$ 1,39***
Количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм ²	0,99	98,60 $\pm$ 0,10***	1,00	99,53 $\pm$ 0,04***
Площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм ²	0,98	95,12 $\pm$ 0,36***	0,99	98,74 $\pm$ 0,09***
Мышечный отдел желудка				
Толщина кутикулы, мкм	0,81	66,34 $\pm$ 2,49***	0,93	86,48 $\pm$ 1,00***
Толщина слизистой оболочки, мкм	0,91	82,64 $\pm$ 1,29***	0,84	70,45 $\pm$ 2,19***
Толщина подслизистой основы, мкм	0,93	86,03 $\pm$ 1,04***	0,84	71,01 $\pm$ 2,15***
Количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм ²	1,00	99,42 $\pm$ 4,14***	1,00	99,36 $\pm$ 0,87***
Площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм ²	0,66	44,09 $\pm$ 4,14***	0,94	88,32 $\pm$ 0,87***

Примечание. Значение достоверности при ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Table 3
Correlation ratio (η) and factorial variance (η^2x , %) of bird age on morphometric parameters of the stomachs

Trait	Smena 9		Ross 308	
	η	η^2x – factor influence share, % ¹	η	η^2x – factor influence share, % ¹
Live body weight, g	0.98	0.95 $\pm$ 0.34***	0.99	0.97 $\pm$ 0.20***
Glandular part of the stomach				
Mucous membrane thickness, μm	0.70	49.14 $\pm$ 3.77***	0.97	94.29 $\pm$ 0.42***
Submucosa thickness, μm	0.63	39.75 $\pm$ 4.46**	0.84	70.21 $\pm$ 2.21***
Thickness of the glandular component of the mucous membrane (<i>lamina propria</i>), μm	0.68	45.90 $\pm$ 4.01***	0.33	10.62 $\pm$ 6.62
Number of goblet cells in the area of mucosal folds, per 1 mm ²	0.99	97.91 $\pm$ 1.46***	0.99	98.62 $\pm$ 1.39***
Area of mucosal fold, μm^2	0.90	80.24 $\pm$ 1.46***	0.90	81.24 $\pm$ 1.39***
Number of lymphoid nodules, per 1 mm ²	0.99	98.60 $\pm$ 0.10***	1.00	99.53 $\pm$ 0.04***
Area of the submucosal layer in the microscope field of view, mm ²	0.98	95.12 $\pm$ 0.36***	0.99	98.74 $\pm$ 0.09***
Muscular part of the stomach				
Cuticle thickness, μm	0.81	66.34 $\pm$ 2.49***	0.93	86.48 $\pm$ 1.00***
Mucous membrane thickness, μm	0.91	82.64 $\pm$ 1.29***	0.84	70.45 $\pm$ 2.19***
Submucosa thickness, μm	0.93	86.03 $\pm$ 1.04***	0.84	71.01 $\pm$ 2.15***
Number of lymphoid nodules, per 1 mm ²	1.00	99.42 $\pm$ 4.14***	1.00	99.36 $\pm$ 0.87***
Area of the submucosal layer in the microscope field of view, mm ²	0.66	44.09 $\pm$ 4.14***	0.94	88.32 $\pm$ 0.87***

Note. Significance at ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

У кросса Росс 308 влияние возрастного фактора на морфометрические показатели желудка оказалось еще более выраженным: доля влияния (η^2) превышала 70,21 % почти для всех признаков, достигая 99,53 % для количества узелков лимфоидной ткани и 98,74 % для площади подслизистого слоя в поле зрения микроскопа в железистом отделе желудка; 99,36 % для количества узелков лимфоидной ткани в мышечном отделе желудка. Исключением явился показатель «толщина железистого компонента слизистой оболочки (lamina propria)», где доля влияния возраста составляет лишь 10,62 %, что указывает на высокую стабильность данного параметра в ходе выращивания. Близкие к 1,0 значения корреляционного отношения η для большинства признаков, дополнительно подтверждают выраженную возрастную детерминацию.

Анализ влияния фактора «кросс» (генотип) на изменчивость морфометрических признаков в различные периоды постнатального онтогенеза выявил существенную зависимость вклада данного фактора от возраста (таблица 4). В 10-суточном возрасте кроссовый фактор практически не влиял на живую массу (0,00 %) и количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки (0,00 %), но определял более 98 % вариации площади подслизистого слоя в поле зрения микроскопа железистого отдела и более 99 % – количество узелков лимфоидной ткани мышечного отдела желудка. На 21-е сутки выращивания доля влияния кросса достигала максимальных значений; в железистом отделе желудка для толщины слизистой оболочки (95,83 %), количества бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки (99,45 %); мышечного отдела желудка в диапазоне 87,24–95,75 % для большинства морфометрических показателей. К 32-суточному возрасту влияние кросса оставалось на высоком уровне – от 50,91 % для толщины слизистой оболочки мышечного желудка до 99,26 % для количества бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки железистого желудка.

Таким образом, у цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308 возраст выступает в роли доминирующего фактора, определяющего изменчивость морфометрических параметров желудка. При этом сила связи возраста с признаками в основном соответствует критерию «сильная», отражая возрастную детерминацию структурных характеристик органа. У кросса Росс 308 по сравнению с кроссом Смена 9 возраст оказал более выраженное влияние практически на все морфометрические показатели желудка, что свидетельствует о более жесткой возраст-зависимой программе морфогенеза структур желудка. Максимальная доля влияния возраста ($\eta^2 > 95$ %) была на параметры, сопряженные с развитием лимфоидной ткани и пространственной организацией подслизистого слоя. Это подтверждает,

что формирование иммунной составляющей слизистой и архитектоники подслизистой основы строго привязано к возрастным этапам онтогенеза. Низкая доля влияния возраста на толщину железистого компонента слизистой оболочки (lamina propria) (45,90 % у кросса Смена 9 и 10,62 % у кросса Росс 308) отражает его базовую структурную роль в обеспечении целостности стенки желудка. Влияние фактора «кросс» существенно варьирует от возраста, достигая максимума в период интенсивного роста (с 21-х по 32-е сутки выращивания). Это свидетельствует о системном воздействии генотипа на формирование структурных характеристик желудка, особенно в фазах активного морфогенеза.

Результаты факторного анализа показали, что возраст оказывает влияние на большинство морфометрических признаков (доля влияния 80–99 %), но кроссовый фактор остается критически важным, особенно в периоды интенсивного роста. Значит, морфогенез желудка формируется при совместном действии этих факторов, причем их относительный вклад меняется в зависимости от этапа выращивания.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Морфофункциональные особенности органов пищеварительной системы и закономерности их морфогенеза в постнатальном онтогенезе составляют неотъемлемую часть комплекса знаний о биологии сельскохозяйственной птицы [35].

Пищеварительная система выступает ключевым звеном в обеспечении непрерывности пластических и энергетических потоков в организме птицы, формируя основу поддержания гомеостаза на клеточном и тканевом уровнях [36–38]. В связи с этим изучение возрастных морфогенетических закономерностей развития органов пищеварения имеет существенное научно-практическое значение – оно служит базой для разработки подходов повышения продуктивности птицы [38]. При этом имеющиеся в научной литературе сведения о морфологических особенностях желудка птиц характеризуются фрагментарностью и недостаточной детализацией, что обуславливает актуальность дальнейших исследований в данном направлении.

Результаты комплексного гистологического и морфометрического исследования железистого и мышечного отделов желудка цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308, выполненного в критические возрастные точки постнатального онтогенеза (10, 21, 32 дня), свидетельствуют о наличии закономерных структурных преобразований органа в условиях интенсивного роста птицы. Установленное увеличение живой массы в 6,38–6,62 раза ($p \leq 0,001$) отражает реализацию общей программы роста организма и сопряжено с морфофункциональной адаптацией органов пищеварения [39]. При сопоставимой динамике прироста живой массы у

исследуемых кроссов выявлены межкроссовые различия в темпах и приоритетах морфогенеза отделов желудка. Данные различия указывают на специфику генетически детерминированных программ развития, определяющих пространственно-временную организацию тканевых преобразований [22; 32; 35].

Гистологическая структура отделов желудка у кроссов Смена 9 и Росс 308 в 10-, 21- и 32-суточном возрасте сохраняла типовую архитектуру, характерную для данного органа у птиц. В течение всего исследуемого периода оставались неизменными основные морфологические компоненты стенки желудка: слизистая оболочка, подслизистая основа, мышечная пластинка слизистой оболочки, железистые структуры, складки слизистой, узелки лимфоидной ткани, кутикула. Стабилен был и тип эпителиальной выстилки: в железистом отделе желудка – однослойный призматический эпителий; в мышечном отделе желудка – однослойный цилиндрический эпителий. Функциональная специфика эпителиальных пластов сопряжена с функциями соответствующих отделов желудка [40]. Однослойный призматический железистый эпителий железистого отдела желудка формирует обширное секреторное поле, обеспечивающее продукцию слизистого компонента желудочного секрета. В мышеч-

ном отделе однослойный цилиндрический эпителий инвагинирует в собственную пластинку слизистой оболочки с образованием желудочных ямочек, в которые открываются выводные протоки простых трубчатых желез. Секреторный продукт этих желез склонен к затвердеванию и участвует в формировании плотной кутикулы – структуры, выполняющей защитную и механическую функции [40]. Возрастные изменения гистологической структуры отделов желудка носили преимущественно количественный характер и выражались в прогрессивном нарастании линейных параметров тканевых слоев, увеличении оптической плотности кутикулы, а также динамике плотности распределения лимфоидных узелков. Следовательно, в ходе постнатального онтогенеза не происходило радикальной перестройки гистоархитектоники отделов желудка: «базовая» тканевая организация сохранялась, а наблюдаемые изменения заключались в росте и утолщении существующих структурных компонентов. Данная динамика рассматривается как адаптивная реакция органа на возрастающие функциональные нагрузки, обусловленные увеличением объема потребляемого корма, интенсификацией обменных процессов и нарастанием механической нагрузки на отделы желудка [41].

Таблица 4
Корреляционное отношение (η) и факториальная дисперсия η^2x , % кросса птицы на морфометрические показатели желудков в различные возрастные периоды

Признак	Корреляционное отношение, η			η^2x – доля влияния фактора, % ¹		
	Возраст, суток					
	10	21	32	10	21	32
Живая масса, г	0,06	0,01	0,14	0,00 $\pm$ 5,53	0,00 $\pm$ 5,56	0,02 $\pm$ 5,45
Толщина слизистой оболочки, мкм	0,26	0,98	0,94	6,94 $\pm$ 5,17	95,83 $\pm$ 0,23***	87,77 $\pm$ 0,68***
Толщина подслизистой основы, мкм	0,70	0,26	0,87	49,12 $\pm$ 2,83***	6,72 $\pm$ 5,18	76,40 $\pm$ 1,31***
Толщина железистого компонента слизистой оболочки (lamina propria), мкм	0,80	0,81	0,91	64,35 $\pm$ 1,98***	65,07 $\pm$ 1,94***	82,23 $\pm$ 0,99***
Количество бокаловидных клеток в зоне складок слизистой оболочки в 1 мм ²	0,00	1,00	1,00	0,00 $\pm$ 3,47	99,45 $\pm$ 1,96***	99,26 $\pm$ 2,01***
Площадь складки слизистой оболочки, мкм ²	0,61	0,80	0,80	37,57 $\pm$ ***3,47	64,78 $\pm$ 1,96***	63,73 $\pm$ 2,01***
Количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм ²	0,98	0,76	0,94	96,84 $\pm$ 0,18***	58,22 $\pm$ 2,32***	87,66 $\pm$ 0,69***
Площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа, мм ²	0,99	0,98	0,96	98,68 $\pm$ 0,07***	96,43 $\pm$ 0,20***	92,62 $\pm$ 0,41***
Толщина кутикулы, мкм	0,97	0,96	0,96	94,78 $\pm$ 0,29***	91,34 $\pm$ 0,48***	92,91 $\pm$ 0,39***
Толщина слизистой оболочки, мкм	0,93	0,96	0,71	86,03 $\pm$ 0,78***	91,96 $\pm$ 0,45***	50,91 $\pm$ 2,73***
Толщина подслизистой основы, мкм	0,98	0,96	0,92	95,29 $\pm$ 0,26***	92,69 $\pm$ 0,41***	84,94 $\pm$ 0,84***
Количество узелков лимфоидной ткани в 1 мм ²	1,00	0,93	0,97	99,64 $\pm$ 0,21***	87,42 $\pm$ 0,24***	94,41 $\pm$ 0,33***
Площадь подслизистого слоя в поле зрения микроскопа. мм ²	0,98	0,98	0,97	96,26 $\pm$ 0,21***	95,75 $\pm$ 0,24***	93,97 $\pm$ 0,33***

Примечание. Значение достоверности при ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

Table 4

Correlation ratio (η) and factorial variance (η^2x , %) of bird cross on morphometric parameters of the stomachs in different age periods

Trait	Correlation ratio, η			η^2x – factor influence share, % ¹		
	Days					
	10	21	32	10	21	32
Live body weight, g	0.06	0.01	0.14	0.00 ±5.53	0.00 ±5.56	0.02 ±5.45
Mucous membrane thickness, μm (glandular)	0.26	0.98	0.94	6.94 ±5.17	95.83 ±0.23***	87.77 ±0.68***
Submucosa thickness, μm (glandular)	0.70	0.26	0.87	49.12 ±2.83***	6.72 ±5.18	76.40 ±1.31***
Thickness of the glandular component of the mucous membrane (lamina propria), μm	0.80	0.81	0.91	64.35 ±1.98***	65.07 ±1.94***	82.23 ±0.99***
Number of goblet cells in the area of mucosal folds per 1 mm ²	0.00	1.00	1.00	0.00 ±3.47	99.45 ±1.96***	99.26 ±2.01***
Area of mucosal fold, μm^2	0.61	0.80	0.80	37.57 ±**3.47	64.78 ±1.96***	63.73 ±2.01***
Number of lymphoid nodules, per 1 mm ² (glandular)	0.98	0.76	0.94	96.84 ±0.18***	58.22 ±2.32***	87.66 ±0.69***
Area of the submucosal layer in the microscope field of view, mm ² (glandular)	0.99	0.98	0.96	98.68 ±0.07***	96.43 ±0.20***	92.62 ±0.41***
Cuticle thickness, μm	0.97	0.96	0.96	94.78 ±0.29***	91.34 ±0.48***	92.91 ±0.39***
Mucous membrane thickness, μm (muscular)	0.93	0.96	0.71	86.03 ±0.78***	91.96 ±0.45***	50.91 ±2.73***
Submucosa thickness, μm (muscular)	0.98	0.96	0.92	95.29 ±0.26***	92.69 ±0.41***	84.94 ±0.84***
Number of lymphoid nodules per 1 mm ² (muscular)	1.00	0.93	0.97	99.64 ±0.21***	87.42 ±0.24***	94.41 ±0.33***
Area of the submucosal layer in the microscope field of view, mm ² (muscular)	0.98	0.98	0.97	96.26 ±0.21***	95.75 ±0.24***	93.97 ±0.33***

Note. Significance at ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

При этом установлено значимое влияние кроссового (генетического) фактора на гистологические характеристики отделов желудка в 10-, 21- и 32-суточном возрасте. У кросса Росс 308 выявлены более выраженные линейные параметры стенки мышечного желудка, повышенная плотность лимфоидных узелков и более ранняя структурная однородность кутикулы. В свою очередь, у кросса Смена 9 в 32-суточном возрасте отмечено специфическое увеличение плотности лимфоидной ткани в железистом отделе желудка. Указанные различия отражают генетически детерминированные особенности морфогенеза и свидетельствуют о реализации кросс-специфичных стратегий структурной адаптации органа в ходе онтогенеза [42].

Функционирование различных органов, в том числе и желудка, сопряжено с его морфологическими характеристиками [43]. С этой целью мы изучали изменчивость морфометрических параметров, которые характеризуют структурную организацию органа, его функциональный потенциал, состояние местного иммунитета, адаптивные перестройки и т. д. Анализ результатов морфометрии железистого и мышечного отделов желудка цыплят-бройлеров кроссов Смена 9 и Росс 308 показал, что морфогенез

желудка реализуется под комплексным влиянием двух факторов: возраста и генотипа (принадлежности к кроссу), – относительный вклад которых динамически изменяется в зависимости от этапа постнатального онтогенеза. Уже в 10-суточном возрасте выявлены значимые межкроссовые различия по ряду морфометрических показателей, причём их выраженность в мышечном отделе желудка превышала таковую в железистом. У кросса Росс 308 отмечено опережающее формирование функционально значимых структур: кутикулы, подслизистой основы и лимфоидных узелков, что потенциально обеспечивало более высокую устойчивость органа к механическим нагрузкам. У кросса Смена 9 приоритет развития смещен в сторону железистого отдела (толщина подслизистой основы, площадь складок слизистой) при относительном отставании структур мышечного отдела.

Возрастная динамика морфометрических показателей имела разнонаправленный характер у исследуемых кроссов. Так, толщина подслизистой основы в железистом отделе желудка у кросса Смена 9 снижалась к 32 суткам в 1,52 раза ($p \leq 0,001$), а у Росс 308, напротив, увеличивалась в 2,76 раза ($p \leq 0,001$). Аналогичные различия выявлены

в динамике бокаловидных клеток (снижение в 2,33 раза у кросса Смена 9 и рост в 1,29 раза у кросса Росс 308), темпах нарастания площади складок слизистой оболочки (в 1,95 раза у кросса Смена 9 против 4,54 раза у кросса Росс 308). Это отражало различия в стратегиях формировании секреторного компонента слизистой оболочки и в ее архитектонике, обусловленные кроссовым фактором [44; 45].

Статистический анализ (оценка моды, медианы, однофакторный дисперсионный анализ) показал симметричность распределения большинства морфометрических показателей и обоснованность применения параметрических методов. Совпадение моды, медианы и среднего арифметического свидетельствовало о репрезентативности средних значений как характеристик выборки. Анализ относительных отклонений морфометрических показателей двух кроссов выявил системные межкроссовые различия: на всех этапах исследования большинство параметров у кросса Смена 9 имели отрицательные отклонения, причем их максимальные значения фиксировались на 21-е сутки, а к 32-м суткам наблюдалось частичное сглаживание разницы по ряду показателей. Это свидетельствовало о нарастающем влиянии генетически детерминированных факторов в середине периода выращивания с последующей частичной конвергенцией некоторых параметров.

Результаты дисперсионного анализа показали, что возраст является доминирующим фактором изменчивости морфометрических признаков: доля его влияния (η^2) достигала 95–99 % для ряда параметров (количество лимфоидных узелков, площадь подслизистого слоя, количество бокаловидных клеток). При этом у кросса Росс 308 возрастная детерминация оказалась еще более выраженной, что указывает на более жесткую, синхронизированную программу морфогенеза. Вклад фактора «кросс» существенно возрастал в период интенсивного роста (21–32 сутки), достигая 99,45 % для ряда показателей, что свидетельствует о системном воздействии генотипа на морфогенез в фазах активного развития.

Результаты наших исследований позволили сформулировать следующие выводы:

1. Морфогенез желудка, несмотря на сопоставимую динамику увеличения живой массы у кроссов Смена 9 и Росс 308, реализуется по разным траекториям, отражающим специфику их генетики. У исследуемых кроссов сохраняется типовая гистоархитектоника отделов желудка; возрастные изменения

затрагивают преимущественно количественные параметры и отдельные компоненты (количество лимфоидных узелков, толщина кутикулы).

2. Межкроссовые различия по морфометрическим показателям выявляются уже в 10-суточном возрасте, особенно в функционально значимых зонах желудка (толщина кутикулы, подслизистой основы, количество лимфоидных узелков), что указывает на раннюю реализацию генетически обусловленных приоритетов в тканевом росте. Кросс Росс 308 демонстрирует более сбалансированное нарастание структурных компонентов (кутикула, слизистая оболочка, подслизистая основа), а также усиление секреторного аппарата (рост числа бокаловидных клеток). У кросса «Смена 9» наблюдается перераспределение ресурсов: приоритет в развитии железистого отдела на ранних этапах и специфическое нарастание лимфоидной ткани на поздних при отставании в формировании защитных и соединительнотканых структур мышечного отдела.

3. Возраст и кросс влияют на гистологические и морфометрические особенности железистого и мышечного отделов желудка цыплят-бройлеров. Основным фактором, определяющим изменчивость морфометрических показателей желудка у обоих кроссов, является возраст (η^2 превышает 80–99 %; сила связи классифицируется как сильная ($\eta = 0,63 \dots 1,00$; $p \leq 0,001$)). У кросса Росс 308 влияние возраста на большинство морфометрических более значимо, по сравнению с кроссом Смена 9. Значимость фактора «кросс» прогрессивно возрастает и в наибольшей степени проявляется в 21- и 32-суточном возрасте.

4. Симметричность распределения морфометрических данных (совпадение моды, медианы и среднего) позволяет корректно использовать средние значения как репрезентативные характеристики выборок и применять параметрические методы анализа.

Выявленные закономерности могут быть использованы как морфологические критерии оценки физиологической зрелости желудка у бройлеров разных кроссов. Это дает возможность дифференцировать технологические подходы к кормлению и содержанию: для кросса Смена 9 может быть целесообразен более плавный переход на корма с повышенной механической нагрузкой, тогда как кросс Росс 308, вероятно, способен раньше адаптироваться к таким рационам за счет более раннего и выраженного развития защитных структур желудка.

Библиографический список

1. Овчинников А. А., Яптик Н. Д. Переваримость питательных веществ и использование энергии рациона цыплят-бройлеров с кормовой фитопребиотической добавкой // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2025. Т. 5, № 238. С. 3–12. DOI: 10.33920/sel-05-2505-01.

2. Strobel S., Encarnação J. A., Becker N. I., Trenczek T. E. Histological and histochemical analysis of the gastrointestinal tract of the common pipistrelle bat (*Pipistrellus pipistrellus*) // *European Journal of Histochemistry*. 2015. Vol. 59, No. 2. Article number 2477. DOI: 10.4081/ejh.2015.2477.
3. Неверова О. П., Горелик О. В., Харлап С. Ю. [и др.] Влияние биотехнологической добавки на весовой рост цыплят-бройлеров // *Аграрная наука*. 2023. Т. 376, № 11. С. 70–75. DOI: 10.32634/0869-8155-2023376-11-70-75.
4. Гриценко С. А., Белоокова О. В., Ребезов М. Б., Видякин Ю. Ю. Показатели убоя и химического состава мяса товарного молодняка птицы в зависимости от живой массы в суточном возрасте // *Аграрная наука*. 2023. Т. 376, № 11. С. 82–87. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-376-11-82-87.
5. Топурия Г. М., Топурия Л. Ю., Григорьева Е. В., Ребезов М. Б. Влияние пробиотиков на продуктивность цыплят-бройлеров // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2014. № 2 (46). С. 143–145.
6. Погосян Д. Г., Рыбалко М. Н. Продуктивные качества цыплят-бройлеров в зависимости от уровня протеина и обменной энергии в комбикормах // *Нива Поволжья*. 2024. № 1 (69). Article number 2002. DOI: 10.36461/NP.2024.69.1.018.
7. Роженцов А. Л., Смоленцев С. Ю. Эффективность технологии выращивания цыплят-бройлеров различных кроссов // *Ветеринарный врач*. 2019. № 1. С. 55–58. DOI: 10.33632/1998-698X.2019-1-55-59.
8. Гриценко С. А., Белоокова О. В., Ребезов М. Б. Взаимосвязь показателей роста товарного поголовья мясной птицы в различные периоды онтогенеза // *Все о мясе*. 2024. № 2. С. 40–45. DOI: 10.21323/2071-2499-2024-2-40-45.
9. Бессарабова Е. В., Миронова Е. Е., Мирзаев М. Н. Влияние кормовой добавки «Мелавит» на динамику роста и развития цыплят-бройлеров кросса «Росс-308» // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2025. Т. 1, № 4. С. 96–102. DOI: 10.36871/vet.zoo.bio.202504111.
10. Smith D. M., Grasty R. C., Theodosiou N. A., Tabin C. J., Nascone-Yoder N. M. Evolutionary relationships between the amphibian, avian, and mammalian stomachs // *Evolution & Development*. 2000. Vol. 2, No. 6. Pp. 348–359. DOI: 10.1046/j.1525-142x.2000.00076.x.
11. Dann J., Qu Z., Shearwin-Whyatt L., van der Ploeg R., Grützner F. Pseudogenization of NK3 homeobox 2 (*Nkx3.2*) in monotremes provides insight into unique gastric anatomy and physiology // *Open Biology*. 2024. Vol. 14, No. 7. Article number 240071. DOI: 10.1098/rsob.240071.
12. Baltic B. M., Lazic I. B., Mrdovic B., et al. Relationships between broiler final weights and histomorphometric parameters of certain segments of the intestine // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 854, No. 1. Article number 012006. DOI: 10.1088/1755-1315/854/1/012006.
13. Понкратова Т. Ю., Мелешков С. Ф., Сидорова Д. Г. Морфометрическая характеристика тощей и подвздошной кишки цыплят-бройлеров кросса Росс 308 через 30 и 40 суток постнатального периода в норме и при добавлении в рацион послеспиртовой сухой барды // *В мире научных открытий*. 2018. Т. 10, № 5. С. 74–87. DOI: 10.12731/wsd-2018-5-74-87.
14. Caviedes-Vidal E., McWhorter T. J., Lavin S. R., et al. The digestive adaptation of flying vertebrates: high intestinal paracellular absorption compensates for smaller guts // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2007. Vol. 104, No. 48. Pp. 19132–19137. DOI: 10.1073/pnas.0703159104.
15. Dörper A., Gort G., van Harn J., et al. Performance, egg quality and organ traits of laying hens fed black soldier fly larvae products // *Poultry Science*. 2024. Vol. 103, No. 11. Article number 104229. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104229.
16. Biasato I., Ferrocino I., Biasibetti E., et al. Modulation of intestinal microbiota, morphology and mucin composition by dietary insect meal inclusion in free-range chickens // *BMC Veterinary Research*. 2018. Vol. 14, No. 1. Article number 383. DOI: 10.1186/s12917-018-1690-y.
17. Thompson C. A., DeLaForest A., Battle M. A. Patterning the gastrointestinal epithelium to confer regional-specific functions // *Developmental Biology*. 2018. Vol. 435, No. 2. Pp. 97–108. DOI: 10.1016/j.ydbio.2018.01.006.
18. Duangnumsaeng Y., Zentek J., Goodarzi Boroojeni F. Development and functional properties of intestinal mucus layer in poultry // *Frontiers in Immunology*. 2021. Vol. 12. Article number 745849. DOI: 10.3389/fimmu.2021.745849.
19. Панина Е. В., Просекова Е. А., Черепанова Н. Г. [и др.] Влияние различных кормовых добавок на гистологическую структуру железистого отдела желудка цыплят-бройлеров // *Зоотехния*. 2021. № 1. С. 30–34. DOI: 10.25708/ZT.2020.63.83.007.
20. Liman N., Alan E., Küçük Bayram G. The differences between the localizations of MUC1, MUC5AC, MUC6 and osteopontin in quail proventriculus and gizzard may be a reflection of functional differences of stomach parts // *Journal of Anatomy*. 2010. Vol. 217, No. 1. Pp. 57–66. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2010.01243.x.
21. Takasaki R., Kobayashi Y. Anatomical description of neornithine stomach with implications on neornithine stomach morphology // *Journal of Anatomy*. 2024. Vol. 245, No. 5. Pp. 787–796. DOI: 10.1111/joa.14123.

22. Chen F., Yang G., Qiu H., Gao S., Hou L., Dong J., Zhao P., Dong W. Deoxynivalenol-induced pyroptosis and autophagy inhibition collectively promote inflammatory injury in the glandular stomach of chicken embryos // *Poultry Science*. 2025. Vol. 104, No. 5. Article number 105052. DOI: 10.1016/j.psj.2025.105052.
23. Ibrahim I. A., Mokhtar D. M., Fadl S. The morphological development of the proventriculus of Dandarawi chick: light and electron microscopical studies // *Morphologie*. 2020. Vol. 104, No. 344. DOI: 10.1016/j.morpho.2019.09.006.
24. Мифтахутдинов А. В., Ноговицина Е. А., Акентьева Е. В., Шакирова Ю. С. Изучение отдельных морфометрических особенностей стенки тонкой кишки у цыплят-бройлеров в условиях технологических стрессов в промышленном птицеводстве и на фоне их фармакологической профилактики // *Аграрная наука*. 2025. Т. 399, № 10. С. 8–16. DOI: 10.32634/0869-8155-2025-399-10-8-16.
25. Takasaki R., Kobayashi Y. Effects of diet and gizzard muscularity on grit use in domestic chickens // *PeerJ*. 2020. Vol. 8. Article number e10277. DOI: 10.7717/peerj.10277.
26. Шкуратова И. А., Дроздова Л. И., Петрова И. М. [и др.] Возрастные аспекты структурно-функциональной дегенерации тканей органов кур в условиях промышленного содержания // *Аграрный научный журнал*. 2025. № 2. С. 108–116. DOI: 10.28983/asjy2025i2pp108-116.
27. Зинина О. В., Меренкова С. П., Ребезов М. Б., Вишнякова Е. А. Исследование свойств белковых гидролизатов, полученных из желудков цыплят-бройлеров, как потенциального компонента биоактивных пленочных покрытий // *Пищевые системы*. 2024. Т. 7, № 1. С. 44–51. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-1-44-51.
28. Ваххаб С. А., Бушукина О. С. Морфологическая характеристика желудка цыплят кроссов «Росс-308» и «Хайсекс браун» // *Птицеводство*. 2018. № 1. С. 45–49.
29. Колесник Е. А., Дерхо М. А., Ребезов М. Б., Мамылина Н. В. Индекс атерогенности, соотношения липопротеинов, общего холестерина и белка бройлерных кур как фактор здоровьесберегающих технологий // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 11. С. 1459–1475. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-11-1459-1475.
30. Ролдугина Н. П., Никитченко В. Е., Яглов В. В. Практикум по цитологии, гистологии и эмбриологии. Москва: Колос, 2004. 122 с.
31. Колесник Е. А., Дерхо М. А., Ребезов М. Б. Функциональные морфоденситометрические параметры хроматина ядра и цитоплазмы эритробластов и эритроцитов птиц в постэмбриональном онтогенезе // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 1. С. 59–85. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-59-85.
32. Адельгейм Е. Е., Горшкова Е. В. Морфологическая характеристика мышечного отдела желудка цыплят-бройлеров при введении в рацион БАВ // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 6, № 74. С. 174–176.
33. Дроздова Л. И., Даут А. В., Корч М. А. Сравнительное морфологическое исследование железистых желудков кур и гусей // *Международный журнал аграрной науки и образования*. 2025. Т. 2, № 6. С. 62–67.
34. Бытов М. В., Петрова И. М., Дроздова Л. И. [и др.] Возрастные особенности морфологических изменений кишечника кур и экспрессии SOD1 // *Птицеводство*. 2026. № 2. С. 28–35. DOI: 10.33845/0033-3239-2026-75-2-28-35.
35. Zinina O., Merenkova S., Rebezov M., et al. Physicochemical, functional, and technological properties of protein hydrolysates obtained by microbial fermentation of broiler chicken gizzards // *Fermentation*. 2022. Vol. 8, No. 7. Article 317. DOI: 10.3390/fermentation8070317.
36. Курмашева С. С., Сложенкина М. И., Комарова З. Б., Головин В. В., Воронина Т. В. Особенности постэмбрионального развития железистого желудка цыплят кросса Росс 308 // *Аграрно-пищевые инновации*. 2020. Т. 1, № 9. С. 30–38. DOI: 10.31208/2618-7353-2020-9-30-38.
37. Колесник Е. А., Дерхо М. А. Комплексная оценка роли гормональных и метаболических факторов в процессах роста и развития у цыплят-бройлеров // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2015. № 4. С. 72–81.
38. Рассказова Е. Д., Семенютин В. В. Гистоструктура и масса некоторых иммунокомпетентных органов цыплят-бройлеров при скормливании кормовой добавки «ЭНТ-ОЙЛ ИНДРОРУЖ НМ» // *Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии*. 2025. Т. 1, № 35. С. 13–17.
39. Вертипрахов В. Г. Физиология кишечного пищеварения у кур (экспериментальный подход): монография. Москва: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. 175 с.
40. Дымков А. Б., Понтанькова Е. П., Полянская В. В. Интенсивность развития цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» в первые недели онтогенеза // *Главный зоотехник*. 2024. Т. 10, № 255. С. 17–26. DOI: 10.33920/sel-03-2410-02.
41. Селезнева М. С., Зайцева Е. В. К морфологии желудка сельскохозяйственных птиц // *Ученые записки Брянского государственного университета*. 2016. № 2. С. 76–80.
42. Матвеев О. А., Жамбулов М. М. Морфометрические показатели органов пищеварения цыплят-бройлеров кросса Росс 308 // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017. № 1. С. 119–122.

43. Li Y., Liu X., Bai X., et al. Genetic parameters estimation and genome-wide association studies for internal organ traits in an F2 chicken population // *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2022. Vol. 139, No. 4. Pp. 434–446. DOI: 10.1111/jbg.12674.

44. Richardson N. T., Jahnel R. E., Mekanjuola B. O., et al. Meta-analysis of poultry organ weights and their relationship with meat yield // *Poultry Science*. 2025. Vol. 104, No. 11. Article number 105634. DOI: 10.1016/j.psj.2025.105634.

45. Madkour F. A., Kandyel R. M. Histomorphology and ultrastructure of the proventriculus of the broad breasted white turkey (*Meleagris gallopavo*, Linnaeus 1758) // *Microscopy Research and Technique*. 2022. Vol. 85, No. 11. Pp. 3514–3529. DOI: 10.1002/jemt.24203.

Об авторах:

Марина Аркадьевна Дерхо, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой естественнонаучных дисциплин, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0003-3818-0556, AuthorID 310613. *E-mail: derkho2010@yandex.ru*

Светлана Анатольевна Гриценко, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой кормления, гигиены животных, технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0003-2334-4925, AuthorID 304056. *E-mail: zf.usavm@mail.ru*

Павел Валерьевич Бурков, кандидат ветеринарных наук, руководитель научно-исследовательского центра биотехнологии репродукции животных, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0001-7515-5670, AuthorID 282451. *E-mail: burcovpavel@mail.ru*

Юлия Васильевна Матросова, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой птицеводства, Южно-Уральский государственный аграрный университет, Троицк, Россия; ORCID 0000-0003-0980-3195, AuthorID 409426. *E-mail: vasilek_23@mail.ru*

Максим Борисович Ребезов, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764. *E-mail: m.rebezov@fnpcps.ru*

References

1. Ovchinnikov A. A., Yaptik N. D. Digestibility of nutrients and energy utilization in broiler chickens fed with a phytorebiotic feed additive. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2025; 5 (238): 3–12. DOI: 10.33920/sel-05-2505-01. (In Russ.)

2. Strobel S., Encarnação J. A., Becker N. I., Trenczek T. E. Histological and histochemical analysis of the gastrointestinal tract of the common pipistrelle bat (*Pipistrellus pipistrellus*). *European Journal of Histochemistry*. 2015; 59 (2): 2477. DOI: 10.4081/ejh.2015.2477.

3. Neverova O. P., Gorelik O. V., Kharlap S. Yu., et al. Influence of a biotechnological additive on the weight growth of broiler chickens. *Agrarian Science*. 2023; 376 (11): 70–75. DOI: 10.32634/0869-8155-2023376-11-70-75. (In Russ.)

4. Gritsenko S. A., Belookova O. V., Rebezov M. B., Vidyakin Yu. Yu. Indicators of slaughter and chemical composition of meat of commercial young meat poultry depending on live weight at daily age. *Agrarian Science*. 2023; 376 (11): 82–87. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-376-11-82-87. (In Russ.)

5. Topuriya G. M., Topuriya L.Yu., Grigoryeva E. V., Rebezov M. B. The influence of probiotics on the productivity of broiler chickens. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2014; 2 (46): 143–145. (In Russ.)

6. Pogosyan D. G., Rybalko M. N. Productive qualities of broiler chickens depending on the level of protein and total energy in compound feeds. *Volga Region Farmland*. 2024; 1 (69): 2002. DOI: 10.36461/NP.2024.69.1.018. (In Russ.)

7. Rozhentsov A. L., Smolentsev S. Yu. Efficiency of the technology for raising broiler chickens of various crosses. *Veterinarny Vrach*. 2019; 1: 55–58. DOI: 10.33632/1998-698X.2019-1-55-59. (In Russ.)

8. Gritsenko S. A., Belookova O. V., Rebezov M. B. Interrelationship of growth indicators of commercial poultry population in different periods of ontogenesis. *Vsyo o Myase*. 2024; 2: 40–45. DOI: 10.21323/2071-2499-2024-2-40-45. (In Russ.)

9. Bessarabova E. V., Mironova E. E., Mirzaev M. N. The effect of the feed additive “Melavit” on the growth and development dynamics of Ross 308 cross broiler chickens. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2025; 1 (4): 96–102. DOI: 10.36871/vet.zoo.bio.202504111. (In Russ.)

10. Smith D. M., Grasty R. C., Theodosiou N. A., Tabin C. J., Nascone-Yoder N. M. Evolutionary relationships between the amphibian, avian, and mammalian stomachs. *Evolution & Development*. 2000; 2 (6): 348–359. DOI: 10.1046/j.1525-142x.2000.00076.x.

11. Dann J., Qu Z., Shearwin-Whyatt L., van der Ploeg R., Grützner F. Pseudogenization of NK3 homeobox 2 (Nkx3.2) in monotremes provides insight into unique gastric anatomy and physiology. *Open Biology*. 2024; 14 (7): 240071. DOI: 10.1098/rsob.240071.
12. Baltic B. M., Lazic I. B., Mrdovic B., et al. Relationships between broiler final weights and histomorphometric parameters of certain segments of the intestine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 854 (1): 012006. DOI: 10.1088/1755-1315/854/1/012006.
13. Ponkratova T. Yu., Meleshkov S. F., Sidorova D. G. Morphometric characteristics of the jejunum and ileum of broiler chickens of the Ross 308 cross after 30 and 40 days of the postnatal period under normal conditions and with the addition of post-alcohol dry distiller's grains to the diet. *In the World of Scientific Discoveries*. 2018; 10 (5): 74–87. DOI: 10.12731/wsd-2018-5-74-87. (In Russ.)
14. Caviedes-Vidal E., McWhorter T. J., Lavin S. R., et al. The digestive adaptation of flying vertebrates: high intestinal paracellular absorption compensates for smaller guts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2007; 104 (48): 19132–19137. DOI: 10.1073/pnas.0703159104.
15. Dörper A., Gort G., van Harn J., et al. Performance, egg quality and organ traits of laying hens fed black soldier fly larvae products. *Poultry Science*. 2024; 103 (11): 104229. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104229.
16. Biasato I., Ferrocino I., Biasibetti E., et al. Modulation of intestinal microbiota, morphology and mucin composition by dietary insect meal inclusion in free-range chickens. *BMC Veterinary Research*. 2018; 14 (1): 383. DOI: 10.1186/s12917-018-1690-y.
17. Thompson C. A., DeLaForest A., Battle M. A. Patterning the gastrointestinal epithelium to confer regional-specific functions. *Developmental Biology*. 2018; 435 (2): 97–108. DOI: 10.1016/j.ydbio.2018.01.006.
18. Duangnumsaeng Y., Zentek J., Goodarzi Boroojeni F. Development and functional properties of intestinal mucus layer in poultry. *Frontiers in Immunology*. 2021; 12: 745849. DOI: 10.3389/fimmu.2021.745849.
19. Panina E. V., Prosekova E. A., Cherepanova N. G., et al. The effect of various feed additives on the histological structure of the glandular part of the stomach in broiler chickens. *Journal Zootechniya*. 2021; 1: 30–34. DOI: 10.25708/ZT.2020.63.83.007. (In Russ.)
20. Liman N., Alan E., Küçük Bayram G. The differences between the localizations of MUC1, MUC5AC, MUC6 and osteopontin in quail proventriculus and gizzard may be a reflection of functional differences of stomach parts. *Journal of Anatomy*. 2010; 217 (1): 57–66. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2010.01243.x.
21. Takasaki R., Kobayashi Y. Anatomical description of neornithine stomach with implications on neornithine stomach morphology. *Journal of Anatomy*. 2024; 245 (5): 787–796. DOI: 10.1111/joa.14123.
22. Chen F., Yang G., Qiu H., et al. Deoxynivalenol-induced pyroptosis and autophagy inhibition collectively promote inflammatory injury in the glandular stomach of chicken embryos. *Poultry Science*. 2025; 104 (5): 105052. DOI: 10.1016/j.psj.2025.105052.
23. Ibrahim I. A., Mokhtar D. M., Fadl S. The morphological development of the proventriculus of Dandara wi chick: light and electron microscopical studies. *Morphologie*. 2020; 104 (344). DOI: 10.1016/j.morpho.2019.09.006.
24. Miftakhutdinov A. V., Nogovitsina E. A., Akentyeva E. V., Shakirova Yu. S. Study of individual morphometric features of the small intestine wall in broiler chickens under conditions of technological stress in industrial poultry farming and against the background of their pharmacological prevention. *Agrarian Science*. 2025; 399 (10): 8–16. DOI: 10.32634/0869-8155-2025-399-10-8-16. (In Russ.)
25. Takasaki R., Kobayashi Y. Effects of diet and gizzard muscularity on grit use in domestic chickens. *PeerJ*. 2020; 8: e10277. DOI: 10.7717/peerj.10277.
26. Shkuratova I. A., Drozdova L. I., Petrova I. M., et al. Age-related aspects of structural and functional degeneration of chicken organ tissues under industrial housing conditions. *Agrarian Scientific Journal*. 2025; 2: 108–116. DOI: 10.28983/asj.2025i2pp108-116. (In Russ.)
27. Zinina O. V., Merenkova S. P., Rebezov M. B., Vishnyakova E. A. Study of the properties of protein hydrolysates obtained from the stomachs of broiler chickens as a potential component of bioactive film coatings. *Food Systems*. 2024; 7 (1): 44–51. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-1-44-51. (In Russ.)
28. Vakhhab S. A., Bushukina O. S. Morphological characteristics of the stomach of chickens of the Ross-308 and Hisex Brown crosses. *Pticevodstvo*. 2018; 1: 45–49. (In Russ.)
29. Kolesnik E. A., Derkho M. A., Rebezov M. B., Mamilina N. V. Atherogenicity index, lipoprotein ratio, total cholesterol and protein of broiler chickens as a factor in health-saving technologies. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (11): 1459–1475. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-11-1459-1475. (In Russ.)
30. Roldugina N. P., Nikitchenko V. E., Yaglov V. V. *Practical Course in Cytology, Histology and Embryology*. Moscow: Kolos, 2004. 122 p. (In Russ.)
31. Kolesnik E. A., Derkho M. A., Rebezov M. B. Functional morphodensitometric parameters of the chromatin of the nucleus and cytoplasm of erythroblasts and erythrocytes of birds in postembryonic ontogenesis. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (1): 59–85. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-59-85. (In Russ.)

32. Adelgeim E. E., Gorshkova E. V. Morphological characteristics of the muscular part of the stomach in broiler chickens when biologically active substances are introduced into the diet. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018; 6 (74): 174–176. (In Russ.)
33. Drozdova L. I., Daut A. V., Korch M. A. Comparative morphological study of the glandular stomachs of chickens and geese. *International Journal of Agrarian Science and Education*. 2025; 2 (6): 62–67. (In Russ.)
34. Bytov M. V., Petrova I. M., Drozdova L. I., et al. Age-related features of morphological changes in the chicken intestine and SOD1 expression. *Pticevodstvo*. 2026; 2: 28–35. DOI: 10.33845/0033-3239-2026-75-2-28-35. (In Russ.)
35. Zinina O., Merenkova S., Rebezov M., Galimov D., Khayrullin M., Burkov P. Physicochemical, functional, and technological properties of protein hydrolysates obtained by microbial fermentation of broiler chicken gizzards. *Fermentation*. 2022; 8 (7): 317. DOI: 10.3390/fermentation8070317.
36. Kurmasheva S. S., Slozhenkina M. I., Komarova Z. B., Golovin V. V., Voronina T. V. Features of post-embryonic development of the glandular stomach in Ross 308 crossbred chickens. *Agrarian-and-Food Innovations*. 2020; 1 (9): 30–38. DOI: 10.31208/2618-7353-2020-9-30-38. (In Russ.)
37. Kolesnik E. A., Derkho M. A. A comprehensive assessment of the role of hormonal and metabolic factors in the processes of growth and development in broiler chickens. *Problems of Productive Animal Biology*. 2015; 4: 72–81. (In Russ.)
38. Rasskazova E. D., Semenyutin V. V. Histostructure and mass of some immunocompetent organs of broiler chickens when fed the feed additive “ENT-OIL INDRO-NM”. *Actual Issues in Agricultural Biology*. 2025; 1 (35): 13–17. (In Russ.)
39. Vertiprakhov V. G. *Physiology of Intestinal Digestion in Chickens (Experimental Approach)*: monograph. Moscow: RSAU-MAA named after K. A. Timiryazev, 2022. 175 p. (In Russ.)
40. Dymkov A. B., Pontankova E. P., Polyanskaya V. V. The intensity of development of broiler chickens of the “Smena 9” cross in the first weeks of ontogenesis. *Head of Animal Breeding*. 2024; 10 (255): 17–26. DOI: 10.33920/sel-03-2410-02. (In Russ.)
41. Selezneva M. S., Zaytseva E. V. On the morphology of the stomach of agricultural birds. *Scientific Notes of the Bryansk State University*. 2016; 2: 76–80. (In Russ.)
42. Matveev O. A., Zhambulov M. M. Morphometric parameters of digestive organs of broiler chickens of the Ross 308 cross. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017; 1: 119–122. (In Russ.)
43. Li Y., Liu X., Bai X., et al. Genetic parameters estimation and genome-wide association studies for internal organ traits in an F2 chicken population. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2022; 139 (4): 434–446. DOI: 10.1111/jbgs.12674.
44. Madkour F. A., Kandyl R. M. Histomorphology and ultrastructure of the proventriculus of the broad breasted white turkey (*Meleagris gallopavo*, Linnaeus 1758). *Microscopy Research and Technique*. 2022; 85 (11): 3514–3529. DOI: 10.1002/jemt.24203.
45. Richardson N. T., Jahnel R. E., Mekanjuola B. O., et al. Meta-analysis of poultry organ weights and their relationship with meat yield. *Poultry Science*. 2025; 104 (11): 105634. DOI: 10.1016/j.psj.2025.105634.

Authors' information:

Marina A. Derkho, doctor of biological sciences, professor, head of the department of natural sciences, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0003-3818-0556, AuthorID 310613.

E-mail: derkho2010@yandex.ru

Svetlana A. Gritsenko, doctor of biological sciences, professor, head of the department of feeding, animal hygiene, technology of production and processing of agricultural products, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0003-2334-4925, AuthorID 304056. E-mail: zf.usavm@mail.ru

Pavel V. Burkov, candidate of veterinary sciences, head of the research center for animal reproduction biotechnology, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0001-7515-5670, AuthorID 282451. E-mail: burcovpavel@mail.ru

Yuliya V. Matrosova, doctor of agricultural sciences, head of the department of poultry farming, South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia; ORCID 0000-0003-0980-3195, AuthorID 409426.

E-mail: vasilek_23@mail.ru

Maksim B. Rebezov, doctor of agricultural sciences, candidate of veterinary sciences, professor, chief researcher, Gorbato Research Center for Food Systems, Moscow, Russia; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764.

E-mail: m.rebezov@fncps.ru

Разработка наборов для диагностики генетических нарушений крупного рогатого скота голштинской породы (НН4, НН5, MW)

В. Д. Зубарева[✉], М. В. Бытов, Н. А. Мартынов, О. С. Зайцева, М. А. Печенкина

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: zzub97@mail.ru

Аннотация. Голштинские гаплотипы 4 (НН4) и 5 (НН5), а также миссенс-мутация в гене *CACNA1S*, вызывающая синдром врожденной мышечной слабости (MW), относятся к рецессивным генетическим нарушениям крупного рогатого скота голштинской породы. Распространение данных мутаций связано с интенсивным использованием геномной селекции, которая, несмотря на положительные эффекты в повышении молочной продуктивности, способствует усилению инбридинга и накоплению летальных и сублетальных аллелей в популяциях. **Цель** – разработка новых ПЦР-тест-систем в режиме реального времени на основе технологии TaqMan для диагностики MW, НН4 и НН5. **Методы.** В работе использованы образцы ДНК коров из созданного биобанка крупного рогатого скота голштинской породы популяций Свердловской области, Республики Удмуртия, Пермского и Краснодарского краев. Количество особей для скрининга НН4 составило 139 голов, для НН5 и MW – 137 голов. Разработка тест-систем включала подбор специфических праймеров и зондов, оптимизацию условий амплификации и валидацию на контрольных образцах с известным генотипом. **Научная новизна** заключается в том, что впервые созданы и апробированы ПЦР-тест-системы в реальном времени для одновременной детекции трех рецессивных генетических нарушений (MW, НН4 и НН5) у крупного рогатого скота голштинской породы в популяциях Российской Федерации. Разработанные подходы позволяют проводить генотипирование с высокой точностью и воспроизводимостью, что ранее не было реализовано в формате TaqMan-зондов для данных мутаций. **Результаты.** В ходе скрининга носителей НН4 не обнаружено. Частота носительства НН5 составила 0,73 % (95 % ДИ: 0,08–3,36); частота носительства MW – 10,22 % (95 % ДИ: 5,98–16,12). Разработанные тест-системы обеспечивают быструю, специфичную и экономически доступную диагностику, что делает их пригодными для рутинного скрининга в селекционных программах. Полученные данные свидетельствуют о необходимости систематического мониторинга генетических нарушений в популяциях голштинского скота Российской Федерации с целью своевременного выявления и элиминации носителей летальных и сублетальных аллелей из селекционных программ.

Ключевые слова: голштинский гаплотип 4, голштинский гаплотип 5, синдром врожденной мышечной слабости, ПЦР в реальном времени, TaqMan-зонды, крупный рогатый скот, генетическая диагностика, частота носительства

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания № 0532-2025-0003 по теме «Разработка высокоточных методов идентификации генетических детерминант устойчивости к заболеваниям для использования в селекции крупного рогатого скота».

Для цитирования: Зубарева В. Д., Бытов М. В., Мартынов Н. А., Зайцева О. С., Печенкина М. А. Разработка наборов для диагностики генетических нарушений крупного рогатого скота голштинской породы (НН4, НН5, MW) // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1704–1711. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1704-1711>.

Дата поступления статьи: 10.06.2026, **дата рецензирования:** 30.06.2026, **дата принятия:** 31.07.2026.

Development of diagnostic kits for Holstein genetic disorders (HH4, HH5, MW)

V. D. Zubareva[✉], M. V. Bytov, N. A. Martynov, O. S. Zaytseva, M. A. Pechenkina

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

[✉]E-mail: zzub97@mail.ru

Abstract. Holstein haplotypes 4 (HH4) and 5 (HH5), as well as early-onset muscle weakness syndrome (MW), are recessive genetic disorders reported in Holstein cattle. The spread of these mutations is associated with the intensive use of genomic selection, which, despite positive effects on milk production, contributes to increased inbreeding and the accumulation of lethal and sublethal alleles in populations. **The purpose** of this study was to develop novel real-time TaqMan-based PCR assays for the diagnosis of MW, HH4, and HH5. **Methods.** DNA samples from Holstein cows were obtained from the biobank, representing populations from Sverdlovsk region, the Udmurt Republic, Perm Krai, and Krasnodar Krai. The number of tested animals for HH4 was 139, for HH5 and MW – 137. The development of the assay systems included selecting specific primers and probes, optimizing amplification conditions, and validating the assays on control samples with known genotypes. **The scientific novelty** lies in the fact that real-time PCR assay systems were developed and tested for the first time for the simultaneous detection of three recessive genetic disorders (MW, HH4, and HH5) in Holstein cattle populations of the Russian Federation. The developed approaches enable genotyping with high accuracy and reproducibility, which had not previously been implemented in a TaqMan probe format for these mutations. **Results.** Screening revealed no carriers of HH4. The carrier frequency of HH5 was 0.73 % (95 % CI: 0.08–3.36), and the carrier frequency of MW was 10.22 % (95 % CI: 5.98–16.12). The developed assays provide rapid, specific, and cost-effective detection, making them suitable for routine screening in breeding programs. The obtained data indicate the necessity of systematic monitoring of genetic disorders in Holstein cattle populations of the Russian Federation for the timely detection and elimination of carriers of lethal and sublethal alleles from breeding programs.

Keywords: Holstein haplotype 4, Holstein haplotype 5, muscle weakness syndrome, real-time PCR, TaqMan probes, cattle, genetic diagnostics, carrier frequency

Acknowledgments: The study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Assignment No. 0532-2025-0003 on the topic “Development of high-precision methods for identifying genetic determinants of disease resistance for use in cattle breeding”.

For citation: Zubareva V. D., Bytov M. V., Martynov N. A., Zaytseva O. S., Pechenkina M. A. Development of diagnostic kits for genetic disorders in Holstein cattle (HH4, HH5, MW). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1704–1711. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1704-1711>. (In Russ.)

Date of paper submission: 10.06.2026, **date of review:** 30.06.2026, **date of acceptance:** 31.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Голштинские гаплотипы 4 и 5, а также миссенс-мутация в гене *CACNA1S*, вызывающая синдром ранней мышечной слабости (MW), представляют собой рецессивные генетические нарушения крупного рогатого скота голштинской породы. Искусственное осеменение, экстракорпоральное оплодотворение и трансплантация эмбрионов используются в геномной селекции, направленной на повышение удоя, содержания жира и белка в молоке, а также для отбора животных с желательными фенотипическими характеристиками. Вместе с тем, несмотря на указанные положительные эффекты, геномная селекция способствует усилению инбри-

динга, что сопровождается возникновением летальных мутаций и проявлением новых рецессивных аномалий [1].

Синдром ранней мышечной слабости (Early-onset muscle weakness syndrome, MW/HMW) – это рецессивное моногенное заболевание крупного рогатого скота голштинской породы (OMIA 002819-9913), обусловленное миссенс-мутацией в гене *CACNA1S* (rs3423414874; c.3068G>A; p.Gly1029Ser), локализованном на 16-й хромосоме. Ген кодирует $\alpha 1S$ -субъединицу дигидропиридинового рецептора (DHPR), который является ключевым компонентом системы сопряжения возбуждения и сокращения скелетной мускулатуры. Замена

глицина серином в положении 1029 нарушает регуляцию внутриклеточного кальция, что клинически проявляется неонатальной астазией – неспособностью новорожденных телят самостоятельно стоять, а также характерной позой и прогрессирующей атрофией мышц тазового пояса [2; 3].

Важной особенностью MW является неполная пенетрантность: часть гомозиготных особей демонстрирует минимальные клинические признаки или сохраняет жизнеспособность при хорошем уходе, что существенно осложняет диагностику и требует обязательного применения молекулярно-генетических методов [2; 3]. В настоящее время для диагностики данного генетического нарушения разработана аллель-специфичная ПЦР [4].

Голштинский гаплотип 4 (НН4) представляет собой рецессивное наследственное нарушение, ассоциированное с мутацией в гене GART (OMIA: 001826–9913), впервые описанное в 2013 году. Фенотипически НН4 проявляется эмбриональной смертностью: гибель плода происходит на сроках гестации от 60 до 100 дней. Гомозиготные по мутантному аллелю эмбрионы нежизнеспособны, что приводит к ранним абортam и снижению репродуктивных показателей у коров-носителей [5]. Для проведения скрининговых исследований НН4 Н. В. Ковалюк с соавторами разработана ПЦР-ПДРФ [6].

Голштинский гаплотип 5 (НН5) обусловлен мутацией в гене TFB1M (OMIA: 001941–9913), впервые описан в 2016 году. Как и НН4, данное нарушение относится к рецессивным летальным мутациям с эмбриональной гибелью гомозигот на сроках стельности от 60 до 100 дней. Мутация в гене TFB1M нарушает нормальное развитие плода, что приводит к его резорбции или абортu. НН5 представляет собой один из наиболее распространенных гаплотипов в популяции голштинского скота, что требует обязательного мониторинга носительства в племенных стадах с целью предотвращения распространения [5]. Y. Zhang с соавторами разработали ПЦР-тест-системы на основе конкурентной аллель-специфической ПЦР (KASP) для дифференциации аллелей дикого типа и соответствующих мутантных аллелей как для НН4, так и для НН5 [7].

Существующие диагностические подходы, несмотря на свою эффективность, обладают рядом ограничений: необходимость электрофоретической детекции (для ПЦР-ПДРФ и аллель-специфичной ПЦР) либо использование сложных и дорогостоящих платформ (для кастомной KASP-системы). Кроме того, отсутствуют унифицированные протоколы ПЦР в реальном времени для детекции НН4, НН5 и MW, что затрудняет внедрение рутинного скрининга в ветеринарных лабораториях. Разработка ПЦР-тест-систем с использованием гидролизующих зондов позволит совместить высокую специ-

фичность и сократить время анализа, что особенно актуально для массового генотипирования в селекционных программах.

Цель исследования – разработать новые ПЦР-тест-системы для диагностики летальных и сублетальных генетических мутаций крупного рогатого скота голштинской породы.

Методология и методы исследования (Methods)

Объект исследования – ДНК крупного рогатого скота голштинской породы. Предмет исследования – ДНК-маркеры, ассоциированные с генетически детерминированными заболеваниями крупного рогатого скота (синдром врожденной мышечной слабости (MW), голштинские гаплотипы 4, 5).

Схема эксперимента

Исследование выполнено на образцах ДНК биобанка, созданного в отделе геномных исследований и селекции животных Уральского НИВИ – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Всего для диагностики голштинского гаплотипа 4 было исследовано 139 проб ДНК от коров Свердловской области, Республики Удмуртии и Пермского края. Скрининг на наличие голштинского гаплотипа 5 проведен на 137 образцах ДНК от коров Свердловской области и Республики Удмуртия, на наличие синдрома врожденной мышечной слабости – на 137 пробах ДНК от коров голштинской породы Краснодарского края, Свердловской области и Республики Удмуртия.

Оборудование и технические средства

Для идентификации носителей синдрома врожденной мышечной слабости и голштинского гаплотипа 4 были разработаны собственные ПЦР-тест-системы. Для диагностики голштинского гаплотипа 5 был использован ранее предложенный A. Khatib с соавторами набор праймеров, для которого дополнительно нами были разработаны специфические зонды [8].

Для диагностики на носительство мутаций использовали специфические олигонуклеотидные праймеры, синтезированные компанией «Биолаб-микс» (Россия) (таблица 1). Дизайн олигонуклеотидов выполнен с помощью FastPCR 6.8 [9; 10]. Определение температур плавления и отжига праймеров проведено с использованием Primer BLAST [11] и IDT-DNA OligoAnalyser [12], а проверка на наличие димеров – с помощью ThermoFisher Multiple Primer Analyzer [13]. Амплификацию ДНК проводили с помощью экстрамикса HS-Taq ПЦР (2x) (diaGene, Россия), детекцию – в амплификаторе CFX Opus 96 (Bio-Rad Laboratories, Inc., США).

Температурные режимы, оптимальные для протекания реакций, представлены в таблице 2. Оценку специфичности разработанных реакций проводили с использованием горизонтального гель-электрофореза.

Таблица 1

Последовательности праймеров, использованные в исследовании

Последовательность 5'–3'	Размер ампликона, п. н.
Голштинский гаплотип 4 (HH4)	
F: AAGGTGTCCTCTATGCTGG R: GTGCAGAGCAAGCCATCTA HH4_prN: [FAM]TTTAaT[LNA-T]GCCGTTTCGGTGATCCA[BHQ1] HH4_prM: [ROX]TTAcT[LNA-T]GCCGTTTCGGTGATCC[BHQ2]	324
Голштинский гаплотип 5 (HH5) [8; данное исследование]	
F: AGATATGCTAAAGTTTACCTAGAAGAA WT_R: CTGAAGCTCCATTCTGAGTCAT Del_R: TGCTCTATGAATTTTGTGAATGGT HH5_prN: [FAM]TGTTT[LNA-G]AAAAATATCTGTTATTTTGCC[BHQ1] HH5_prM: [ROX]TGGTGTAGGTTCTAAAATGTCTTG[BHQ2]	442 (дикий тип) 256 (мутантная аллель)
Синдром врожденной мышечной слабости (MW)	
F: GAAATTTTCCCCTCAA[LNA-G]CC R: TGCTCATCGTCATGCTCTTC prN2: [FAM]CTACGCGGTCATCgGCATG[BHQ1] prM2: [ROX]CATCTACGCGGTCATCaGCATG[BHQ2]	386

Biology and biotechnologies

Table 1

Sequences of primers used in the study

Sequence 5'–3'	Amplicon size, bp
Holstein haplotype 4 (HH4)	
F: AAGGTGTCCTCTATGCTGG R: GTGCAGAGCAAGCCATCTA HH4_prN: [FAM]TTTAaT[LNA-T]GCCGTTTCGGTGATCCA[BHQ1] HH4_prM: [ROX]TTAcT[LNA-T]GCCGTTTCGGTGATCC[BHQ2]	324
Holstein haplotype 5 (HH5) [8; this study]	
F: AGATATGCTAAAGTTTACCTAGAAGAA WT_R: CTGAAGCTCCATTCTGAGTCAT Del_R: TGCTCTATGAATTTTGTGAATGGT HH5_prN: [FAM]TGTTT[LNA-G]AAAAATATCTGTTATTTTGCC[BHQ1] HH5_prM: [ROX]TGGTGTAGGTTCTAAAATGTCTTG[BHQ2]	442 (wild type) 256 (mutant allele)
Muscle weakness syndrome (MW)	
F: GAAATTTTCCCCTCAA[LNA-G]CC R: TGCTCATCGTCATGCTCTTC prN2: [FAM]CTACGCGGTCATCgGCATG[BHQ1] prM2: [ROX]CATCTACGCGGTCATCaGCATG[BHQ2]	386

Таблица 2

Режимы амплификации, используемые в исследовании

Протокол амплификации
Голштинский гаплотип 4 (HH4)
1 цикл: 95 °C – 5 мин.;
40 циклов: 95 °C – 20 с, 60 °C – 30 с, 72 °C – 20 с
Голштинский гаплотип 5 (HH5) [8, данное исследование]
1 цикл: 95 °C – 5 мин.;
40 циклов: 95 °C – 30 с, 57 °C – 30 с, 72 °C – 30 с
Синдром врожденной мышечной слабости (MW)
1 цикл: 95 °C – 5 мин.;
40 циклов: 95 °C – 20 с, 63 °C – 30 с, 72 °C – 20 с

Table 2

Amplification protocols

Amplification protocol
Holstein haplotype 4 (HH4)
1 cycle: 95 °C – 5 min.;
40 cycles: 95 °C – 20 s, 60 °C – 30 s, 72 °C – 20 s
Holstein haplotype 5 (HH5) [8, this study]
1 cycle: 95 °C – 5 min.;
40 cycles: 95 °C – 30 s, 57 °C – 30 s, 72 °C – 30 s
Muscle weakness syndrome (MW)
1 cycle: 95 °C – 5 min.;
40 cycles: 95 °C – 20 s, 63 °C – 30 s, 72 °C – 20 s

Статистическая обработка

Доверительный интервал (95 % ДИ), характеризующий частоту встречаемости аллелей в генеральной совокупности по данным выборочных частот, рассчитывали по методу Джеффриса с использованием онлайн-калькулятора [14].

Результаты (Results)

В результате проведенных исследований были разработаны ПЦР-тест-системы для диагностики синдрома врожденной мышечной слабости и голштинских гаплотипов 4 и 5.

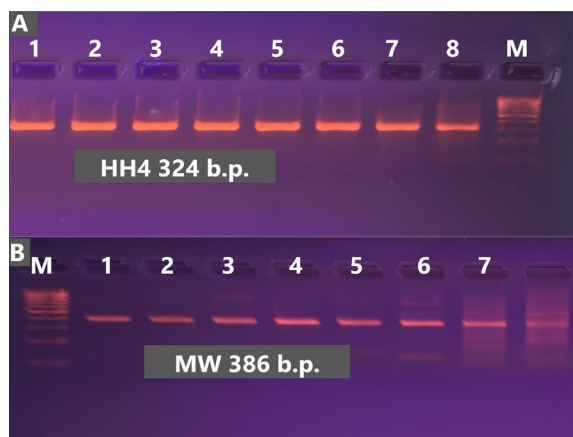


Рис. 1. Результаты оптимизации тест-системы:
А. Для диагностики голштинского гаплотипа 4.
В. Для диагностики синдрома врожденной мышечной слабости.
1–8 – эксперимент с градиентом температур,
М – размерный стандарт с шагом 100 п. н.
Fig. 1. Optimization of the test system:
А. For the diagnosis of Holstein haplotype 4.
В. For the diagnosis of weak muscle syndrome.
1–8 – gradient PCR at the annealing step,
М – 100-bp DNA ladder

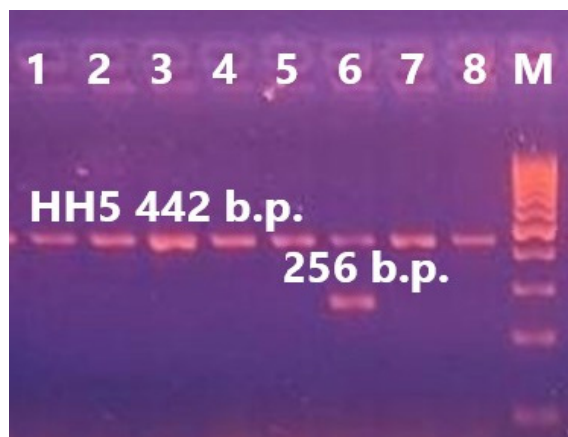


Рис. 2. Результаты электрофореза для диагностики голштинского гаплотипа 5: 1–5, 7, 8 – аллель дикого типа (442 п. н.); 6 – мутантная аллель (246 п. н.), М – размерный стандарт с шагом 100 п. н.
Fig. 2. Agarose gel electrophoresis results for the diagnosis of Holstein haplotype 5: lanes 1–5, 7, 8 – wild-type allele (442 b. p.); lane 6 – mutant allele (246 b. p.), М – 100-bp DNA ladder

Таблица 3
Частота встречаемости генетически детерминированных заболеваний крупного рогатого скота голштинской породы

LoF-мутации	Особей исследовано				Число носителей	Носителей, %	Нижнее значение 95 % ДИ	Верхнее значение 95 % ДИ
	Свердловская область	Пермский край	Удмуртская Республика	Краснодарский край				
HH4	65	48	26	–	0	0	0	1,79
HH5	111	–	26	–	1	0,73	0,08	3,36
MW	89	–	24	24	14	10,22	5,98	16,12

Table 3
The incidence of hereditary disorders in Holstein dairy cattle

Lof mutation	Number of animals tested				Number of carriers	Carriers, %	Lower 95 % CI	Upper 95 % CI
	Sverdlovsk region	Perm Krai	Udmurt Republic	Krasnodar Krai				
HH4	65	48	26	–	0	0	0	1.79
HH5	111	–	26	–	1	0.73	0.08	3.36
MW	89	–	24	24	14	10.22	5.98	16.12

Для подбора оптимальных условий амплификации проводили ПЦР с градиентом температур на этапе отжига праймеров. Условия амплификации: предварительная денатурация – 5 мин.; далее 35 циклов: денатурация, отжиг и элонгация – по 20 с каждый. Температуры денатурации и элонгации составили 95 и 72 °С соответственно. Градиент температур на этапе отжига праймеров варьировал от 64 до 56 °С. Наблюдается соответствие длины ампликонов с результатами анализа по базе данных primer BLAST (рис. 1).

При помощи разработанной ПЦР-тест-системы для диагностики голштинского гаплотипа 4 проведен скрининг 139 особей голштинской породы Свердловской области и Республики Удмуртии, носителей в исследованной выборке не обнаружено. На носительство MW всего было исследовано 137 особей голштинской породы Краснодарского края, Свердловской области и Республики Удмуртия, обнаружено 14 носителей – 10,22 % (95 % ДИ: 5,98–16,12). При помощи разработанных наборов в исследованной выборке коров обнаружен 1 носитель HH5, что составляет 0,73 % (95 % ДИ: 0,08–3,36) (таблица 3).

Носители, которые ранее были обнаружены при помощи набора праймеров для диагностики голштинского гаплотипа 5, также выявлены разработанной TaqMan-системой (рис. 2).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Синдром врожденной мышечной слабости голштинского скота впервые описан в 2022 году [2]. При помощи ретроспективного анализа определено происхождение мутации до быка Southwind Bell of Bar-Lee (род. 1984). Широкое использование его потомков Roylane Socra Robust-ET и Seagull-Bay Supersire-ET способствовало глобальному распространению генетического нарушения. В исследованной нами выборке частота встречаемости носительства синдрома врожденной мышечной слабости составила 10,22 %. По результатам отечественных и мировых исследований частота носительства MW варьирует от 3 до 38 % в зависимости от географического региона: в США – до 11 % среди коров, в Польше – до 38 % среди быков исследованной выборки, в Российской Федерации (Краснодарский край) – 5,5 % у коров и телок, достигая 28 % в быкопроизводящей группе. По данным Я. А. Хабибрахмановой с соавторами, мутация в гене CACNA1S выявлена у 4,3 % быков-производителей голштинской породы в отечественной популяции (частота мутантной аллели – 2,15 %) [2; 3]. Отсутствие скрининговых исследований привело к накоплению носителей синдрома врожденной мышечной слабости в популяциях крупного рогатого скота, в связи с чем данное генетическое нарушение было включено в список обязательного тестирования согласно Решению Евразийской экономической комиссии от 17 декабря 2024 г. № 140 (приложение № 3 к Решению Коллегии ЕЭК от 02.06.2020 № 74).

В нашем исследовании носителей HH4 не обнаружено, однако А. В. Степанов с соавторами в одном из хозяйств Свердловской области выявили, что частота носительства генетического наруше-

ния составила 1,89 % [15]. Частота встречаемости голштинского гаплотипа 5 в исследованной выборке составила 0,73 %, в более ранних проведенных нами исследованиях частота встречаемости была 1,4 %, что объясняется большей выборкой животных [16]. В исследовании О. С. Романенковой с соавторами с помощью разработанной AS-PCR были проведены скрининговые исследования разводимых в России 1202 быков-производителей и 708 коров голштинской и голштинизированных пород, среди которых обнаруженная частота встречаемости носителей – 3,24 % и 1,41 % среди быков-производителей и коров соответственно [17]. Таким образом, представленные данные подтверждают значительную вариабельность частоты носительства MW, HH4 и HH5 в разных популяциях крупного рогатого скота и свидетельствуют о необходимости регулярного мониторинга данных мутаций в селекционных программах.

Впервые были созданы тест-системы для детекции аллелей голштинских гаплотипов 4, 5 и синдрома врожденной мышечной слабости в режиме реального времени. Наша разработка позволяет проводить быструю диагностику данных рецессивных летальных и сублетальных мутаций.

Носителей голштинского гаплотипа 4 не было обнаружено ни в одной из исследованных популяций. HH5 выявлен только у одного животного исследованной выборки. Носители MW обнаружены среди коров голштинской породы Краснодарского края, Свердловской области и Республики Удмуртия. В связи с высокой частотой распространения синдрома врожденной мышечной слабости в популяциях крупного рогатого скота необходимо проводить мониторинговые исследования племенных производителей и доноров эмбрионов животных для обеспечения устойчивого развития животноводства в регионе.

Библиографический список

1. Ciacia M. G., Phipps A. J. Early-onset muscle weakness syndrome (MW) in an Australian Holstein calf // Australian Veterinary Journal. 2025. Vol. 103, No. 5. Pp. 298–303. DOI: 10.1111/avj.13431.
2. Алтухова Н. С., Подвальнова Д. С. Синдром ранней мышечной слабости голштинского скота: молекулярные механизмы, эпидемиология и стратегии контроля // Тимирязевский биологический журнал. 2026. Т. 4, № 1. Article number 301. DOI: 10.26897/2949-4710-2026-4-1-3-01.
3. Хабибрахманова Я. А., Калашникова Л. А., Багаль И. Е. [и др.] Частота генетических дефектов у быков-производителей голштинской породы // Ветеринария и кормление. 2025. № 7. С. 76–79.
4. Ковалюк Н. В., Волченко А. Е., Ширяева Е. В. [и др.] Тестирование и распространение новой генетической аномалии крупного рогатого скота голштинской породы HMW (OMIA ID 002819-9913) // Молочное и мясное скотоводство. 2024. № 3. С. 8–10.
5. Gozdek M., Mucha S., Prostek A., Kamola D., Sadkowski T. Distribution of recessive genetic defect carriers in Holstein Friesian cattle: a Polish perspective // Animals. 2024. Vol. 14, No. 22. Article number 3170. DOI: 10.3390/ani14223170.
6. Ковалюк Н. В., Волченко А. Е., Ширяева Е. В., Якушева Л. И., Шахназарова Ю. Ю. Тест-система для идентификации гаплотипа фертильности HH4 и его распространение среди быков производителей голштинской породы // Сборник научных трудов КНИЦЗВ. 2023. Т. 12, № 2. С. 4–6. DOI: 10.48612/sbornik-2023-2-1.

7. Zhang Y., Liang D., Huang H., et al. Technical note: development and application of KASP assays for rapid screening of 8 genetic defects in Holstein cattle // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103, No. 1. Pp. 619–624. DOI: 10.3168/jds.2019-16345.
8. Khatib A., Prokhortchouk E., Mazur A. M. The distribution of lethal Holstein haplotypes affecting female fertility among the Russian black-and-white cattle // *Eurasian Journal of Biosciences*. 2020. Vol. 14, No. 2. Pp. 2545–2552.
9. Kalendar R., Lee D., Schulman A.H. Java web tools for PCR, in silico PCR, and oligonucleotide assembly and analysis // *Genomics*. 2011. Vol. 98, No. 2. Pp. 137–144. DOI: 10.1016/j.ygeno.2011.04.009.
10. Kalendar R., Khasenov B., Ramankulov Y., Samuilova O., Ivanov K. I. FastPCR: an in silico tool for fast primer and probe design and advanced sequence analysis // *Genomics*. 2017. Vol. 109, No. 3-4. Pp. 312–319. DOI: 10.1016/j.ygeno.2017.05.005.
11. Ye J., Coulouris G., Zaretskaya I., et al. Primer-BLAST: a tool to design target-specific primers for polymerase chain reaction // *BMC Bioinformatics*. 2012. Vol. 13, No. 1. Article number 134. DOI: 10.1186/1471-2105-13-134.
12. Owczarzy R., Tataurov A. V., Wu Y., et al. IDT SciTools: a suite for analysis and design of nucleic acid oligomers // *Nucleic Acids Research*. 2008. Vol. 36. No. suppl_2. Pp. W163–W169.
13. Breslauer K. J., Frank R., Blöcker H., Marky L. A. Predicting DNA duplex stability from the base sequence // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1986. Vol. 83, No. 11. Pp. 3746–3750.
14. Sergeant E. S. G. Epitools epidemiological calculators [Электронный ресурс] // *Ausvet*. 2018. URL: <https://epitools.ausvet.com.au/ciproportion> (дата обращения: 06.06.2026).
15. Степанов А. В., Быкова О. А., Костюнина О. В., Зырянова А. А., Шевкунов О. А. Идентификация гаплотипов, определяющих плодовитость крупного рогатого скота // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 7. С. 921–931. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-07-921-931.
16. Бытов М. В., Зубарева В. Д., Зайцева О. С. [и др.] Разработка диагностических тест-систем и скрининг гаплотипов фертильности крупного рогатого скота голштинской породы // *Достижения науки и техники АПК*. 2025. Т. 39, № 4. С. 58–65. DOI: 10.53859/02352451_2025_39_4_58.
17. Романенкова О. С., Зиновьева Н. А., Костюнина О. В., Волкова В. В. Диагностика гаплотипа HH5 в стадах голштинского и голштинизированного черно-пестрого скота России // *Молочное и мясное скотоводство*. 2018. № 6. С. 13–16. DOI: 10.25632/MMS.2018.2018.20295.

Об авторах:

Владлена Дмитриевна Зубарева, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0284-0276, AuthorID 110995. E-mail: zzub97@mail.ru

Максим Владимирович Бытов, младший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-3622-3770, AuthorID 1121043. E-mail: bytovmaks@mail.ru

Николай Александрович Мартынов, лаборант отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-9251-0056, AuthorID 1120361. E-mail: martynov_kolya98@mail.ru

Ольга Сергеевна Зайцева, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0005-2161, AuthorID 324382. E-mail: bodrova-zaizeva@mail.ru

Марина Андреевна Печенкина, лаборант отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0002-1561-5553, AuthorID 1319773. E-mail: pn190503@mail.ru

References

1. Ciacia M. G., Phipps A. J. Early-onset muscle weakness syndrome (MW) in an Australian Holstein calf. *Australian Veterinary Journal*. 2025; 103 (5): 298–303. DOI: 10.1111/avj.13431.
2. Altukhova N. S., Podvalnova D. S. Early-onset muscle weakness syndrome in Holstein cattle: molecular mechanisms, epidemiology, and control strategies. *Timiryazev Biological Journal*. 2026; 4: 301. DOI: 10.26897/2949-4710-2026-4-1-3-01. (In Russ.)

3. Khabibrakhmanova Ya. A., Kalashnikova L. A., Bagal I. E., et al. Frequency of genetic defects in Holstein breeding bulls. *Veterinaria i kormlenie*. 2025; 7: 76–79. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-7-18. (In Russ.)
4. Kovalyuk N. V., Volchenko A. E., Shiryaeva E. V., et al. Testing and distribution of a new genetic anomaly in Holstein cattle HMW (OMIA ID 002819-9913). *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2024; 3: 8–10. DOI: 10.33943/MMS.2024.94.40.0029913. (In Russ.)
5. Gozdek M., Mucha S., Prostek A., Kamola D., Sadkowski T. Distribution of recessive genetic defect carriers in Holstein Friesian cattle: a Polish perspective. *Animals*. 2024; 14 (22): 3170. DOI: 10.3390/ani14223170.
6. Kovalyuk N. V., Volchenko A. E., Shiryaeva E. V., Yakusheva L. I., Shakhnazarova Yu. Yu. A test system for the identification of the fertility haplotype HH4 and its distribution among the Holstein breeding bulls. *Collection of Scientific Papers of KRCAHVM*. 2023; 12 (2): 4–6. DOI: 10.48612/sbornik-2023-2-1. (In Russ.)
7. Zhang Y., Liang D., Huang H., et al. Technical note: Development and application of KASP assays for rapid screening of 8 genetic defects in Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103 (1): 619–624. DOI: 10.3168/jds.2019-16345.
8. Khatib A., Prokhortchouk E., Mazur A. M. The distribution of lethal Holstein haplotypes affecting female fertility among the Russian black-and-white cattle. *Eurasian Journal of Biosciences*. 2020; 14 (2): 2545–2552.
9. Kalendar R., Lee D., Schulman A.H. Java web tools for PCR, in silico PCR, and oligonucleotide assembly and analysis. *Genomics*. 2011; 98 (2): 137–144. DOI: 10.1016/j.ygeno.2011.04.009.
10. Kalendar R., Khassenov B., Ramankulov Y., Samuilova O., Ivanov K. I. FastPCR: An in silico tool for fast primer and probe design and advanced sequence analysis *Genomics*. 2017; 109 (3-4): 312–319. DOI: 10.1016/j.ygeno.2017.05.005.
11. Ye J., Coulouris G., Zaretskaya I., Cutcutache I., Rozen S., Madden T. L. Primer-BLAST: a tool to design target-specific primers for polymerase chain reaction. *BMC Bioinformatics*. 2012; 13 (1): 134. DOI: 10.1186/1471-2105-13-134.
12. Owczarzy R., Tataurov A. V., Wu Y., et al. IDT SciTools: a suite for analysis and design of nucleic acid oligomers. *Nucleic Acids Research*. 2008; 36 (suppl_2): W163–W169. DOI: 10.1093/nar/gkn198.
13. Breslauer K. J., Frank R., Blöcker H., Marky L. A. Predicting DNA duplex stability from the base sequence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1986; 83 (11): 3746–3750. DOI: 10.1073/pnas.83.11.3746.
14. Sergeant E. S. G. Epitools epidemiological calculators. *Ausvet* [Internet]. 2018 [cited 2026 Jun 06]. Available from: <https://epitools.ausvet.com.au/ciproportion>.
15. Stepanov A. V., Bykova O. A., Kostyunina O. V., Zyryanova A. A., Shevkunov O. A. Identification of haplotypes determining fertility in cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (7): 921–931. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-07-921-931. (In Russ.)
16. Bytov M. V., Zubareva V. D., Zaytseva O. S., et al. Development of diagnostic test systems and screening of fertility haplotypes in Holstein cattle. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2025; 39 (4): 58–65. DOI: 10.53859/02352451_2025_39_4_58. (In Russ.)
17. Romanenkova O. S., Volkova V. V., Kostyunina O. V., Zinovyeva N. A. Diagnostics of HH5 haplotype in herds of Holstein and Holsteinized Black-and-White cattle in Russia. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2018; 6: 13–19. DOI: 10.25632/MMS.2018.2018.20295. (In Russ.)

Authors' information:

Vladlena D. Zubareva, candidate of veterinary sciences, senior researcher at the department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0284-0276, AuthorID 110995. *E-mail: zzub97@mail.ru*

Maksim V. Bytov, junior researcher at the department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-3622-3770, AuthorID 1121043. *E-mail: bytovmaks@mail.ru*

Nikolay A. Martynov, laboratory assistant at the department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-9251-0056, AuthorID 1120361. *E-mail: martynov_kolya98@mail.ru*

Olga S. Zaytseva, candidate of veterinary sciences, senior researcher at the department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0005-2161, AuthorID 324382. *E-mail: bodrova-zaizeva@mail.ru*

Marina A. Pechenkina, laboratory assistant at the department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0002-1561-5553, AuthorID 1319773. *E-mail: pn190503@mail.ru*

Фармако-токсикологическая характеристика тройного хелатного комплекса меди с аскорбиновой кислотой и пиридоксином

Е. С. Кастарнова¹✉, А. В. Блинов², А. В. Самоволов², З. А. Рехман²

¹ Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия

² Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

✉ E-mail: elena-kastarnova@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты доклинической фармако-токсикологической оценки тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента меди с аскорбиновой кислотой (витамин С) и витамином В6. **Цель** исследования – доклиническая фармако-токсикологическая оценка тройного хелатного комплекса эссенциального микроэлемента меди с аскорбиновой кислотой (витамин С) и пиридоксином (витамин В6) для обоснования возможности его дальнейшего применения в медицине и ветеринарии. **Методы.** Исследования выполнены на беспородных белых крысах, морских свинках и кроликах в соответствии с Руководством по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ и Европейской конвенцией по защите позвоночных животных. Оценивали острую пероральную токсичность (метод Миллера и Тейнтера, ГОСТ 32644-2014), кумулятивные свойства (метод Lim), субхроническую токсичность (28 суток, дозы 120, 300 и 600 мг/кг), аллергизирующее действие (конъюнктивальная и назальная пробы, реакция непрямой дегрануляции тучных клеток) и местно-раздражающее действие на кожу и конъюнктиву. **Научная новизна.** Впервые проведена систематическая доклиническая фармако-токсикологическая характеристика тройного хелатного комплекса меди с витаминами С и В6. **Результаты.** Показано, что сочетание меди с биолигандами в форме тройного хелата обеспечивает благоприятный профиль безопасности, включая слабую кумуляцию (коэффициент кумуляции 7,2), отсутствие аллергизирующего действия и минимальное местно-раздражающее действие. Среднесмертельная доза (LD50) составила 5796,0 мг/кг, что позволяет отнести соединение к IV классу опасности (умеренно опасные вещества) согласно ГОСТ 32644-2014. При субхроническом введении в дозах до 600 мг/кг гибель животных не зарегистрирована, клинический статус, масса тела, гематологические и биохимические показатели крови, а также коэффициенты массы внутренних органов достоверно не отличались от контроля. Аллергизирующее действие отсутствует; местно-раздражающее действие ограничивается слабой кратковременной гиперемией, полностью регрессирующей в течение 24–72 часов. Таким образом, тройной хелатный комплекс меди с витаминами С и В6 характеризуется низкой токсичностью, отсутствием сенсibilизирующего и выраженного местно-раздражающего действия, слабой кумуляцией и может рассматриваться как перспективное безопасное соединение для дальнейших исследований.

Ключевые слова: медь, витамин С, витамин В6, хелатный комплекс, токсичность, аллергизирующее действие, кумулятивные свойства

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-76-10063, <https://rscf.ru/project/24-76-10063/>

Для цитирования: Кастарнова Е. С., Блинов А. В., Самоволов А. В., Рехман З. А. Фармако-токсикологическая характеристика тройного хелатного комплекса меди с аскорбиновой кислотой и пиридоксином // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1712–1720. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1712-1720>.

Дата поступления статьи: 18.05.2026, **дата рецензирования:** 16.06.2026, **дата принятия:** 22.07.2026.

Pharmaco-toxicological characteristics of a triple chelated complex of copper with ascorbic acid and pyridoxine

E. S. Kastarnova¹✉, A. V. Blinov², A. V. Samovolov², Z. A. Rekhman²

¹ Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia

² North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

✉ E-mail: elena-kastarnova@mail.ru

Abstract. The article presents the results of preclinical pharmacological and toxicological evaluation of a triple chelate complex of essential trace element copper with ascorbic acid (vitamin C) and vitamin B6. **The purpose** of the study is to perform preclinical pharmacological and toxicological evaluation of a triple chelate complex of essential trace element copper with ascorbic acid (vitamin C) and pyridoxine (vitamin B6) to substantiate the possibility of its further application in medicine and veterinary medicine. **Methods.** The studies were conducted on non-pedigree white rats, guinea pigs, and rabbits in accordance with the “Guidelines for the Experimental (Preclinical) Study of New Pharmacological Substances” and the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals. Acute oral toxicity (Miller and Tainter method, GOST 32644-2014), cumulative properties (Lim method), subchronic toxicity (28 days, doses of 120, 300, and 600 mg/kg), allergenic effect (conjunctival and nasal tests, indirect mast cell degranulation reaction), and local irritant effect on the skin and conjunctiva were evaluated. **Scientific novelty.** For the first time, a systematic preclinical pharmaco-toxicological characterization of a triple chelated complex of copper with vitamins C and B6 has been conducted. **Results.** It has been shown that the combination of copper with bioglands in the form of a triple chelate provides a favorable safety profile, including low accumulation (accumulation coefficient of 7.2), no allergenic effect, and minimal local irritant effect. The median lethal dose (LD50) was 5796.0 mg/kg, which allows the compound to be classified as a Class IV hazard (moderately hazardous substance) according to GOST 32644-2014. The cumulation factor is 7.2 (weak cumulation). No animal deaths were recorded during subchronic administration at doses up to 600 mg/kg, and the clinical status, body weight, hematological and biochemical blood parameters, as well as the coefficients of internal organ weight, did not significantly differ from the control. There is no allergenic effect; the local irritant effect is limited to mild, short-term hyperemia that completely regresses within 24–72 hours. Thus, the triple chelated complex of copper with vitamins C and B6 is characterized by low toxicity, lack of sensitizing and pronounced local irritant effect, weak accumulation, and can be considered as a promising safe compound for further research.

Keywords: copper, vitamin C, vitamin B6, chelate complex, toxicity, allergenic effect, cumulative properties

Acknowledgments. The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 24-76-10063, <https://rscf.ru/project/24-76-10063/>

For citation: Kastarnova E. S., Blinov A. V., Samovolov A. V., Rekhman Z. A. Pharmaco-toxicological characteristics of a triple chelated complex of copper with ascorbic acid and pyridoxine. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1712–1720. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1712-1720>. (In Russ.)

Date of paper submission: 18.05.2026, **date of review:** 16.06.2026, **date of acceptance:** 22.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Медь является одним из ключевых эссенциальных микроэлементов, необходимых для нормального функционирования организма человека и животных. Она входит в состав ряда ферментов, включая цитохромоксидазу, супероксиддисмутазу, тирозиназу и лизилоксидазу, обеспечивая процессы тканевого дыхания, антиоксидантной защиты, синтеза меланина, перекрестного связывания коллагена и эластина, а также миелинизации нервных волокон. Дефицит меди широко распространен в клинической и ветеринарной практике и может проявляться гипохромной анемией, лейкопенией, нейтропенией,

нарушениями костеобразования, остеопорозом, демиелинизацией нервных стволов, а также снижением иммунного ответа. Особенно остро проблема медьдефицитных состояний стоит в животноводстве, где недостаток меди в рационах приводит к снижению продуктивности, ухудшению качества шерсти и воспроизводительной функции [1–5].

Традиционно для коррекции дефицита меди применяются неорганические соли, преимущественно сульфат меди. Однако эти соединения обладают низкой биодоступностью вследствие образования труднорастворимых комплексов в кишечнике, высоким раздражающим действием на

слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта и узким терапевтическим диапазоном, что создаёт риск токсических эффектов. Кроме того, свободные ионы меди способны катализировать образование гидроксильных радикалов, индуцируя оксидативный стресс и повреждение биомембран. Таким образом, существует объективная потребность в разработке новых безопасных и эффективных форм меди с улучшенными фармакокинетическими свойствами [6–12; 16].

Одним из перспективных направлений является создание тройных хелатных комплексов, в которых ион металла одновременно связан с биолигандами, повышающими его усвоение и снижающими токсичность. Аскорбиновая кислота способствует поддержанию меди в оптимальном валентном состоянии и образует транспортные формы, устойчивые в кислой среде желудка. Пиридоксин участвует в метаболизме аминокислот и может дополнительно модулировать ферментативные системы, зависящие от меди. Однако, несмотря на теоретическую обоснованность, тройной хелатный комплекс меди с витаминами С и В6 до настоящего времени не был подвергнут систематической доклинической фармако-токсикологической оценке [13].

Исходя из сказанного, актуальным и оправданным представляется исследование на лабораторных животных параметров острой и субхронической токсичности, кумулятивных свойств, а также аллергизирующего и местно-раздражающего действия указанного соединения. Это позволит обосновать перспективы его внедрения в медицинскую и ветеринарную практику [14–15].

Методология и методы исследования (Methods)

Экспериментальная база работы включала Лабораторию доклинических исследований (кафедра терапии и фармакологии ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ») и ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет». Токсикологическая оценка тройного хелатного комплекса меди (далее – исследуемый препарат) проводилась в соответствии с Руководством по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ (Москва, 2005). Подготовка животных к эксперименту осуществлялась согласно ОФС «Испытание на токсичность» (ГФ XI), а в ходе работ соблюдались положения Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных целях, и требования приказа Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 [1; 2].

Для оценки острой пероральной токсичности было сформировано пять опытных групп беспородных белых крыс (по 10 особей в каждой). Препарат вводили однократно внутрижелудочно с помощью зонда в дозах 1000, 2500, 5000, 7500 и 10 000 мг/кг массы тела, тогда как животные контрольной группы получали эквивалентный объем водопроводной

воды. Процедура введения осуществлялась следующим образом: крысу фиксировали левой рукой за кожу спины, правой рукой большим и средним пальцами удерживали цилиндр шприца, а указательным пальцем оказывали давление на поршень. Голову животного запрокидывали назад, после чего зонд осторожно продвигали в пищевод по направлению вдоль верхнего неба; в случае попадания зонда в трахею, что распознавалось по нарушению дыхательного ритма, зонд незамедлительно извлекали. После достижения глубины желудка вещество вводили плавно в течение 15 секунд, затем зонд извлекали. Использованный зонд промывали 3-процентным раствором перекиси водорода, обрабатывали салфеткой, смоченной 70-процентным раствором этилового спирта, после чего промывали водой и высушивали. В случае развития асфиксии вследствие неправильного введения животное подлежало эвтаназии. Расчет среднесмертельной дозы (LD50) проводили методом Миллера и Тейнтера, а оценку класса опасности выполняли согласно ГОСТ 32644-2014.

С целью оценки аллергизирующих свойств отобрали морских свинок массой 250–300 г, разделив их на 12 групп: 6 опытных и 6 контрольных, по 10 особей в каждой. Аллергизацию проводили путем ежедневного внутреннего введения исследуемого средства на протяжении 30 дней. Проверку сенсибилизирующего действия выполняли на 10-е, 15-е и 30-е сутки, используя глазные и носовые пробы, а также тест на опосредованную дегрануляцию тучных клеток. При глазной пробе одну каплю препарата наносили под верхнее веко правого глаза, тогда как в левый (контрольный) глаз капали физраствор. Оценку результата проводили спустя 15 минут (для выявления немедленной реакции), а также через 24 и 48 часов (для отсроченной гиперчувствительности). Назальная проба подразумевала введение двух капель лекарства в одну ноздрю. Положительным считали результат, если в интервале 10–20 минут наблюдались отек слизистой, чихание или жидкие выделения из носа. Для выполнения реакции не прямой дегрануляции тучных клеток животных усыпляли согласно Приложению А Европейской конвенции. Белым крысам инъецировали в брюшную полость 5 мл солевого раствора (температура 37 °C). Затем на протяжении 1–2 минут слегка массируют живот, после чего делали продольный разрез 1,5–2 см, переворачивали тушку разрезом вниз и собирали промывную жидкость из кишечных петель в пробирку с гепарином. Образцы помещали на обезжиренные стекла, предварительно обработанные 0,3-процентным спиртовым раствором нейтрального красного. К 0,03 мл взвеси тучных клеток добавляли 0,03 мл сыворотки крови опытного животного и 0,03 мл исследуемого препарата, после чего препараты инкубировали в течение 15

минут при 37 °С и микроскопировали при увеличении $\times 20$. Оценивали процент дегранулированных тучных клеток, реакцию считали положительной при превышении порога в 10 %.

Изучение раздражающего действия на конъюнктиву и кожу проводили на пяти опытных группах кроликов, по шесть особей в каждой, массой 2,8–3,0 кг и возрастом 1 год. Животные находились на карантине в течение 14 суток, после чего были переведены в экспериментальный зал вивария. Содержание осуществлялось в металлических клетках с сетчатым полом, кормление – полнорационным экструдированным комбикормом (ГОСТ Р 51849-2011), поение – водопроводной водой *ad libitum*. В ходе работы параметры среды оставались стабильными: воздух прогревался до 20–26 °С, а его влажность сохранялась на уровне 30–70 %. Проба на конъюнктиву подразумевала закапывание одной капли действующего вещества под верхнее веко правого глаза. В левый глаз аналогичным образом вводили стерильный физраствор. За реакцией следили по прошествии 15 минут, одного часа, суток, двух суток и трех суток. Для количественной оценки использовали шкалу: 0 баллов – отсутствие каких-либо проявлений; 1 балл – слабое покраснение слезного канала; 2 балла – краснота, затрагивающая слезный канал и белочную оболочку глаза по направлению к роговице; 3 балла – сильное покраснение всей конъюнктивы и склеры, возникновение зуда и гнойных выделений. При постановке эпикутанной пробы на выстриженный участок кожи наносили три капли препарата, а реакцию учитывали через 15 и 30 минут, а также через 24, 48 и 72 часа. Статистическую обработку результатов проводили с использованием параметрических методов, данные представлены как $M \pm m$.

Изучение кумулятивных свойств тройного хелатного комплекса меди осуществляли согласно методике Lim и соавторов. В первые 96 часов эксперимента исследуемое вещество вводилось интрагастрально в дозировке, эквивалентной 0,1 от показателя LD50. В последующие каждые четверо суток исходная доза возрастала в 1,5 раза. Процедуру многократного введения продолжали до момента, когда число выживших особей в лабораторной группе (изначально comprising 10 крыс) не снижалось до пяти или менее. Коэффициент кумуляции (C_{cum}) вычисляли как отношение медианной летальной дозы при *n*-кратном введении к аналогичному показателю при однократном введении. Градация кумулятивных свойств осуществлялась согласно следующей шкале: значение менее 1 интерпретировалось как сверхкумуляция; диапазон 1–2,2 соответствовал выраженной кумуляции; интервал 2,2–5 – умеренной кумуляции; показатель более 5 свидетельствовал о слабой кумуляции.

Для оценки параметров субхронической токсичности были сформированы три экспериментальные и одна контрольная когорты белых крыс, каждая из которых насчитывала 10 особей. Тестируемое соединение вводилось перорально посредством желудочного зонда ежедневно на протяжении 28 суток в дозах 600, 300 и 120 мг/кг. Продолжительность экспозиции определялась предполагаемым клиническим режимом дозирования и кумулятивными характеристиками вещества, тогда как выбор доз базировался на результатах предварительных исследований острой токсичности, данных о кумуляции, а также на вероятных максимальных суточных терапевтических дозах для будущих клинических испытаний. Целью введения максимальной дозировки являлось выявление потенциальных токсических эффектов либо летального исхода у части животных; минимальная доза приближалась к прогнозируемой терапевтической, а третья занимала промежуточное положение. На всем протяжении наблюдения осуществлялись ежедневный мониторинг клинического статуса подопытных животных, регистрация симптомов интоксикации, динамики массы тела (на нулевые, 14-е и 28-е сутки), а также учет возможных случаев гибели. Отбор образцов крови для гематологического и биохимического анализа производился трижды: до начала введения вещества (исходный уровень), по окончании 28-дневного курса введения и спустя 10-суточный период после последней аппликации. Параллельно проводилась патоморфологическая оценка и определялась динамика массы внутренних органов.

Результаты (Results)

Результаты изучения острой пероральной токсичности показали, что при однократном внутрижелудочном введении тройного хелатного комплекса меди беспородным белым крысам значение среднесмертельной дозы (LD50) составило 5796,0 мг/кг. Рассчитанные параметры токсичности: мг/кг, LD16 – 3226,2 мг/кг, LD84 – 8333,3 мг/кг, LD100 – 10 000,0 мг/кг, при этом стандартная ошибка LD50 составила $\pm 72,30$ мг/кг. На основании величины среднесмертельной дозы в соответствии с ГОСТ 32644-2014 разработанный тройной хелатный комплекс меди отнесен к IV классу опасности, что характеризует его как умеренно опасное вещество (рис. 1).

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что показатели конъюнктивальной пробы у sensibilizированных морских свинок на всех этапах наблюдения статистически значимо не различались с соответствующими значениями в контрольной группе. При оценке состояния зрительного аппарата не отмечено сужения глазной щели, изменений сосудистого рисунка конъюнктивы или признаков ее гиперемии. Анализируемое средство не оказывало раздражающего воздействия на конъюнктивальную оболочку как непосред-

ственно после инстилляций, так и в отдаленные периоды наблюдения. Результаты назальной пробы продемонстрировали, что введение препарата как сенсibilизированным, так и интактным особям на 10, 15 и 30-е сутки не сопровождалось развитием гиперемии слизистой оболочки, чихательным рефлексом или усилением мукозной секреции, что позволило интерпретировать указанный тест как отрицательный. Параллельно при анализе реакции непрямой дегрануляции лаброцитов установлено, что доля дегранулированных клеток в экспериментальных группах не превышала 10 %. На 10-е сутки данный показатель составил $5,33 \pm 1,05$ % в опытной группе и $5,21 \pm 1,02$ % в контроле, на 15-е сутки – $5,10 \pm 0,92$ % и $5,08 \pm 1,00$ % соответственно, на 30-е сутки – $4,95 \pm 0,85$ % и $4,97 \pm 0,94$ % соответственно. Анализ сывороток крови сенсibilизированных морских свинок не обнаружил признаков аллергизации организма ни в одной из опытных групп. Совокупность полученных данных свидетельствует об отсутствии у тройного хелатного комплекса меди аллергенных свойств, а также раздражающего действия на конъюнктиву глаза и слизистые оболочки; кроме того, препарат не вызывает дегрануляции тучных клеток за пределами допустимых значений.

При визуальном осмотре состояния конъюнктивы, роговицы и век было установлено, что через 15 минут после инстилляций у большинства образцов отмечалась слабая гиперемия слезного протока в 1 балл, тогда как один из образцов вызывал умеренное покраснение в 2 балла. К 48–72 часам видимые реакции полностью исчезали, тогда как в контрольной группе какие-либо изменения на всех сроках наблюдения отсутствовали. При аппликации на кожу исследуемые образцы обуславливали незначительную и кратковременную гиперемию, полностью регрессировавшую в течение 24 часов.

Поведенческие реакции, аппетит и общее состояние животных на протяжении всего эксперимента оставались без изменений. Участки кожи после выстригания быстро покрывались молодой шерстью, при этом признаков воспаления, отека или некроза зафиксировано не было.

При оценке кумулятивных свойств тройного хелатного комплекса меди по методу Lim введение препарата начинали с дозы, составляющей 0,1 от ранее установленной среднесмертельной дозы (LD50), и каждые последующие четверо суток дозу увеличивали в полтора раза. На протяжении первых восьми суток гибель животных не наблюдалась, что свидетельствует об отсутствии острого токсического эффекта при многократном введении в указанных дозовых режимах. На интервале 9–12 суток, когда доза была увеличена до 0,22 от LD50, зафиксирована гибель одного животного из 10, что указывает на начало проявления токсического действия лишь при достижении определенного уровня накопления вещества. На заключительном этапе 13–14 суток при введении дозы, составляющей 0,33 от LD50, павших животных не было, однако, поскольку к этому моменту количество выживших особей не опустилось ниже критического уровня, введение препарата было прекращено в соответствии с методикой. Суммарная доза, полученная животными за период эксперимента, составила при пересчете 8640 мг/кг, а коэффициент кумуляции, рассчитанный как отношение этой суммарной дозы к величине LD50 (5796,0 мг/кг), равнялся 7,2. Полученное значение превышает пороговый уровень 5, что позволяет охарактеризовать исследуемый тройной хелатный комплекс меди как соединение со слабой кумуляцией. Это свидетельствует о низкой способности препарата к накоплению в организме при повторных введениях и, соответственно, о минимальном риске развития токсических эффектов, обусловленных кумуляцией.

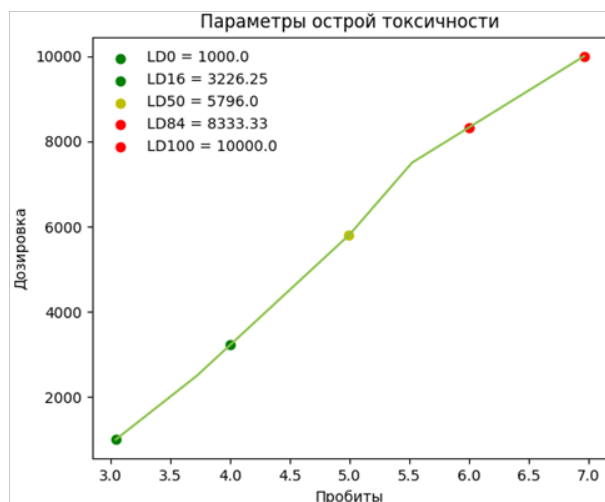


Рис. 1. Результаты определения острой токсичности тройного хелатного комплекса меди с аскорбиновой кислотой и пиридоксимом

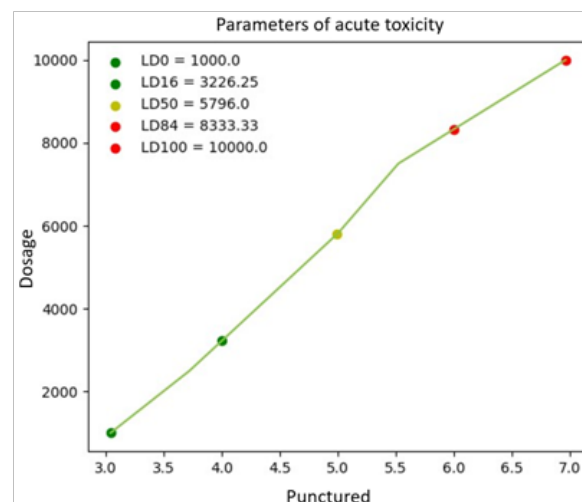


Fig. 1. Results of determining the acute toxicity of a triple chelate complex of copper with ascorbic acid and pyridoxine

В ходе 28-суточного эксперимента по изучению субхронической токсичности динамика массы тела белых крыс не выявила негативного влияния препарата. Исходные показатели массы тела на нулевые сутки во всех группах были сопоставимы и находились в пределах от 191,20 до 192,50 г. На 14-е сутки эксперимента наблюдалось незначительное увеличение массы тела во всех группах: значения составили от 198,50 г в контроле до 199,30 г в группе с максимальной дозой 600 мг/кг. К завершению исследования на 28-е сутки масса тела животных достигла в контрольной группе 207,00 г, а в опытных группах – от 207,20 до 207,80 г. На всех этапах наблюдения статистически достоверных различий между показателями массы тела животных в опытных группах, получавших препарат в разных дозировках, и контрольной группой выявлено не было, что указывает на отсутствие негативного влияния тройного хелатного комплекса меди на ростовые процессы.

Анализ гематологических показателей на 28-е сутки показал, что количество эритроцитов в опытных группах колебалось в пределах $7,48\text{--}7,55 \times 10^{12}/\text{л}$ при контрольном значении $7,52 \times 10^{12}/\text{л}$. Концентрация гемоглобина составила от 140,5 до 142,0 г/л при контроле 141,2 г/л. Число лейкоцитов варьировало от $7,50$ до $7,65 \times 10^9/\text{л}$, тромбоцитов – от $645,0$ до $652,0 \times 10^9/\text{л}$, что сопоставимо с контрольными значениями $7,58 \times 10^9/\text{л}$ и $650,0 \times 10^9/\text{л}$ соответственно. Лимфоциты в лейкограмме составили в контрольной группе 80,5 %, в опытных группах – от 80,2 % до 80,9 %. Все приведенные значения сопровождаются стандартными ошибками среднего, и их близость к контрольным величинам свидетельствует об отсутствии статистически достоверных различий. Таким образом, многократное пероральное введение исследуемого хелатного комплекса меди во всем изученном диапазоне доз не оказывает токсического воздействия на систему крови.

Биохимический анализ сыворотки крови на 28-е сутки показал, что уровень общего белка в опытных группах колебался в пределах 58,8–59,5 г/л при контроле 59,2 г/л, альбуминов – 37,5–38,0 г/л при контроле 37,8 г/л. Активность аспартатаминотрансферазы составила в опытных группах 133,5–135,0 Е/л при контроле 134,2 Е/л, аланинаминотрансферазы – 38,8–39,5 Е/л при контроле 39,0 Е/л. Уровень мочевины находился в пределах 6,55–6,70 мм/л при контроле 6,62 мм/л, креатинина – 36,5–37,2 мкм/л при контроле 36,9 мкм/л. Отсутствие статистически значимых отклонений указывает на то, что исследуемый препарат даже в максимальной дозе не вызывает гепато- и нефротоксического действия.

При оценке коэффициентов массы внутренних органов на 28-е сутки значения для печени в опытных группах составили от 5,18 до 5,25 % при

контроле 5,22 %, для почек – от 0,79 до 0,83 % при контроле 0,81 %, для сердца – от 0,42 до 0,46 % при контроле 0,44 %, для легких – от 0,90 до 0,94 % при контроле 0,92 %. Ни в одной из дозовых групп не выявлено статистически достоверных отличий коэффициентов массы исследованных внутренних органов по сравнению с контрольной группой, что указывает на отсутствие гипертрофии или атрофии органов под влиянием длительного введения препарата. В результате изучения субхронической токсичности установлено, что тройной хелатный комплекс меди не оказывает влияния на поведенческие реакции животных, а при введении в дозах 600, 300 и 120 мг/кг не выявлено негативного воздействия на показатели крови и основные физиологические функции организма.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Полученные в ходе доклинического исследования результаты свидетельствуют о благоприятном профиле безопасности тройного хелатного комплекса меди с аскорбиновой кислотой и пиридоксином. Значение среднесмертельной дозы (LD50), составившее 5796,0 мг/кг, позволяет отнести соединение к IV классу опасности согласно ГОСТ 32644-2014, что сопоставимо с таковым для хелатных комплексов железа и других эссенциальных микроэлементов. Более высокий коэффициент кумуляции (7,2) по сравнению с железосодержащим аналогом (5,4) указывает на еще меньшую способность меди к накоплению в организме при повторных введениях, что может быть связано с особенностями метаболизма и выведения меди. Отсутствие алергизирующего действия, подтвержденное отрицательными результатами конъюнктивной, назальной проб и реакции непрямого дегрануляции тучных клеток, позволяет предположить, что витаминные компоненты (витамины С и В6) в составе хелатного комплекса не выступают в роли гаптенов и не сенсибилизируют организм. Местно-раздражающее действие ограничивалось слабой и быстро регрессирующей гиперемией, что характерно для большинства хелатных форм микроэлементов и не представляет клинической значимости. Показатели субхронической токсичности стабильны во всех дозовых режимах, а отсутствие достоверных изменений гематологических и биохимических маркеров, а также коэффициентов массы внутренних органов подтверждает отсутствие гепато-, нефро- и гематотоксического действия. Таким образом, тройной хелатный комплекс меди по основным параметрам безопасности не уступает, а по кумулятивным свойствам превосходит аналогичные соединения других эссенциальных микроэлементов.

На основании проведенных доклинических исследований тройного хелатного комплекса меди с аскорбиновой кислотой и пиридоксином можно сделать следующие выводы. Параметры острой

пероральной токсичности позволяют отнести данное соединение к IV классу опасности (умеренно опасные вещества) в соответствии с ГОСТ 32644-2014, значение LD50 составляет 5796,0 мг/кг. Кумулятивные свойства, оцененные по методу Lim, характеризуются коэффициентом кумуляции 7,2, что соответствует слабой кумуляции и низкому риску накопления препарата в организме. В условиях субхронического введения (28 суток, дозы 120, 300 и 600 мг/кг) препарат не вызывает гибели животных, не влияет на клинический статус, динамику массы тела, гематологические и биохимические показатели крови, а также коэффициенты массы внутренних

органов. Аллергизирующее действие полностью отсутствует, что подтверждено отрицательными результатами конъюнктивной и назальной проб, а также реакции непрямого дегрануляции тучных клеток. Местно-раздражающее действие на кожу и конъюнктиву ограничивается слабой кратковременной гиперемией, полностью исчезающей в течение 72 часов. Совокупность полученных данных позволяет рассматривать тройной хелатный комплекс меди с витаминами С и В6 как безопасное соединение, пригодное для дальнейшего углубленного доклинического изучения и разработки средств коррекции медьдефицитных состояний.

Библиографический список

1. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств / Под ред. А. Н. Миронова. Москва: Гриф и К, 2012. 944 с.
2. Кастарнова Е. С., Оrobeц В. А., Синякова Е. И. Изучение параметров токсичности разработанного хитозанового сорбента // Ветеринария, зоотехния и биотехнологии. 2025. № 8. С. 75–83.
3. Wu M., Cui Y., Wang Y., et al. *In vitro* bioaccessibility of inorganic and organic copper in different diets // Poultry Science. 2024. Vol. 103, No. 11. Article number 104206. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104206.
4. Ghassemi Nejad J., Ju M., Tasharofi S., et al. Worldwide research trends for chelates in animal science: a bibliometric analysis // Animals. 2023. Vol. 13, No. 14. Article number 2374. DOI: 10.3390/ani13142374.
5. Sizova E. A., Miroshnikov S. A., Lebedev S. V., et al. Chelate compounds and their use for correction of trace element deficiencies in livestock (review) // Veterinary Science Today. 2024. Vol. 13, No. 2. Pp. 136–142. DOI: 10.29326/2304-196X-2024-13-2-136-142.
6. Poursani E. M., Paray A. S., Mirebrahim S. E., et al. Copper chelation suppresses epithelial-mesenchymal transition by inhibition of canonical and non-canonical TGF- β signaling pathways in cancer // Cell & Bioscience. 2023. Vol. 13, No. 1. Article number 132. DOI: 10.1186/s13578-023-01083-7.
7. Zhang W., Li C., Liu Y., et al. Synergy effects of copper ion in doxorubicin-based chelate prodrug for cancer chemo-chemodynamic combination therapy // Drug Delivery. 2023. Vol. 30, No. 1. Article number 2219874. DOI: 10.1080/10717544.2023.2219874.
8. Zhu Y., Yang B., Li J., et al. TDMQ20 as a drug candidate for Wilson's disease: comparison with D-penicillamine, trientine, and tetrathiomolybdate // Pharmaceutics. 2025. Vol. 17, No. 9. Article number 1237. DOI: 10.3390/pharmaceutics17091237.
9. Vega-Granados K., Medina-Campos O. N., Pedraza-Chaverri J., et al. Hexyltrimethylammonium ion enhances potential copper-chelating properties of ammonium thiomolybdate in an *in vivo* zebrafish model // Archives of Biochemistry and Biophysics. 2024. Vol. 758. Article number 110077. DOI: 10.1016/j.abb.2024.110077.
10. Ambi A., Szabo I., Sándor K., et al. Evaluation of copper chelation therapy in a transgenic rat model of cerebral amyloid angiopathy // ACS Chemical Neuroscience. 2023. Vol. 14, No. 3. Pp. 378–388. DOI: 10.1021/acscchemneuro.2c00483.
11. Suttle N. F. Mineral nutrition of livestock. 5th ed. Wallingford: CABI; 2022. 685 p. DOI: 10.1079/9781789240924.0000.
12. Goff J.vP. Invited review: Mineral absorption mechanisms, roadblocks to bioavailability // Applied Animal Science. 2023. Vol. 39, No. 4. Pp. 235–247. DOI: 10.15232/aas.2023-02401.
13. Spears J. W., Kegley E. B. Organic trace minerals in ruminant nutrition // Animal Frontiers. 2022. Vol. 12, No. 6. Pp. 5–11. DOI: 10.1093/af/vfac064.
14. Hansen S. L., Ward A. K., Shafi B., et al. The role of copper in oxidative stress and inflammation in cattle // Journal of Animal Science. 2023. Vol. 101. Article number skad156. DOI: 10.1093/jas/skad156.
15. Girotto F., Zampieri R., Cattaruzza L., et al. Advances in chelate complexation for essential metal supplementation // Coordination Chemistry Reviews. 2024. Vol. 512. Article number 215876. DOI: 10.1016/j.ccr.2024.215876.
16. Zoroddu M. A., Aaseth J., Crisponi G., et al. The essential metals for humans: a comprehensive overview // Journal of Inorganic Biochemistry. 2022. Vol. 231. Article number 111791. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2022.111791.

Об авторах:

Елена Сергеевна Кастарнова, кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник кафедры терапии и фармакологии, Ставропольский государственный аграрный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0000-0003-2843-2473, AuthorID 840166. E-mail: elena-kastarnova@mail.ru

Александр Викторович Блинов, кандидат технических наук, доцент, доцент департамента функциональных материалов и инженерного конструирования института перспективной инженерии, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0000-0002-4701-8633, AuthorID 764369.

E-mail: blinov.a@mail.ru

Артем Владимирович Самоволов, ассистент кафедры технологии переработки нефти и промышленной экологии факультета нефтегазовой инженерии, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0000-0001-5570-6201, AuthorID 1275735. E-mail: artem.samovolov@mail.ru

Зафар Абдулович Рехман, преподаватель департамента функциональных материалов и инженерного конструирования института перспективной инженерии, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0000-0003-2809-4945, AuthorID 1175856. E-mail: zafarehman@yandex.ru

References

1. Mironov A. N. (ed.) *Guide to conducting preclinical studies of medicinal products*. Moscow: Grif and K, 2012. 944 p. (In Russ.)
2. Kastarnova E. S., Orobets V. A., Sinyakova E. I. Study of the toxicity parameters of the developed chitosan sorbent. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2025; 8: 75–83. DOI: 10.36871/vet.zoo.bio.202508109. (In Russ.)
3. Wu M., Cui Y., Wang Y., et al. *In vitro* bioaccessibility of inorganic and organic copper in different diets. *Poultry Science*. 2024; 103 (11): 104206. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104206.
4. Ghassemi Nejad J., Ju M., Tasharofi S., et al. Worldwide research trends for chelates in animal science: a bibliometric analysis. *Animals*. 2023; 13 (14): 2374. DOI: 10.3390/ani13142374.
5. Sizova E. A., Miroshnikov S. A., Lebedev S. V., et al. Chelate compounds and their use for correction of trace element deficiencies in livestock (review). *Veterinary Science Today*. 2024; 13 (2): 136–142. DOI: 10.29326/2304-196X-2024-13-2-136-142.
6. Poursani E. M., Paray A. S., Mirebrahim S. E., et al. Copper chelation suppresses epithelial-mesenchymal transition by inhibition of canonical and non-canonical TGF- β signaling pathways in cancer. *Cell & Bioscience*. 2023; 13 (1): 132. DOI: 10.1186/s13578-023-01083-7.
7. Zhang W., Li C., Liu Y., et al. Synergy effects of copper ion in doxorubicin-based chelate pro-drug for cancer chemo-chemodynamic combination therapy. *Drug Delivery*. 2023; 30 (1): 2219874. DOI: 10.1080/10717544.2023.2219874.
8. Zhu Y., Yang B., Li J., et al. TDMQ20 as A Drug Candidate for Wilson's Disease: Comparison with D-Penicillamine, Trientine, and Tetrathiomolybdate. *Pharmaceutics*. 2025; 17 (9): 1237. DOI: 10.3390/pharmaceutics17091237.
9. Vega-Granados K., Medina-Campos O.N., Pedraza-Chaverri J., et al. Hexyltrimethylammonium ion enhances potential copper-chelating properties of ammonium thiomolybdate in an *in vivo* zebrafish model. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2024; 758: 110077. DOI: 10.1016/j.abb.2024.110077.
10. Ambi A., Szabo I., Sándor K., et al. Evaluation of copper chelation therapy in a transgenic rat model of cerebral amyloid angiopathy. *ACS Chemical Neuroscience*. 2023; 14 (3): 378–388. DOI: 10.1021/acscchemneuro.2c00483.
11. Suttle N. F. *Mineral Nutrition of Livestock*. 5th ed. Wallingford: CABI, 2022. 685 p. DOI: 10.1079/9781789240924.0000.
12. Goff J. P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, roadblocks to bioavailability. *Applied Animal Science*. 2023; 39 (4): 235–247. DOI: 10.15232/aas.2023-02401.
13. Spears J. W., Kegley E. B. Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Frontiers*. 2022; 12 (6): 5–11. DOI: 10.1093/af/vfac064.
14. Hansen S. L., Ward A. K., Shafii B., et al. The role of copper in oxidative stress and inflammation in cattle. *Journal of Animal Science*. 2023; 101: 156. DOI: 10.1093/jas/skad156.
15. Girotto F., Zampieri R., Cattaruzza L., et al. Advances in chelate complexation for essential metal supplementation. *Coordination Chemistry Reviews*. 2024; 512: 215876. DOI: 10.1016/j.ccr.2024.215876.
16. Zoroddu M. A., Aaseth J., Crisponi G., et al. The essential metals for humans: a comprehensive overview. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2022; 231: 111791. DOI: 10.1016/j.jinorgbio.2022.111791.

Authors' information:

Elena S. Kastarnova, candidate of biological sciences, associate professor, researcher at the department of therapy and pharmacology, Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia; ORCID 0000-0003-2843-2473, AuthorID 840166. *E-mail: elena-kastarnova@mail.ru*

Aleksandr V. Blinov, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor at the department of functional materials and engineering design at the Institute of Advanced Engineering, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia; ORCID 0000-0002-4701-8633, AuthorID 764369. *E-mail: blinov.a@mail.ru*

Artem V. Samovolov, assistant of the department of oil processing technology and industrial ecology at the Faculty of Oil and Gas Engineering, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia; ORCID 0000-0001-5570-6201, AuthorID 1275735. *E-mail: artem.samovolov@mail.ru*

Zafar A. Rehman, lecturer of the department of functional materials and engineering design at the Institute of Advanced Engineering, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia; ORCID 0000-0003-2809-4945, AuthorID 1175856. *E-mail: zafarehman@yandex.ru*

Эффективность применения кальцидиола в рационах кур-несушек при различных технологиях кормопроизводства

А. Г. Мусин¹✉, А. С. Мустафин², Р. Р. Гадиев¹, Д. Д. Хазиев¹

¹ Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия

² ООО «Оллтек», Москва, Россия

✉ E-mail: almas-musin@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного анализа влияния изменения витаминного состава кормов на продуктивность кур-несушек и качество яичной скорлупы. **Целью** исследования было сравнение эффективности замены традиционного источника витамина D3 (холекальциферол) на его метаболически активный аналог 25-ОН-D3 (кальцидиол) в различных сочетаниях. Также было изучено воздействие процесса парообработки корма (с восполнением потерь жирорастворимых витаминов, вызванных термическим воздействием) и полного замещения холекальциферола кальцидиолом на показатели яйценоскости, физические и химические характеристики скорлупы в условиях промышленного птицеводства. **Методы.** Данные для анализа получены на базе опытного птичника ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ (г. Уфа). Объект исследования – куры-несушки кросса СуперНик, разделенные на группы в зависимости от типа потребляемого рациона. В первом опыте птица потребляла комбикорм с различными уровнями ввода кальцидиола взамен холекальциферола, во втором опыте испытывали кальцидиол в составе термически не обработанного и термически обработанного корма без введения и с введением дополнительных доз жирорастворимых витаминов с целью компенсации их термически индуцированной деградации. В ходе исследовательской работы оценивались следующие показатели: яйценоскость, масса яйца, выход яйцемассы за период проведения опыта, доля яиц с насечкой, прочность скорлупы, упругая деформация, масса и толщина скорлупы, содержание кальция в скорлупе. **Научная новизна.** Впервые проведен сравнительный анализ влияния двух источников витамина D3 – холекальциферола и кальцидиола – при различных технологиях производства корма на показатели продуктивности кур-несушек и качественные характеристики скорлупы яиц. **Результаты.** Установлено, что применение 25-ОН-D3 положительно влияет на яичную продуктивность кур-несушек, повышая толщину и прочность скорлупы, что способствует снижению доли яиц с насечкой. Также отмечено благоприятное влияние парообработки кормов в сочетании с введением компенсаторных доз витаминов А, D3, Е и заменой холекальциферола на 25-ОН-D3 на химические свойства яичной скорлупы.

Ключевые слова: куры-несушки, термическая обработка комбикормов, парообработка, жирорастворимые витамины, ретинол, токоферол, холекальциферол, кальцидиол, 25-ОН-D3, кальций, яйценоскость на среднюю несушку, яйцемасса, прочность, упругая деформация, толщина скорлупы

Для цитирования: Мусин А. Г., Мустафин А. С., Гадиев Р. Р., Хазиев Д. Д. Эффективность применения кальцидиола в рационах кур-несушек при различных технологиях кормопроизводства // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1721–1730. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1721-1730>.

Дата поступления статьи: 05.05.2026, **дата рецензирования:** 08.07.2026, **дата принятия:** 23.07.2026.

Efficiency of calcidiol application in laying hen diets under various feed production technologies

A. G. Musin^{1✉}, A. S. Mustafin², R. R. Gadiev¹, D. D. Khaziev¹

¹ Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

² Alltech LLC, Moscow, Russia

✉ E-mail: almas-musin@yandex.ru

Abstract. This article presents the results of a comprehensive analysis of the impact of varying the vitamin composition of feed on the productivity of laying hens and eggshell quality. **The purpose** of the study was to compare the effectiveness of replacing the traditional source of vitamin D3 (cholecalciferol) with its metabolically active analogue 25-OH-D3 (calcidiol) in various combinations. We also examined the effects of feed steaming (replenishing the loss of fat-soluble vitamins caused by thermal exposure) and complete replacement of cholecalciferol with calcidiol on egg production and the physical and chemical characteristics of eggshells under industrial poultry farming conditions. **Methods.** Data for the analysis were obtained from the experimental poultry house of the Bashkir State Agricultural University (Ufa). The study subjects were SuperNik laying hens, divided into groups depending on the type of diet consumed. In the first experiment, birds consumed feed with varying levels of calcidiol supplementation instead of cholecalciferol. In the second experiment, calcidiol was tested in both unheated and heat-treated feed, with and without the addition of additional doses of fat-soluble vitamins to compensate for their heat-induced degradation. The following parameters were evaluated during the study: egg production, egg weight, egg yield over the experimental period, proportion of eggs with cracks, shell strength, elastic deformation, shell weight and thickness, and shell calcium content. **Scientific novelty.** For the first time, a comparative analysis was conducted of the effects of two sources of vitamin D3 – cholecalciferol and calcidiol – on the productivity of laying hens and the quality of eggshells using various feed production technologies. **Results.** It has been established that the use of 25-OH-D3 has a positive effect on egg production in laying hens, increasing shell thickness and strength, which helps reduce the incidence of cracked eggs. A beneficial effect on eggshell chemical properties has also been observed with steam treatment of feed, supplemental doses of vitamins A, D3, and E, and the replacement of cholecalciferol with 25-OH-D3.

Keywords: laying hens, feed thermal processing, steam treatment, fat-soluble vitamins, retinol, tocopherol, cholecalciferol, calcidiol, 25-OH-D3, calcium, hen-day egg production, egg mass, shell strength, elastic deformation, shell thickness

For citation: Musin A. G., Mustafin A. S., Gadiev R. R., Khaziev D. D. Efficiency of calcidiol application in laying hen diets under various feed production technologies. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1721–1730. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1721-1730>. (In Russ.)

Date of paper submission: 05.05.2026, **date of review:** 08.07.2026, **date of acceptance:** 23.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Непрерывное совершенствование технологий в современном птицеводстве привело к созданию высокопродуктивных кроссов с интенсивным метаболизмом, что, в свою очередь, диктует новые требования к качественным характеристикам кормов. В данных условиях приоритетной задачей кормопроизводства становится разработка сбалансированных рационов, способных удовлетворить высокую потребность птицы в биологически активных веществах при обеспечении экономической рентабельности производства. Основой таких рационов служат полнорационные комбикорма, максимально отвечающие алиментарным потребностям поголовья. Для оптимизации питательной ценности и реализации генетического потенциала птицы в составе современных кормов в обязательном порядке при-

меняются синтетические формы жирорастворимых витаминов А, D3, Е [1]. Однако, несмотря на обязательность их применения, жирорастворимые витамины зачастую характеризуются феноменом конкурентного антагонизма, реализуемого в организме птицы, что существенно осложняет нормирование их дозирования.

В частности, избыточное поступление ретинола (витамина А) способно спровоцировать функциональный дефицит токоферола (витамина Е) вследствие конкуренции при всасывании в кишечнике и ускорения его системного выведения. Особого внимания также требует контроль уровня холекальциферола (витамина D3), поскольку его гипервитаминоз провоцирует дестабилизацию минерального обмена, гиперкальциемию и эктопическую кальцификацию мягких тканей. Согласно данным некото-

рых авторов [2], конкурентное ингибирование жирорастворимых витаминов проявляется на уровне энтероцитов, где эти соединения соперничают за общие транспортные системы и белки-переносчики. Данный факт актуализирует необходимость оптимизации не столько количественного содержания отдельных витаминных компонентов, сколько их баланса в составе рационов [3; 4].

Эволюция научных подходов к применению витамина D3 в птицеводстве демонстрирует переход от использования традиционных форм (холекальциферол) к стратегическому внедрению активных метаболитов (кальцидиол или 25-ОН-D3) для оптимизации производственных показателей.

Являясь жирорастворимым стероидным соединением, витамин D3 выполняет фундаментальную роль в поддержании фосфорно-кальциевого гомеостаза. Его регуляторное воздействие охватывает кишечную абсорбцию нутриентов корма, почечную экскрецию, метаболизм костной ткани и биоминерализацию яичной скорлупы [5]. Данные процессы опосредованы контролем экспрессии специфических кальций-связывающих белков, обеспечивающих направленный транспорт ионов [6].

Наряду с эндокринной регуляцией минерального обмена критически важной функцией витамина D3 является поддержание структурной целостности кишечного барьера. Он стимулирует развитие межклеточных контактов за счет усиления синтеза белков и супрессии провоспалительных реакций в слизистой оболочке и укрепляет барьерную функцию кишечника, оптимизируя состав микробиоты [7; 8].

Классический путь активации холекальциферола включает двухэтапное гидроксилирование: первичное – в печени с образованием 25-ОН-D3, вторичное – в почках до гормонально активной формы 1,25-(ОН)₂-D3. При этом именно 25-ОН-D3 выступает ключевым депо-метаболитом в системном кровотоке и служит объективным биомаркером статуса обеспеченности организма витамином D3 [9].

В современной индустрии кормопроизводства сохраняется технологический парадокс: повсеместное внедрение термической обработки, направленное на обеспечение микробиологической чистоты, на практике сопровождается неучтенной деградацией термолабильных витаминов, в частности витаминов А, D3 и Е [10]. Если в мясном птицеводстве (бройлеры, индейка) использование гранулированных кормов является стандартом, то в сегменте промышленных кур-несушек паробработка рассыпных комбикормов лишь в последние годы начала приобретать актуальность [11; 12]. Данный метод признан эффективным инструментом снижения бактериальной и вирусной контаминации кормов, а также способом повышения обменной энергии и доступности питательных веществ, однако его негативное влияние на стабильность витамин-

ных компонентов рациона требует более детального изучения [13; 14].

Наряду с яйценоскостью несушек качество скорлупы является важным показателем, определяющим эффективность хозяйства. Товарный вид, микробиологическая безопасность и технологическая пригодность яиц к длительному хранению и транспортировке напрямую зависят от прочностных характеристик скорлупы. Выполняя роль первичного механического барьера, скорлупа защищает внутреннее содержимое яйца от повреждений и контаминации патогенной микрофлорой, а также обеспечивает его оптимальный газо- и влагообмен. Снижение качества скорлупы – повышение хрупкости и упругой деформации или наличие дефектов в виде насечки – коррелирует с ростом экономического ущерба вследствие увеличения доли боя и технологического брака [15].

С учетом вышеизложенного значительный научно-практический интерес представляет комплексная оценка влияния на продуктивность кур-несушек и качественные показатели яиц сочетанного применения различных методов модификации рационов. К ним относятся использование биологически активных форм витаминов, а также паробработка комбикормов с введением компенсаторных доз жирорастворимых витаминов, направленная на нивелирование последствий их термически индуцированных потерь.

Целью настоящего исследования явилась комплексная оценка влияния различных уровней замещения холекальциферола кальцидиолом, а также применения паробработки комбикормов в сочетании с введением корректирующих дозировок жирорастворимых витаминов на показатели яичной продуктивности и качественные характеристики скорлупы кур-несушек.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Оценить влияние исследуемых факторов кормления на показатели яичной продуктивности птицы (яйценоскость на среднюю несушку, выход яйцемассы).
2. Выявить закономерности изменения физических (масса, толщина, прочность, упругая деформация) и химических свойств скорлупы (содержание кальция) под воздействием различных рационов.

Методология и методы исследования (Methods)

В рамках первого научно-хозяйственного опыта изучали эффективность включения в состав комбикормов различных дозировок кальцидиола (25-ОН-D3) – метаболически активного аналога витамина D3. Исследования продолжительностью 10,5 месяца проводили в 2025 году в условиях опытного птичника ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ (г. Уфа) на курах-несушках кросса СуперНик. Для этого в возрасте 173 дней методом случайной выборки были

сформированы три группы птиц согласно схеме, представленной в таблице 1. Несушки контрольной группы получали базовый рацион (БР), в котором источником витамина D3 служил холекальциферол. В рационах I и II опытных групп холекальциферол был заменен кальцидиолом в эквиваленте 50 % и 100 % соответственно. Условия содержания птицы на протяжении всего опыта соответствовали установленным технологическим нормативам.

В рамках подготовки ко второму научно-хозяйственному опыту (2024 год) была организована рекогносцировочная стадия исследований на базе производственно-технической лаборатории премиксного завода ООО «ЭйВи НутриСмарт» (Оренбург). В лабораторных условиях был изготовлен модельный комбикорм, рецептура которого была составлена и сбалансирована в соответствии с нормами для промышленного стада кур-несушек кросса СуперНик. Кормосмесь подвергали паровой обработке по режимам, принятым в комбикормовой промышленности: температура продукта в потоке $80 \pm 1^\circ\text{C}$, экспозиция в течение 5 мин. Образцы опытных кормов до и после паровой обработки исследовали на содержание массовой доли витаминов (А, D3, Е) согласно М-02-1006-08 «Биологически активные добавки, премиксы, корма, комбикормовое сырье. Методика выполнения измерений мас-

совой доли жирорастворимых витаминов методом ВЭЖХ». Выявленные уровни деградации витаминов при термической обработке кормовой смеси (витамин А – 19 %, витамин D3 – 10 %, витамин Е – 8 %) далее принимались за корректировочные при составлении рецептур кормов для использования во втором опыте.

Второй научно-хозяйственный опыт продолжительностью 11 месяцев был проведен в 2025–2026 годах в условиях опытного птичника ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ. Для его реализации методом случайной выборки было сформировано 4 группы кур-несушек кросса СуперНик в возрасте 266 дней. Контрольная группа получала базовый рацион (БР) – полнорационный рассыпной комбикорм с включением стандартных дозировок витаминов А, D3 (холекальциферол), Е. В опытных группах схема кормления варьировалась по способу обработки корма и источнику витамина D3: I опытная группа получала БР с полной заменой D3 на 25-ОН-D3; II опытная группа – БР с паровой обработкой и добавлением компенсаторных доз витаминов А, D3 и Е с целью компенсации их термически индуцированной деградации; III опытная группа – БР с паровой обработкой, введением компенсаторных доз витаминов А, Е и полной заменой D3 на 25-ОН-D3.

Таблица 1

Общая схема проведения научно-хозяйственных опытов

Группа	Количество, гол.	Условия кормления
Первый научно-хозяйственный опыт		
Контрольная	21	Базовый рацион (БР)
I опытная	21	БР с заменой 50 % дозы D3 на 25-ОН-D3 (в соотношении 1 : 1)
II опытная	21	БР с полной заменой D3 на 25-ОН-D3
Второй научно-хозяйственный опыт		
Контрольная	63	Базовый рацион (БР)
I опытная	63	БР с полной заменой D3 на 25-ОН-D3
II опытная	63	Парообработанный БР с введением корректировочных дозировок витаминов: А (19 %), D3 (10 %), Е (8 %)
III опытная	63	Парообработанный БР с полной заменой D3 на 25-ОН-D3 и введением корректировочных дозировок витаминов: А (19 %), Е (8 %)

Table 1

General procedure for conducting scientific and economic experiments

Group	Number of birds	Feeding conditions
First scientific and economic experiment		
Control	21	Basic diet
I experimental	21	Basic diet with replacement of 50 % of the D3 dose with 25-OH-D3 (in a 1 : 1 ratio)
II experimental	21	Basic diet with complete replacement of D3 with 25-OH-D3
Second scientific and economic experiment		
Control	63	Basic diet
I experimental	63	Basic diet with complete replacement of D3 with 25-OH-D3
II experimental	63	Steam-processed basic diet with the introduction of corrective doses of vitamins: A (19 %), D3 (10 %), E (8 %)
III experimental	63	Steamed basic diet with complete replacement of D3 with 25-OH-D3 and introduction of corrective doses of vitamins: A (19 %), E (8 %)

В подготовительный период все поголовье получало базовый рацион. С переходом к учетному периоду контрольная группа продолжила получать базовый рацион, а птица опытных групп была переведена на соответствующие экспериментальные корма.

Яйценоскость на среднюю несушку определяли расчетным методом по данным ежедневного группового учета снесенных яиц. Яйцемассу от одной курицы рассчитывали как производное количества снесенных яиц на среднюю несушку и усредненной массы яиц по каждой группе. Учет яиц с насечкой производили путем визуальной оценки ежедневно в процессе яйцесбора. Оценка качества скорлупы проводилась в первые сутки хранения по следующим показателям: масса яйца, прочность скорлупы, упругая деформация, вес скорлупы, толщина скорлупы. Массу яйца и скорлупы определяли гравиметрическим методом – взвешиванием на электронных весах с точностью до 0,01 г. Для измерения прочности скорлупы применяли комбинированное устройство для контроля качества яиц, разработанное для оценки товарного и инкубационного яйца (диапазон измерения силы воздействия наконечника от 0 до 20 кг, или 196 Н, с фиксацией пикового значения силы разрушения, точность измерения 0,01 кг при измерении в килограммах и 0,1 Н в ньютонах) [16]. Модернизированный прибор ПУД-3 (с давлением груза в точке приложения его к скорлупе 500 г) использовался для определения упругой деформации скорлупы. Толщину скорлупы определяли прямым способом путем разбивания яйца и измерения толщины скорлупы без подскорлупной оболочки при помощи электронного микрометра. Определение количественного содержания кальция в скорлупе яиц осуществляли методом капиллярного электрофореза в системе «Капель 105-М» по адаптированной методике М 04-65-2010.

Анализ цифровых данных выполнен в Microsoft Excel. Проверка на нормальность осуществлялась

критерием Шапиро – Уилка, расчет статистической значимости – критерием Стьюдента.

Результаты (Results)

Результаты оценки продуктивности кур при различных вариантах замены в рационах холекальциферола метаболическим аналогом 25-ОН-D3 отражены в таблице 2. Установлено, что полная замена витамина D3 на 25-ОН-D3 коррелирует с ростом продуктивности: анализ показал превосходство опытных групп над контрольной по яйценоскости в расчете на среднюю несушку. Так, в I опытной группе данный показатель вырос на 1,1 % (3,37 шт.), во II опытной – на 2,0% (6,48 шт.). Аналогичная положительная динамика была отмечена и в отношении показателя массы яиц, который в I опытной группе достоверно превысил контрольные значения на 1,6 % ($p < 0,05$), во II опытной – на 2,9 % ($p < 0,001$).

Показатель валовой яйцемассы был выше контроля на 2,7 и 5,0 % в I и II опытной группе соответственно. Яйцемасса напрямую зависит от того, насколько эффективно птица трансформирует питательные вещества корма в продукцию, в связи с этим рост данного показателя в опытных группах говорит о повышении усвояемости кальция и фосфора в комбикормах.

Количество яиц с насечкой снизилось с 3,82 % в контрольной до 3,29 % и 2,38 % в I и II опытной группе соответственно (рис. 1).

Схожая дозозависимая тенденция была установлена и по массе скорлупы: показатели в I и II опытной группе превысили значения в контрольной на 2,3 % ($p < 0,05$) и 3,3 % ($p < 0,01$) соответственно (рис. 2).

Таким образом, исходя из представленных данных, можно сделать вывод о том, что использование 25-ОН-D3 – биологически активной формы витамина D3 – в первом опыте способствовало росту выхода товарной продукции в том числе и за счет снижения доли яиц с насечкой, что косвенно указывает на укрепление структуры скорлупы.

Таблица 2
Показатели яичной продуктивности кур-несушек при разных вариантах замещения холекальциферола 25-ОН-D3

Показатель	Группа		
	Контрольная	I опытная	II опытная
Яйценоскость на среднюю несушку, шт.	319,83	323,20	326,31
Масса яйца, г	60,32 ±0,35	61,29 ±0,34 ^a	62,06 ±0,39 ^c
Яйцемасса от 1 несушки за период опыта, кг	19,29	19,81	20,25

Примечание. $a p < 0,05$; $c p < 0,001$.

Table 2
Productivity parameters of laying hens with various 25-OH-D3 substitution levels for cholecalciferol

Indicator	Group		
	Control	I experimental	II experimental
Hen-day egg production, pcs.	319.83	323.20	326.31
Egg weight, g	60.32 ±0.35	61.29 ±0.34 ^a	62.06 ±0.39 ^c
Egg mass per layer for the experimental period, kg	19.29	19.81	20.25

Note. $a p < 0,05$; $c p < 0,001$.

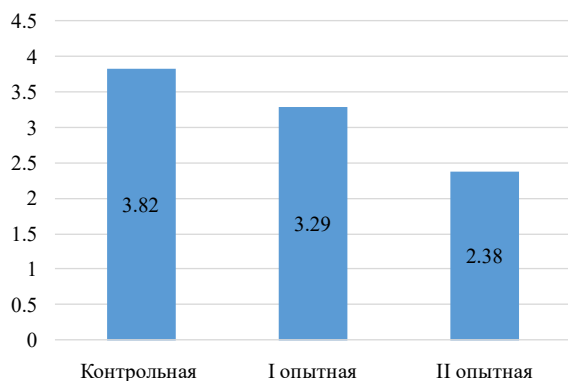


Рис. 1. Яйца с насечкой, %

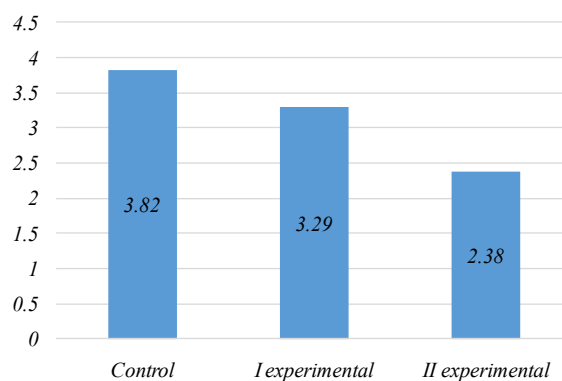


Fig. 1. Cracked eggs, %

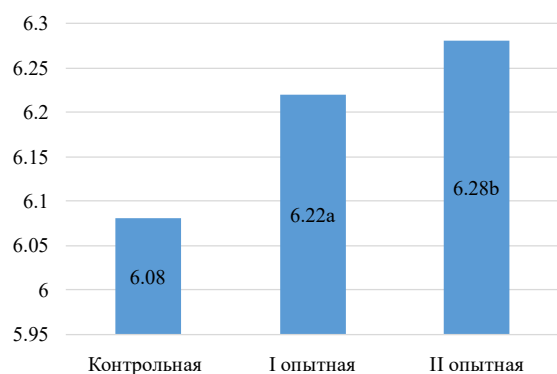


Рис. 2. Масса скорлупы, г
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

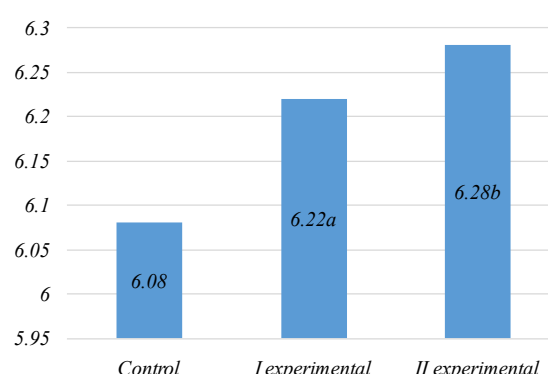


Fig. 2. Eggshell weight, g
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

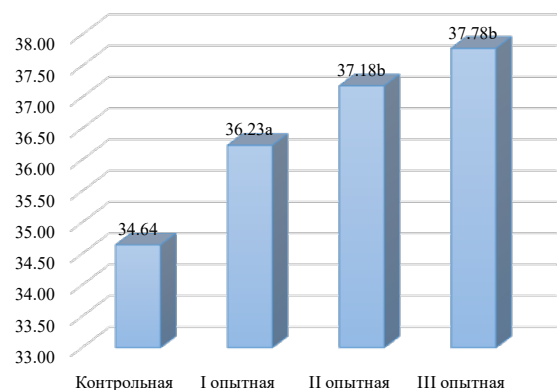


Рис. 3. Прочность скорлупы яиц кур-несушек, Н
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

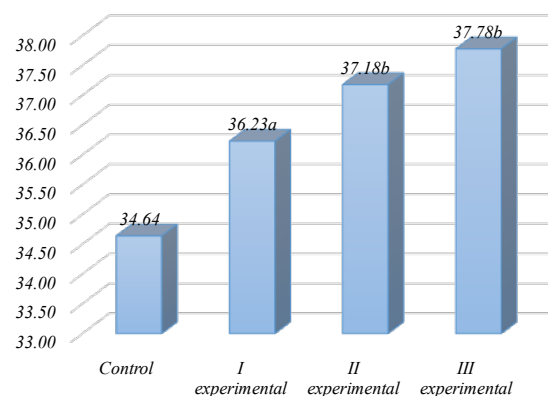


Fig. 3. Shell strength of laying hens' eggs, H
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

Для верификации данных результатов во втором опыте был проведен комплексный анализ качественных характеристик скорлупы в различных технологических условиях. В частности, оценивалась эффективность замены холекальциферола метаболитом 25-ОН-D3 при использовании рассыпных комбикормов без парообработки, а также в составе парообработанных кормов с параллельной компенсацией технологических потерь витаминов А, D3 и Е.

Динамика прочности скорлупы, представленная на рис. 3, подтверждает преимущество используемых схем кормления. Во всех опытных группах было отмечено достоверное улучшение изучаемых

показателей относительно контроля. При использовании комбикормов без парообработки замена холекальциферола на 25-ОН-D3 обеспечила прирост прочности скорлупы на 4,6 % ($p < 0,05$) (I опытная группа). При этом наиболее существенные изменения были выявлены в группах, получавших парообработанный комбикорм: введение компенсаторных доз витаминов А, D3 и Е во II опытной группе повысило прочность скорлупы на 7,3 % ($p < 0,01$), а использование метаболитически активного аналога витамина D3 с компенсацией термически индуцированных потерь витаминов А и Е позволило достичь максимального значения – 9,1 % (III опытная группа, $p < 0,01$).

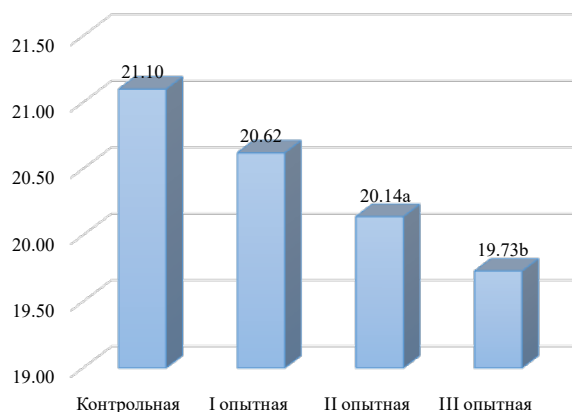


Рис. 4. Упругая деформация скорлупы яиц, мкм
^a $p < 0,05$; ^b $p < 0,01$

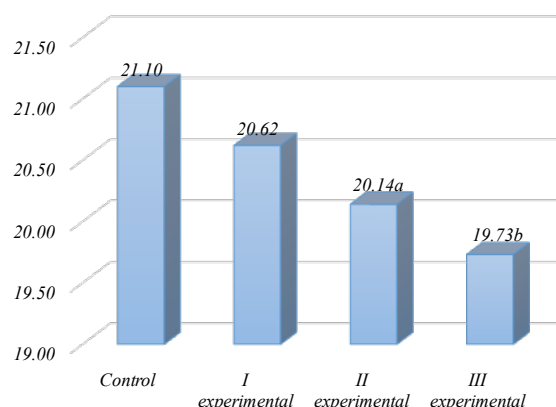


Fig. 4. Elastic deformation of eggshells, μm
^a $p < 0.05$; ^b $p < 0.01$

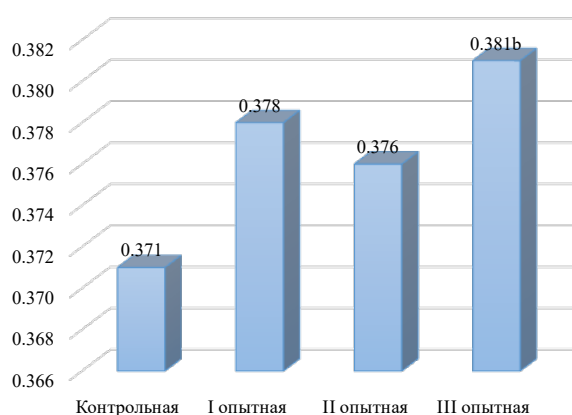


Рис. 5. Толщина скорлупы яиц, мм
^b $p < 0,01$

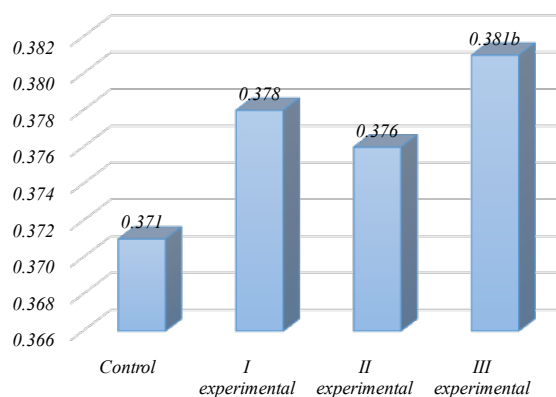


Fig. 5. Eggshell thickness, mm
^b $p < 0.01$

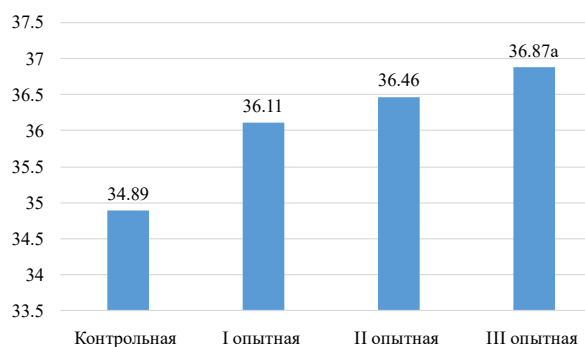


Рис. 6. Содержание кальция в скорлупе яиц кур-несушек, %
^a $p < 0,05$

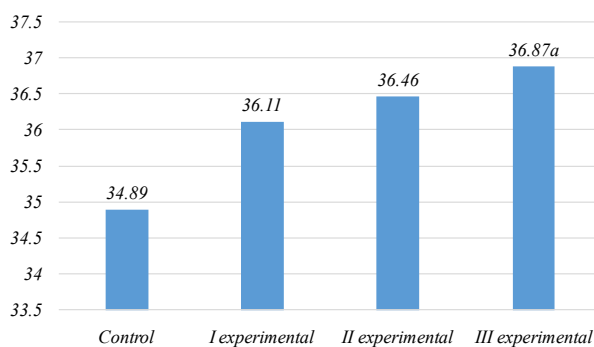


Fig. 6. Calcium content in eggshells of laying hens, %
^a $p < 0.05$

Показатель упругой деформации (рис. 4), находящийся в обратной зависимости от прочности скорлупы, продемонстрировал аналогичную направленность изменений. Наиболее выраженное и статистически значимое снижение данного параметра относительно контроля отмечено во II и III опытной группе: на 4,5 % ($p < 0,05$) и 6,5 % ($p < 0,01$) соответственно. В I опытной группе (замена витамина D3 в корме без паровой обработки) также зафиксировано улучшение показателя на 2,3 %,

однако эта разница не достигла порога статистической достоверности ($p > 0,05$).

Позитивная динамика прочностных характеристик скорлупы коррелировала с изменением ее толщины (рис. 5). Установлено, что замена витамина D3 на 25-ОН-D3 в составе рассыпного комбикорма (I опытная группа) способствовала увеличению данного показателя на 1,9 % относительно контроля, однако эти изменения носили характер тенденции ($p > 0,05$). Паровая обработка корма при одновременной компенсации потерь витаминов А, D3, Е

без замены источника D3 (II опытная группа) обеспечила аналогичный уровень прироста, не выявив преимуществ перед I опытной группой. Наиболее значимый эффект был отмечен при сочетании паровой обработки рациона с компенсацией термически индуцированных потерь витаминов А и Е и использованием метаболически активной формы витамина D3 (III опытная группа): в данном случае было зафиксировано статистически достоверное увеличение толщины скорлупы на 2,7 % ($p < 0,01$) относительно контрольных значений. Высокая достоверность результатов в III опытной группе указывает на наличие синергии между термической обработкой корма и биологической активностью 25-ОН-D3, что позволяет наиболее полно реализовать потенциал минерализации скорлупы у кур-несушек. При этом важно подчеркнуть, что прочность скорлупы зависит не только от геометрического параметра (толщины), но и от насыщения скорлупы минеральными веществами (в частности кальцием). Для подтверждения данной теории были проведены лабораторные исследования содержания кальция в составе скорлупы.

На рис. 6 представлены результаты анализа химического состава скорлупы яиц кур-несушек.

Наблюдаемая динамика по содержанию кальция в скорлупе яиц положительно коррелирует с показателями ее прочности, что, вероятно, определяется структурной трансформацией матрицы скорлупы. Таким образом, было установлено, что применение 25-ОН-D3 в кормах как с паровой обработкой, так и без нее сопровождается увеличением содержания кальция в составе скорлупы, при этом статистически значимым был результат III опытной группы (5,7 % к контролю, $p < 0,05$). Данный эффект предположительно обусловлен комплексным воздействием: оптимизацией витаминной обеспеченности за счет дополнительного введения компенсаторных доз витаминов А и Е и высокой биологической активностью кальцидиола. Обладая высокой усвояемостью, эта форма витамина D3 интенсивно включается в метаболические циклы, обеспечивая более эффективный процесс кальцификации скорлупы [9].

Несмотря на положительную динамику в I и II опытной группе (превышение контроля на 3,5 % и 4,5 %), установленные различия носили характер статистически недостоверной тенденции.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе двух научно-хозяйственных опытов была проведена сравнительная оценка продуктивных качеств кур-несушек промышленного стада при частичном и полном замещении холекальциферола кальцидиолом, а также изучено изменение прочности скорлупы в ответ на применение в кормлении птицы паровых обработанных комбикормов с вводом корректирующих доз витаминов А, D3 и Е для нивелирования уровня их деградации при термиче-

ской обработке и вместе с тем исследовано влияние замены холекальциферола на 25-ОН-D3 в составе паровых обработанных кормов.

По показателям продуктивности птицы, изученным в ходе первого опыта, частичная замена традиционного источника витамина D3 биологически активным метаболитом 25-ОН-D3 способствовала достоверному увеличению массы яйца на 1,6 % ($p < 0,05$), а полная замена позволила укрепить тенденцию, повысив массу яйца во II опытной группе на 2,9 % ($p < 0,001$). Использование метаболического аналога 25-ОН-D3 вместо холекальциферола способствовало росту яйценоскости кур-несушек. Оптимальные результаты по массе скорлупы ($p < 0,01$) также были отмечены во II опытной группе (при полной замене холекальциферола).

Результаты второго научно-хозяйственного опыта во всех опытных группах продемонстрировали статистически значимое улучшение показателей относительно контроля. Без термической обработки замена холекальциферола на 25-ОН-D3 повысила прочность скорлупы на 4,6 % ($p < 0,05$). В условиях паровой обработки эффект был более выраженным: введение компенсаторных доз витаминов (А, D3, Е) увеличило показатель на 7,3 % ($p < 0,01$), а применение 25-ОН-D3 обеспечило максимальные значения: +9,1 % ($p < 0,01$). Упругая деформация при этом продемонстрировала обратную пропорциональную динамику, что указывает на высокую степень корреляции между данными параметрами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что уровень витаминов в рационах опытных групп удовлетворял текущие физиологические потребности птицы в условиях паровой обработки комбикорма.

Качество скорлупы определяется уровнем продуктивности и физиологическим статусом птицы. Известно, что резкое снижение качественных показателей скорлупы характерно для высокопродуктивного поголовья в условиях стрессового воздействия [15]. В настоящем исследовании существенных отклонений в характеристиках скорлупы зафиксировано не было; наблюдалось лишь закономерное и постепенное снижение прочности, обусловленное возрастными изменениями в организме птицы.

Учитывая, что прочность скорлупы напрямую зависит от динамического баланса между алиментарным кальцием и его костным депо, ключевую роль играет эффективность его метаболизма. Совместное применение 25-ОН-D3, паровой обработки корма и ввод компенсаторных доз витаминов А и Е обеспечили статистически значимое повышение содержания кальция в скорлупе – на 5,7 % ($p < 0,05$). Данный эффект обусловлен высокой биодоступностью кальцидиола и оптимизацией витаминного профиля рациона, что интенсифицирует процессы кальцификации и, как следствие, улучшает прочностные характеристики скорлупы.

На основе результатов двух научно-хозяйственных опытов можно сделать вывод о том, что замена холекальциферола его метаболическим аналогом 25-ОН-D3 в рационах кур-несушек повышает их продуктивность: яйценоскость на среднюю несушку увеличивается на 1,1–2,0 %, масса яиц – на 1,6–2,9 %, выход яйцемассы – на 2,7–5,0 %. Вместе с тем усиливающий эффект в улучшении качества скорлупы достигается за счет совместного приме-

нения трех технологических подходов: термической обработки комбикормов, компенсации термически индуцированных потерь жирорастворимых витаминов (А, D3, Е) и замены холекальциферола кальцидиолом. Комбинация данных приемов обеспечивает повышение прочности скорлупы до 9,1 %, толщина скорлупы возрастает до 2,7 %, а содержание кальция в скорлупе – до 5,7 %.

Библиографический список

1. Ozturk E. Vitamins and minerals in poultry. Ankara: Iksad Publishing house, 2024. 360 p.
2. Gonçalves de Castro L. C. O sistema endocrinológico vitamina D // Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia. 2011. Vol. 55, No. 8. Pp. 566–575. DOI: 10.1590/s0004-27302011000800010.
3. Leeson S., Summers J. D. Commercial poultry nutrition, third edition. Nottingham: University books, 2005. 413 p.
4. Marques R. H., Gravena R. A., Torre da Silva J. D., et al. Effect of supplementation of diets for quails with vitamins A, D and E on performance of the birds and quality and enrichment of eggs // Revista Brasileira de Zootecnia. 2011. No. 6. Pp. 1222–1232.
5. Zhuang L., Zhou W., Jin Y., et al. Multi-omics analyses reveal the regulatory mechanisms of 25-hydroxycholecalciferol to improve meat quality in Pekin ducks // Journal of Agriculture and Food Research. 2026. No. 25. Article number 102543. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102543.
6. Sinclair-Black M., Alejandra Garcia R., Ellestad L. E. Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens // Frontiers in Physiology. 2023. Vol. 14. Article number 1112499. DOI: 10.3389/fphys.2023.1112499.
7. Cantorna M. T., Snyder L., Arora J. Vitamin A and vitamin D regulate the microbial complexity, barrier function and the mucosal immune responses to ensure intestinal homeostasis // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. 2019. No. 54 (2). Pp. 184–192.
8. Fakhoury H. M. A., Kvietys P. R., Al Kattan W., et al. Vitamin D and intestinal homeostasis: barrier, microbiota, and immune modulation // Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology. 2020. Vol. 200. Article number 105663. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2020.105663.
9. Эрнандес Х. М., Литта Г., Чунг Т. К. [и др.] Различные метаболиты витамина D3 в питании животных // Комбикорма. 2020. № 5. С. 44–46.
10. Ward N. E. Vitamin product forms and stability and retention through processing and storage // Feedstuffs. 1991. No. 41. Pp. 18–20.
11. Wang H., Li L., Zhang N., Zhang T., Ma Y. Effects of pelleting and long-term high-temperature stabilization on vitamin retention in swine feed // Animals. 2022. Vol. 12. Article number 1058. DOI: 10.3390/ani12091058.
12. Vaccari Mores I. C., Muramatsu K., Maiorka A., et al. Pelleting on the nutritional quality of broiler feeds // Journal of Agricultural Studies. 2020. No. 3. P. 193–206.
13. Yang P., Wang H., Zhu M., Ma Y. Evaluation of extrusion temperatures, pelleting parameters, and vitamin forms on vitamin stability in feed // Animals. 2020. Vol. 10. No. 5. Article number 894. DOI: 10.3390/ani10050894.
14. Брагинцев С. В., Деев К. А., Бахчевников, О. Н. Влияние различных параметров на процесс гранулирования растительного сырья и качество гранул (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24 (1). С. 30–45. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.30-45.
15. Околелова Т. М., Енгашев С. В. Факторы, влияющие на качество скорлупы яиц // Птицеводство. 2020. № 11. С. 57–65.
16. Патент № 233838, Российская Федерация, МПК А01К 43/00, G01N 33/08. Комбинированное устройство для контроля качества яиц: № 2024136959 [Электронный ресурс]. Заявл. 09.12.2024; опубл. 06.05.2025, Бюл. № 13 / Мустафин А. С., Мусин А. Г., заявитель и патентообладатель Мустафин А. С. URL: <https://fips.ru/EGD/2eaa40c1-c843-457c-b7ed-10d68f99c881> (дата обращения: 06.04.2026).

Об авторах:

Алмаз Газнавинович Мусин, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия; ORCID 0009-0001-3977-624X, AuthorID 1319074. E-mail: almas-musin@yandex.ru

Азат Сагитович Мустафин, кандидат сельскохозяйственных наук, консультант по птицеводству, ООО «Оллтек», Москва, Россия; ORCID 0009-0007-5989-2508, AuthorID 1359201.

E-mail: azmustafin@yandex.ru

Ринат Равилович Гадиев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия; ORCID 0000-0001-8779-3047, AuthorID 158815. *E-mail: rgadiev@mail.ru*

Данис Дамирович Хазиев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия; ORCID 0000-0002-4615-6428, AuthorID 463758.

E-mail: haziev_danis@mail.ru

References

1. Ozturk E. *Vitamins and minerals in poultry*. Ankara: Iksad Publishing house, 2024. 360 p.
2. Gonçalves de Castro L. C. O sistema endocrinológico vitamin D. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia*. 2011; 55 (8): 566–575. DOI: 10.1590/s0004-27302011000800010.
3. Leeson S., Summers J. D. *Commercial poultry nutrition*. 3rd edition. Nottingham: University books, 2005. 413 p.
4. Marques R. H., Gravena R. A., Torre da Silva J. D., et al. Effect of supplementation of diets for quails with vitamins A, D and E on the performance of the birds and quality and enrichment of eggs. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2011; 6: 1222–1232.
5. Zhuang L., Zhou W., Jin Y., et al. Multi-omics analyzes reveal the regulatory mechanisms of 25-hydroxycholecalciferol to improve meat quality in Pekin ducks. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2026; 25: 102543. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102543.
6. Sinclair-Black M., Alejandra Garcia R., Ellestad L. E. Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens. *Frontiers in Physiology*. 2023; 14: 1112499. DOI: 10.3389/fphys.2023.1112499.
7. Cantorna M. T., Snyder L., Arora J. Vitamin A and vitamin D regulate the microbial complexity, barrier function and the mucosal immune responses to ensure intestinal homeostasis. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*. 2019; 54 (2): 184–192.
8. Fakhoury H. M. A., Kvietys P. R., Al Kattan W., et al. Vitamin D and intestinal homeostasis: barrier, microbiota, and immune modulation. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*. 2020; 200: 105663. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2020.105663.
9. Hernandez H. M., Litta G., Cheung T. K., et al. Various metabolites of vitamin D3 in animal nutrition. *Compound Feeds*. 2020; 5: 44–46.
10. Ward N. E. Vitamin product forms and stability and retention through processing and storage. *Feedstuffs*. 1991; 41: 18–20.
11. Wang H., Li L., Zhang N., Zhang T., Ma Y. Effects of pelleting and long-term high-temperature stabilization on vitamin retention in swine feed. *Animals*. 2022; 12 (9): 1058. 8 p.
12. Vaccari Mores I. C., Muramatsu K., Maiorka A., et al. Pelleting on the nutritional quality of broiler feeds. *Journal of Agricultural Studies*. 2020; 3: 193-206.
13. Yang P., Wang H., Zhu M., Ma Y. Evaluation of Extrusion Temperatures, pelletizing parameters, and vitamin forms on vitamin stability in feed. *Animals*. 2020. 10: 19. DOI: 10.3390/ani10050894.
14. Braginets S. V., Deev K. A., Bakhchevnikov O. N. Influence of various parameters on the vegetable raw material pelleting process and pellets quality (review). *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2023; 24 (1): 30–45. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.1.30-45.
15. Okolelova T. M., Engashev S. V. Factors affecting eggshell quality. *Pticevodstvo*. 2020; 11: 57–65.
16. Patent No. 233838, Russian Federation, IPC A01K 43/00, G01N 33/08. Combined device for egg quality control: No. 2024136959 [Internet] [cited 2026 Apr 06]. Declared 09.12.2024, published 06.05.2025, Bulletin No. 13 / Mustafin A. S., Musin A. G., applicant and patent holder Mustafin A. S. Available from: <https://fips.ru/EGD/2eaa40c1-c843-457c-b7ed-10d68f99c881>. (In Russ.)

Authors' information:

Almaz G. Musin, candidate of agricultural sciences, senior lecturer, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia; ORCID 0009-0001-3977-624X, AuthorID 1319074. *E-mail: almas-musin@yandex.ru*

Azat S. Mustafin, candidate of agricultural sciences, poultry farming consultant, Alltech LLC, Moscow, Russia; ORCID 0009-0007-5989-2508, AuthorID 1359201. *E-mail: azmustafin@yandex.ru*

Rinat R. Gadiev, doctor of agricultural sciences, professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia; ORCID 0000-0001-8779-3047, AuthorID 158815. *E-mail: rgadiev@mail.ru*

Danis D. Khaziev, doctor of agricultural sciences, professor, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia; ORCID 0000-0002-4615-6428, AuthorID 463758. *E-mail: haziev_danis@mail.ru*

Особенности течения лейкозного процесса у экспериментальных животных

А. П. Порываева¹, И. М. Донник¹, А. Г. Исаева¹✉, Л. И. Дроздова¹, М. В. Петропавловский¹, А. С. Кривоногова², С. Ю. Палагин³, А. В. Лысов²

¹ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

³ Управление ветеринарии Тюменской области, Тюмень, Россия

✉ E-mail: isaeva.05@bk.ru

Аннотация. Контактный путь является основным фактором передачи возбудителя лейкоза восприимчивым животным, т. е. крупному рогатому скоту. Известно, что вирус лейкоза способен преодолевать межвидовой барьер и заражать некоторые виды млекопитающих, например мелкий рогатый скот, зайцеобразных, приматов, грызунов, которые впоследствии могут служить дополнительным источником возбудителя инфекции и способствовать его распространению. **Целью** нашего исследования было изучение характера течения лейкозного процесса у мелкого рогатого скота. **Методы.** Для изучения динамики развития инфекционного процесса у экспериментальных животных проводили гематологические, иммунологические, молекулярно-генетические и гистологические исследования. **Научная новизна.** Получены новые данные о развитии и характере течения вируса лейкоза крупного рогатого скота разных генотипов у мелкого рогатого скота. Расширена и детализирована база данных об иммуногематологическом профиле мелкого рогатого скота при лейкозном процессе. **Результаты.** Установлено, что при внутрибрюшинном введении антигена BLV у овец инфекционный процесс развивается в течение 30–50 дней. Показано, что иммунная система экспериментальных животных находилась в иммуносупрессивном состоянии. Установлено, что выраженные патологические процессы в лимфоидных тканях (лимфатических узлах и селезенке) определены уже на начальном этапе инфицирования животных.

Ключевые слова: вирус лейкоза крупного рогатого скота, генотипы вируса, иммуногематологические исследования, интегральные лейкоцитарные индексы, молекулярно-генетические исследования

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00103, <https://rscf.ru/project/23-16-00103/>

Для цитирования: Порываева А. П., Донник И. М., Исаева А. Г., Дроздова Л. И., Петропавловский М. В., Кривоногова А. С., Палагин С. Ю., Лысов А. В. Особенности течения лейкозного процесса у экспериментальных животных // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1731–1748. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1731-1748>.

Дата поступления статьи: 18.06.2026, **дата рецензирования:** 24.07.2026, **дата принятия:** 31.07.2026.

Features of the course of the leukemic process in experimental animals

A. P. Poryvaeva¹, I. M. Donnik¹, A. G. Isaeva^{1✉}, L. I. Drozdova¹, M. V. Petropavlovskiy¹, A. S. Krivonogova², S. Yu. Palagin³, A. V. Lysov²

¹Ural Federal Agrarian Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

³Department of Veterinary Medicine of the Tyumen region, Tyumen, Russia

✉E-mail: isaeva.05@bk.ru

Abstract. Contact transmission is the primary route for spreading the leukemia pathogen to susceptible animals, i. e., cattle. It is known that the leukemia virus can overcome the interspecies barrier and infect certain mammalian species, such as small ruminants, lagomorphs, primates, and rodents. These species can subsequently serve as an additional reservoir for the infectious agent and contribute to its dissemination. The objective of our study was to investigate the interspecies transmission and the progression pattern of the leukemic process in small ruminants. **Methods.** To analyze the dynamics of the infectious process in experimental animals, hematological, immunological, molecular-genetic, and histological studies were performed. **Scientific novelty.** New data have been obtained on the development and course of bovine leukemia virus of different genotypes in small ruminants. The database on the immunohaematological profile of small ruminants during the leukemic process has been expanded and detailed. **Results.** It was established that in sheep, following intraperitoneal administration of BLV antigen, the infectious process develops within 30–50 days. It has been shown that the immune system of the experimental animals was in an immunosuppressive state. It has been established that pronounced pathological processes in lymphoid tissues (lymph nodes and spleen) were detected already at the initial stage of animal infection.

Keywords: bovine leukemia virus, virus genotypes, immunohaemato-logical analysis, integral leukocyte indices, molecular genetic testing

Acknowledgements. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation, project No. 23-16-00103, <https://rscf.ru/project/23-16-00103/>

For citation: Poryvaeva A. P., Donnik I. M., Isaeva A. G., Drozdova L. I., Petropavlovskiy M. V., Krivonogova A. S., Palagin S. Yu., Lysov A. V. Features of the course of the leukemic process in experimental animals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1731–1748. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1731-1748>. (In Russ.)

Date of paper submission: 18.06.2026, **date of review:** 24.07.2026, **date of acceptance:** 31.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Вирус лейкоза крупного рогатого скота (BLV), представитель дельтареtrovirusов, вызывает энзоотический лейкоз – хроническое заболевание, характеризующееся длительным латентным периодом, поликлональной пролиферацией зараженных В-лимфоцитов, прогрессирующим персистирующим лимфоцитозом. Исходом инфекции является развитие злокачественной В-клеточной лимфомы или лейкомии.

Инфекция BLV имеет глобальное распространение и регистрируется во многих странах. Высокая пораженность стад крупного рогатого скота отмечена в Северной Америке, например в США (до 86,5 %), Южной Америке, например в Бразилии (до 81 %). Значительная распространенность BLV также характерна также для стран Евразийского континента: в Японии (36 %), России (до 55 %) и госу-

дарствах СНГ (от 35 % до 70 %), что наносит существенный экономический ущерб животноводческой отрасли [1–3]. На основании филогенетических исследований в настоящее время классифицировано 12 генотипов вируса лейкоза [4–6]. Результаты наших предыдущих исследований выявили прямую зависимость между эпизоотической ситуацией и циркулирующим генотипом BLV на территории субъекта. Регионы с высокой степенью инфицированности животных были ассоциированы с генотипом G4. В то же время в благополучных по заболеванию регионах доминировал менее вирулентный генотип G7. Исследования показали, что инфекция, вызванная генотипом G4, характеризуется более агрессивным течением, что ускоряет переход заболевания в сублейкемическую и лейкемическую стадии. Это, в свою очередь, приводит к высокому уровню провирусной нагрузки, способствующему

интенсивному распространению патогена в популяции [7; 8].

Известно, что основным фактором передачи возбудителя лейкоза к восприимчивым животным, т. е. крупному рогатому скоту, является контактный путь. Однако известно и то, что возбудитель BLV легко преодолевает межвидовой барьер среди отдельных видов млекопитающих, которые могут являться дополнительным источником возбудителя инфекции. Зафиксированы случаи инфицирования мелкого рогатого скота, грызунов, зайцеобразных, приматов и других животных. В Российской Федерации вопросами изучения межвидовой передачи возбудителя лейкоза занимался коллектив авторов под руководством академика М. И. Гулюкина. Ранее ими продемонстрировано заражение кроликов вирусом лейкоза крупного рогатого скота (BLV) из молока и крови от больной энзоотическим лейкозом коровы при введении через желудочно-кишечный тракт или непосредственно в кровеносное русло. Полученные результаты свидетельствовали об адаптационной пластичности BLV в преодолении межвидовых барьеров и опасности нативного молока как продукта, обладающего инфекционными свойствами [9]. Подтверждено инфицирование лейкозом овец и буйолов в стадах Колумбии [10].

В Российской Федерации, согласно действующим ветеринарным правилам профилактики и борьбы с лейкозом, проводят ежегодный серологический скрининг крупного рогатого скота на лейкоз, однако мелкий рогатый скот диагностическим исследованиям не подвергается, в этой связи исследования по изучению межвидовой передачи и характера течения лейкозного процесса у мелкого рогатого скота являются актуальными [11].

Методология и методы исследования (Methods)

Экспериментальные животные – овцы эдильбаевской породы в возрасте 8 месяцев на момент начала эксперимента, самцы ($n = 4$); интактные животные – овцы эдильбаевской породы в возрасте 7–8 месяцев, самцы ($n = 2$). Биопробы – кровь, сыворотка крови от экспериментальных и интактных животных ($n = 6$). Исследования проведены в соответствии с одобренными Советом международных медицинских научных организаций международными рекомендациями (этический кодекс) по проведению медико-биологических исследований с использованием животных (Женева, 1985), этическими принципами Европейской конвенции по защите животных, используемых в экспериментальных и иных научных целях, принятыми в 1986 году в Страсбурге, а также в соответствии с Позицией по этике использования животных в исследованиях, выполняемых при поддержке РФФИ. Протокол опытов на животных одобрен этической комиссией Уральского НИВИ – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Все манипуляции

проведены согласно методическим указаниям по проведению вирусологических исследований методом биопробы [12]. Манипуляции с животными осуществлены квалифицированными ветеринарными специалистами. Содержание и кормление животных соответствует физиологическим и ветеринарно-санитарным правилам и нормам.

Вирус лейкоза крупного рогатого скота:

1) изолят (лейкоцитарный материал) BLV 4 генотип «бельгийский» выделен из цельной крови от инфицированного вирусом лейкоза крупного рогатого скота из неблагополучного по лейкозу предприятия Нижне-Тавдинского района Тюменской области;

2) изолят (лейкоцитарный материал) BLV 7 генотип «австралийский» выделен из цельной крови от инфицированного вирусом лейкоза крупного рогатого скота из неблагополучного по лейкозу предприятия Абатского района Тюменской области.

Экспериментальным животным вирусосодержащую суспензию (лейкоцитарный материал) вводили внутривенно в объеме 1,5 мл.

Динамику развития инфекционного процесса у экспериментальных животных исследовали гематологическими, иммунологическими, молекулярно-генетическими методами. Лабораторные исследования биопроб от экспериментальных животных осуществляли в 1-е сутки начала опыта (фоновые значения показателей), затем на 10-е сутки, 30-е, 60-е, 90-е, 120-е, 240-е, 360-е и 390-е сутки после инфицирования.

Гематологические методы

В крови экспериментальных животных определяли концентрацию эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, лимфоцитов, гемоглобина с использованием гематологического анализатора Abacus Junior Vet, программа Measure Profiles 3 Sheep (Diatron, Австрия), применяя стандартные реактивы; скорость оседания эритроцитов (СОЭ) – по методике Панченкова; осмотическую резистентность эритроцитов (ОРЭ) – по унифицированной методике в модификации Л. И. Идельсона; процентное содержание лейкоцитарных клеток в формуле крови – методом световой микроскопии мазков крови, окрашенных по Романовскому – Гимзе, на микроскопе Micros MCX100 (Micros, Австрия).

Для оценки выраженности эндогенной интоксикации организма, активности воспалительного процесса и выявления патологических иммунологических нарушений у экспериментальных животных по данным гематологического анализа вычисляли индексы ЛИИр, ИСКЛ, ЛИ, ЯИ [13].

Интегральные лейкоцитарные индексы рассчитывали по следующим видам клеток: сегментоядерные нейтрофилы, палочкоядерные нейтрофилы, юные нейтрофилы, моноциты, лимфоциты, эозинофилы, базофилы (значения в процентах).

ЛИИр – лейкоцитарный индекс интоксикации в модификации Б. А. Рейса – отражает степень интоксикации, выраженность воспаления и процессы тканевой дегенерации.

$$\text{ЛИИр} = \frac{\text{сегментоядерные} + \text{палочкоядерные} + \text{юные}}{\text{моноциты} + \text{лимфоциты} + \text{эозинофилы}}.$$

ИСЛК – индекс сдвига лейкоцитов крови – характеризует соотношение гранулоцитов и агранулоцитов, отражает иммунологическую реактивность организма и выраженность воспалительного процесса.

$$\text{ИСЛК} = \frac{\text{эозинофилы} + \text{базофилы} + \text{нейтрофилы}}{\text{моноциты} + \text{лимфоциты}}.$$

ИЛГ – лимфоцитарно-гранулоцитарный индекс – отражает взаимоотношение гуморального и клеточного звена иммунной системы организма.

$$\text{ИЛГ} = \frac{\text{лимфоциты} \times 10}{\text{нейтрофилы} + \text{эозинофилы} + \text{базофилы}}.$$

ЯИ – ядерный индекс Г. Д. Даштаянца – определяет тяжесть состояния больного животного и характеризует скорость регенерации нейтрофилов и моноцитов, а также продолжительность их циркуляции в кровяном русле.

$$\text{ЯИ} = \frac{\text{моноциты} + \text{юные} + \text{палочкоядерные}}{\text{сегментоядерные}}.$$

Значения лейкоцитарных индексов у экспериментальных животных сравнивали с аналогичными индексами у интактных овец.

ЛТ_{лф}И – лейкоцитарно-Т-лимфоцитарный индекс – отражает состояние иммунореактивности в целом

$$\text{ЛТИ} = \frac{\text{лейкоциты}}{\text{Т-лимфоциты}}.$$

Иммунологические методы

Определяли содержание в крови у экспериментальных и интактных животных Т- и В-лимфоцитов в реакции спонтанного розеткообразования с эритроцитами быка для Т-лимфоцитов (Е-РОЛ) и с эритроцитами мыши для В-лимфоцитов (М-РОЛ); фагоцитарной активности и индекса нейтрофилов в опсоно-фагоцитарной реакции с использованием латекса по методике П. Н. Смирнова. Учет реакций осуществляли визуально на микроскопе Axiosam 208 (Carl Zeiss, Германия). В сыворотке крови овец определяли содержание циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) методом селективной преципитации полиэтиленгликолем на фотометре для микропланшетов iMark™ (BIO-RAD, Япония); накопление продуктов перекисного окисления липидов – по концентрации малонового диальдегида (МДА) согласно методическим рекомендациям [14; 15], оптическую плотность измеряли на фотометре для микропланшетов iMark™ (BIO-RAD, Япония).

Диагностика BLV-инфекции у экспериментальных животных

Иммуноферментный анализ (ИФА) проводили с использованием набора IDEXX Leukosis Serum Screening-AB Test (Франция) в соответствии с при-

лагаемой инструкцией производителя. Учет результатов исследований проводили на фотометре для микропланшетов iMark™ (BIO-RAD, Япония).

ПЦР-диагностику вируса лейкоза крупного рогатого скота производили в реальном времени с использованием коммерческой тест-системы для выявления провируса лейкоза крупного рогатого скота «АмплиПрайм Лейкоз КРС» (ООО «НекстБио, Россия») [16]. Амплификацию проводили при помощи амплификатора CFX96 Touch (Bio-Rad, США). Интерпретацию полученных результатов производили согласно инструкции производителя.

Гистологические исследования

Стандартную гистологическую проводку выполняли при помощи автоматического тканевого процессора Leica TP1020 с последующей заливкой материала в парафин на станции Leica EG1160. Гистологические срезы толщиной 3–5 мкм готовили на санном микротоме Leica SM2000R. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином, помещали под покровные стекла в мортирующую среду Leica. Изучение микроструктуры образцов на гистологических препаратах и их фотографирование на цифровую фототехнику проводили на световом микроскопе Leica (производство Австрия) при разных увеличениях.

Результаты (Results)

Наблюдение за экспериментальными животными в 1-е и 2-е сутки показало отсутствие у них гипериммунных реакций немедленного и замедленного типа на вирусосодержащий лейкоцитарный материал, что свидетельствовало об адекватности метода введения и возможности использования лейкоцитарной фракции крови инфицированных BLV коров в качестве антигена.

О развитии инфекционного процесса у экспериментальных животных судили по синтезу специфических к BLV антител [17]. У баранов (инв. № 403, инв. № 491), инфицированных BLV 7 генотип «австралийский», специфические антитела методом ИФА были диагностированы на 10-е сутки после заражения. У одного барана (инв. № 471), инфицированного BLV 4 генотип «бельгийский», специфические антитела выявляли на 20-е сутки, у второго животного (инв. № 414) – на 30-е сутки. Начиная с 40-х суток после инфицирования и на момент завершения опыта наличие специфических антител к BLV в сыворотке крови у экспериментальных животных диагностировали стабильно (таблица 1).

Разница во временных параметрах развития инфекционного процесса, вероятно, связана с патогенетическими особенностями генотипов BLV и индивидуальной восприимчивостью экспериментальных животных к данному инфекционному агенту [18]. Однако полученные результаты убедительно свидетельствовали, что в организме экспериментальных животных происходила репродукция возбудителя BLV, которая инициировала специфиче-

ский иммунный ответ. Развитие заболевания происходило в первые 30 дней после внутрибрюшинного инфицирования животных BLV.

При анализе результатов гематологических исследований было установлено, что в течение 90 суток наблюдения у всех инфицированных животных показатели красного ростка крови не претерпевали существенных изменений и соответствовали физиологическим параметрам вида (рис. 1, 2)

В анализируемый период у интактных баранов концентрация эритроцитов составляла $12,63 \pm 0,71 \times 10^{12}/л$, гемоглобина – $127,1 \pm 5,8$ г/л, гематокрит – $32,12 \pm 1,4$ %, СОЭ – $0,5$ мм/ч.

Средние показатели ($M \pm m$) у животных опытных:

1) у баранов, инфицированных BLV 4 генотип «бельгийский»: концентрация эритроцитов – $13,19 \pm 0,42 \times 10^{12}/л$, гемоглобина – $129,4 \pm 3,5$ г/л, гематокрит – $33,22 \pm 1,9$ %, СОЭ – $0,5$ мм/ч;

2) у баранов, инфицированных BLV 7 генотип «Австралийский»: концентрация эритроцитов – $12,75 \pm 0,44 \times 10^{12}/л$, гемоглобина – $118,7 \pm 5,5$ г/л, гематокрит – $33,31 \pm 0,9$ %, СОЭ – $0,5$ мм/ч.

Изменения в клеточном составе лейкоцитарной фракции крови у инфицированных животных представлены на рис. 3 и 4.

На 10-е сутки после инфицирования у экспериментальных животных изменялось соотношение клеток лейкоцитарной фракции в сторону увеличения субпопуляции агранулоцитов (моноцитов

и лимфоцитов). В нормоэргическом состоянии у жвачных животных соотношение субпопуляций клеток агранулоцитов к гранулоцитам находится в пределах от 0,9 до 1,5 у. е. [19]. У интактных баранов данное соотношение колебалось в интервале от 1,04 до 1,4 у. е. У баранов, инфицированных BLV 4 генотип «бельгийский», данное соотношение субпопуляций клеток составляло 0,92 у. е.; у баранов, инфицированных BLV 7 генотип «австралийский», – 2,03 у. е. Максимальный рост субпопуляции агранулоцитов у данных животных регистрировали на 30-е сутки эксперимента. Соотношение агранулоцитов к гранулоцитам в этот момент было 3,16 у. е. (BLV 4 генотип «бельгийский») и 2,33 у. е. (BLV 7 генотип «австралийский»). В последующем наблюдали колебание этого соотношения со снижением до 1,17 у. е. (BLV 4 генотип) и до 1,63 у. е. (BLV 7 генотип) на 60-е сутки. Повышение до нормативных значений отмечали у экспериментальных животных с BLV 4 генотип «бельгийский» на 90-е сутки. Необходимо отметить, что динамика изменения состава лейкоцитарной фракции у баранов, инфицированных BLV 4 генотип «бельгийский», имела выраженный характер. У животных, инфицированных BLV 7 генотип «австралийский», данная динамика изменений была более сглаженной, но при этом наблюдали стабильное превалирование субпопуляции агранулоцитов (моноцитов и лимфоцитов).

Таблица 1
Динамика выявления специфических антител и генома BLV у экспериментального мелкого рогатого скота

Характеристика экспериментального животного, генотип BLV	Наличие антител к BLV в сыворотке крови (ИФА)* и генома BLV в биопробах (ПЦР)**						
	Сутки после инфицирования						
	10 ИФА/ПЦР	20 ИФА/ПЦР	30 ИФА/ПЦР	40 ИФА/ПЦР	70–90 ИФА/ПЦР	120–240 ИФА/ПЦР	360–390 ИФА/ПЦР
Баран (инв. № 471), BLV-4	–/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Баран (инв. № 414), BLV-4	–/+	–/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Баран (инв. № 403), BLV-7	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Баран (инв. № 491), BLV-7	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+

Примечание. ИФА*: «–» – отрицательный результат, антитела к BLV не обнаружены; «+» – положительный результат, выявлены антитела к BLV.

ПЦР*: «–» – отрицательный результат, геном BLV не выделен; «+» – положительный результат, выявлен геном BLV.

Table 1
Dynamics of detection of specific antibodies and BLV genome in experimental small ruminants

Experimental animal characteristics, BLV genotype	Presence of anti-BLV antibodies in serum (ELISA)* and BLV genome in biological samples (PCR)**						
	Days post infection						
	10 ELISA/PCR	20 ELISA/PCR	30 ELISA/PCR	40 ELISA/PCR	70–90 ELISA/PCR	120–240 ELISA/PCR	360–390 ELISA/PCR
Ram (inv. No. 471), BLV 4	–/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Ram (inv. No. 414), BLV 4	–/+	–/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Ram (inv. No. 403), BLV 7	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Ram (inv. No. 491), BLV 7	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+

Note. ELISA*: “–” – negative result, no anti BLV antibodies detected; “+” – positive result, anti BLV antibodies detected.

PCR*: “–” – negative result, BLV genome not detected; “+” – positive result, BLV genome detected.

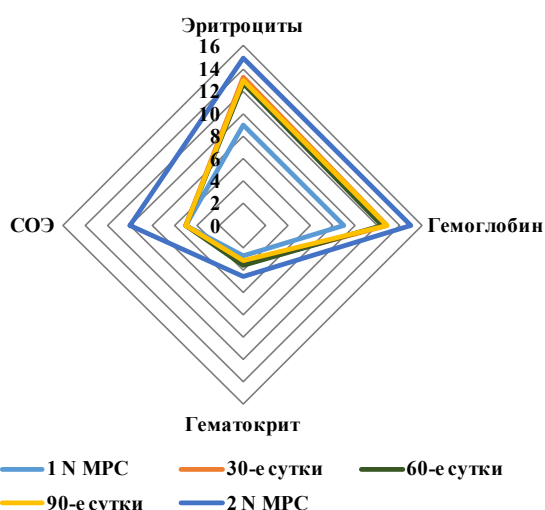


Рис. 1. Показатели красного ростка крови у экспериментальных баранов, инфицированных BLV 4 генотип «бельгийский», 30–90-е сутки наблюдения. 1N MPC – 2N MPC – референтный интервал физиологических видовых показателей [14]; эритроциты $\times 10^{12}/л$; гемоглобин $\times 101 г/л$; гематокрит $\times 101 \%$; $CO_2 \times 10^{-1} мм/ч$

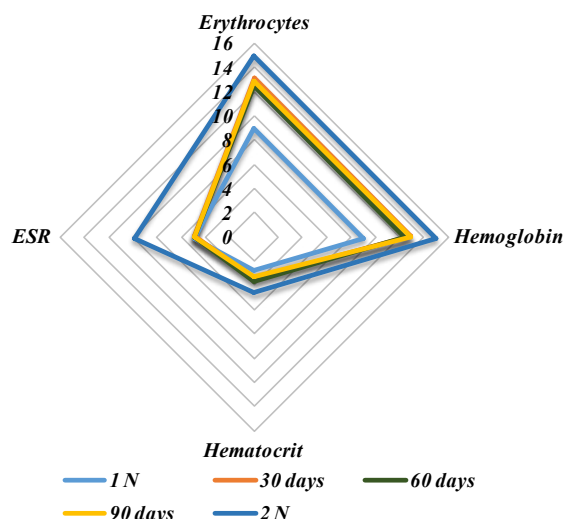


Fig. 1. Red blood cell parameters in experimental rams infected with BLV genotype 4 (Belgian), observation days 30–90. 1N SRC – 2N SRC – reference interval of physiological species specific values [14]; erythrocytes $\times 10^{12}/L$; hemoglobin $\times 10 g/L$; hematocrit $\times 10 \%$; ESR $\times 10^{-1} mm/h$

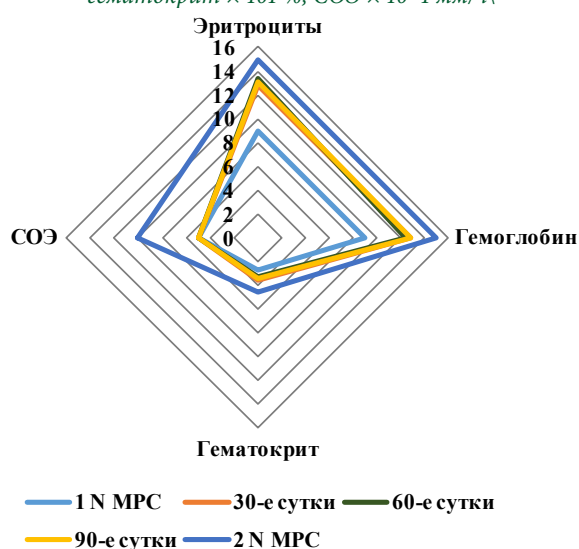


Рис. 2. Показатели красного ростка крови у экспериментальных баранов, инфицированных BLV 7 генотип «австралийский», 30–90-е сутки наблюдения. 1N MPC – 2N MPC – референтный интервал физиологических видовых показателей [14]; эритроциты $\times 10^{12}/л$; гемоглобин $\times 101 г/л$; гематокрит $\times 101 \%$; $CO_2 \times 10^{-1} мм/ч$

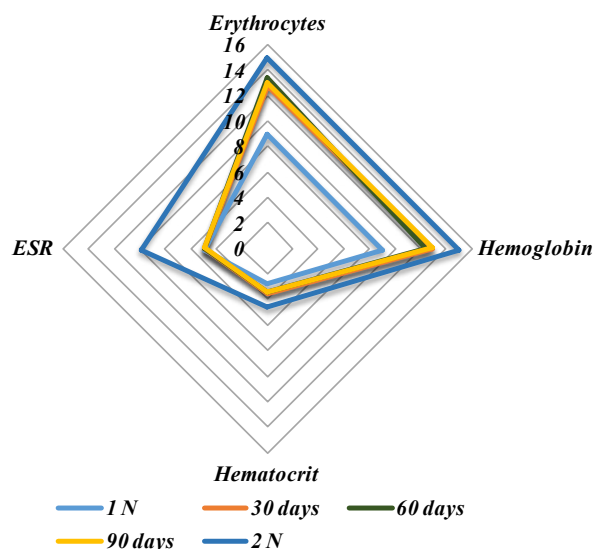


Fig. 2. Red blood cell parameters in experimental rams infected with BLV genotype 7 (Australian), observation days 30–90. 1N SRC – 2N SRC – reference interval of physiological species specific values [14]; Erythrocytes $\times 10^{12}/L$; Hemoglobin $\times 10 g/L$; Hematocrit $\times 10 \%$; ESR $\times 10^{-1} mm/h$

Выраженность и интенсивность иммунных реакций организма экспериментальных животных в анализируемый период существенно не отличались от «классической схемы» при первичном инфицировании вирусными агентами (таблица 2).

На 10-е сутки после инфицирования у экспериментальных животных наблюдается развитие умеренной воспалительной реакции: увеличение количества лейкоцитов в 1,4–1,5 раза, содержания ЦИК – в среднем на 6–7 %; относительного количества Т-лимфоцитов – в 1,2–1,3 раза, относительного количества фагоцитирующих клеток – в 1,3–1,4

раза по сравнению с фоновыми значениями. У баранов (инфицированных как BLV 4 генотип «бельгийский», так и BLV 7 генотип «австралийский») данные изменения вполне закономерны, так как они связаны с процессами антителообразования в ответ на введение антигена. Сопоставление значений лейкоцитарных индексов с основными показателями красного ростка крови и показателем оксидантного стресса продемонстрировало, что интенсивность и выраженность иммунных реакций у экспериментальных животных соответствовали нормоэргическим при инфекционных заболеваниях [22; 23].

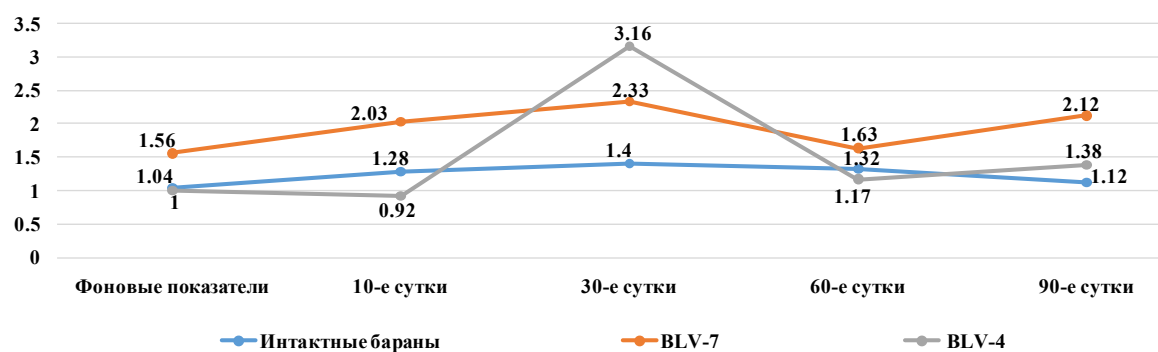


Рис. 3. Динамика соотношения «агранулоциты/гранулоциты» в лейкоцитарной фракции крови у экспериментальных баранов, инфицированных BLV

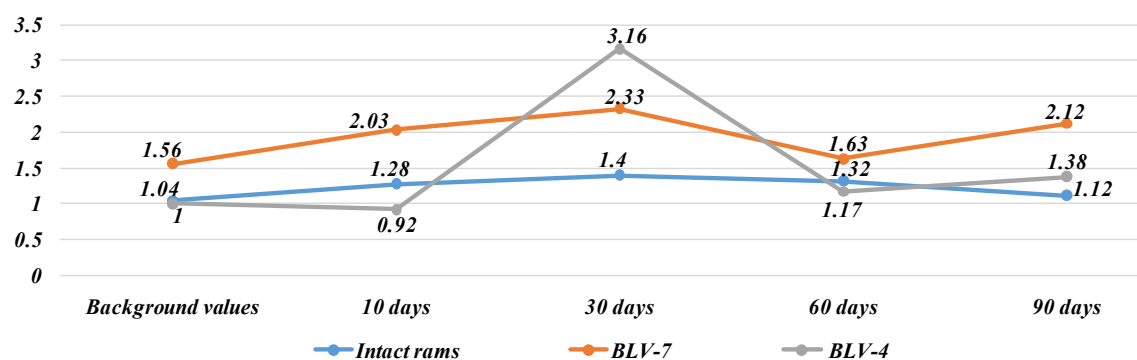


Fig. 3. Dynamics of the agranulocyte/granulocyte ratio in the blood leukocyte fraction of experimental rams infected with BLV

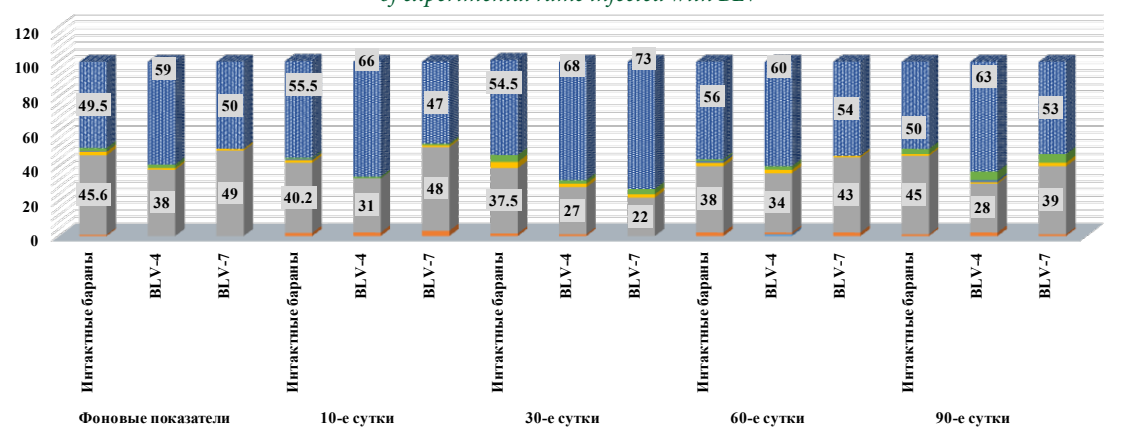


Рис. 4. Динамика изменений клеточных субпопуляций лейкоцитарной фракции крови у экспериментальных баранов (клеточные субпопуляции, %)

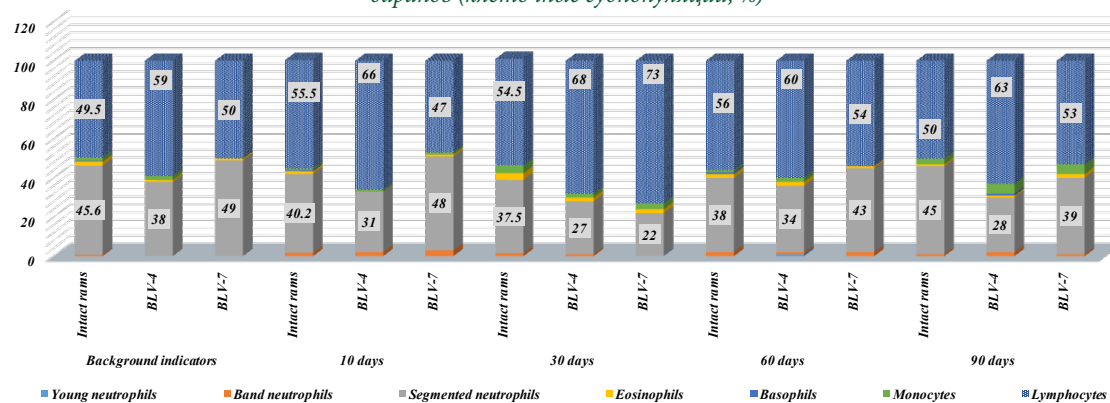


Fig. 4. Dynamics of changes in cellular subpopulations of the blood leukocyte fraction in experimental rams (subpopulations, %)

Таблица 2

Показатели иммунной системы у экспериментальных животных, инфицированных BLV

Исследуемый показатель иммунной системы	Сутки после инфицирования экспериментальных животных антигенами BLV							
	10		30		60		90	
	BLV-4	BLV-7	BLV-4	BLV-7	BLV-4	BLV-7	BLV-4	BLV-7
Лейкоциты ¹ 4,0–12,0 × 10 ⁹ /л	18,7 ± 3,2	16,8 ± 1,9	14,7 ± 3,5	14,8 ± 1,5	13,7 ± 2,1	12,8 ± 1,9	12,9 ± 1,1	13,1 ± 0,8
Т-клетки ² 30–50 %	52,7 ± 2,7	48,8 ± 3,9	47,7 ± 3,1	47,8 ± 3,6	46,4 ± 2,4	45,8 ± 2,3	42,9 ± 2,1	43,6 ± 2,8
В-клетки ² 20–30 %	22,3 ± 2,1	19,9 ± 2,4	23,8 ± 1,9	26,5 ± 2,7	25,8 ± 1,8	26,9 ± 2,1	23,8 ± 1,9	24,2 ± 2,1
ИРИ ² 1,5–2,0 у. е.	2,6 ± 0,2	2,7 ± 0,2	2,1 ± 0,3	1,9 ± 0,2	1,8 ± 0,3	1,7 ± 0,4	1,8 ± 0,4	1,8 ± 0,2
ФА ² 30–60 %	45,9 ± 2,1	44,7 ± 2,2	47,6 ± 3,4	51,7 ± 2,2	47,1 ± 2,4	48,9 ± 1,8	41,8 ± 2,2	42,5 ± 2,1
ФИ ² 4–10 у. е.	5,9 ± 0,4	6,3 ± 0,2	6,2 ± 0,5	6,5 ± 0,3	5,8 ± 0,4	5,8 ± 0,2	6,3 ± 0,2	6,0 ± 0,2
ЦИК ² 70–90 у. е.	85,9 ± 4,9	91,7 ± 4,2	87,6 ± 3,4	81,7 ± 5,2	77,1 ± 4,4	78,9 ± 4,8	75,8 ± 5,2	77,5 ± 3,1
ЛТФ ³ 4–8 у. е.	4,25 ± 0,2	7,26 ± 0,3	3,25 ± 0,4	2,52 ± 0,3	2,97 ± 0,5	3,47 ± 0,7	3,17 ± 0,2	3,45 ± 0,4
ЛИИ ⁴ 0,64–1,05 у. е.	0,96 ± 0,1	0,61 ± 0,1	1,06 ± 0,2	1,10 ± 0,2	0,81 ± 0,1	0,56 ± 0,2	0,67 ± 0,1	0,77 ± 0,1
ИЛГ ⁴ 9,05–12,8 у. е.	9,03 ± 0,3	20,1 ± 0,7	30,4 ± 0,7	22,6 ± 0,3	11,7 ± 0,5	15,7 ± 0,4	12,6 ± 0,1	14,2 ± 0,7
ИСЛК ⁴ 0,8–1,0 у. е.	1,08 ± 0,3	0,49 ± 0,1	0,31 ± 0,1	0,42 ± 0,1	0,85 ± 0,2	0,61 ± 0,2	0,72 ± 0,3	1,08 ± 0,1
ЯИ ⁴ 0,05–0,08 у. е.	0,08 ± 0,1	0,07 ± 0,1	0,13 ± 0,1	0,11 ± 0,1	0,07 ± 0,1	0,11 ± 0,1	0,15 ± 0,1	0,25 ± 0,1
МДА ⁴ 0,120–0,142 ммоль/мл	0,129 ± 0,07	0,134 ± 0,05	0,175 ± 0,04	0,171 ± 0,08	0,152 ± 0,02	0,155 ± 0,01	0,131 ± 0,07	0,127 ± 0,01

Примечание. ¹ [19]; ² [20]; ³ [21]; ⁴ интервалы показателя у интактных животных, входивших в экспериментальную группу.

Table 2

Immune system parameters in experimental animals infected with BLV

Parameter	Days post infection of experimental animals with BLV antigens							
	10		30		60		90	
	BLV-4	BLV-7	BLV-4	BLV-7	BLV-4	BLV-7	BLV-4	BLV-7
Leukocytes ¹ 4.0–12.0 × 10 ⁹ /L	18.7 ± 3.2	16.8 ± 1.9	14.7 ± 3.5	14.8 ± 1.5	13.7 ± 2.1	12.8 ± 1.9	12.9 ± 1.1	13.1 ± 0.8
T-cells ² 30–50 %	52.7 ± 2.7	48.8 ± 3.9	47.7 ± 3.1	47.8 ± 3.6	46.4 ± 2.4	45.8 ± 2.3	42.9 ± 2.1	43.6 ± 2.8
T-cells ² 20–30 %	22.3 ± 2.1	19.9 ± 2.4	23.8 ± 1.9	26.5 ± 2.7	25.8 ± 1.8	26.9 ± 2.1	23.8 ± 1.9	24.2 ± 2.1
IRI ² 1.5–2.0 arb. units	2.6 ± 0.2	2.7 ± 0.2	2.1 ± 0.3	1.9 ± 0.2	1.8 ± 0.3	1.7 ± 0.4	1.8 ± 0.4	1.8 ± 0.2
Phagocytic activity (PA) ² 30–60 %	45.9 ± 2.1	44.7 ± 2.2	47.6 ± 3.4	51.7 ± 2.2	47.1 ± 2.4	48.9 ± 1.8	41.8 ± 2.2	42.5 ± 2.1
Phagocytic index (PI) ² 4–10 arb. units	5.9 ± 0.4	6.3 ± 0.2	6.2 ± 0.5	6.5 ± 0.3	5.8 ± 0.4	5.8 ± 0.2	6.3 ± 0.2	6.0 ± 0.2
CIC ² 70–90 arb. units	85.9 ± 4.9	91.7 ± 4.2	87.6 ± 3.4	81.7 ± 5.2	77.1 ± 4.4	78.9 ± 4.8	75.8 ± 5.2	77.5 ± 3.1
LTF ³ 4–8 arb. units	4.25 ± 0.2	7.26 ± 0.3	3.25 ± 0.4	2.52 ± 0.3	2.97 ± 0.5	3.47 ± 0.7	3.17 ± 0.2	3.45 ± 0.4
LII ⁴ 0.64–1.05 arb. units	0.96 ± 0.1	0.61 ± 0.1	1.06 ± 0.2	1.10 ± 0.2	0.81 ± 0.1	0.56 ± 0.2	0.67 ± 0.1	0.77 ± 0.1
ILG ⁴ 9.05–12.8 arb. units	9.03 ± 0.3	20.1 ± 0.7	30.4 ± 0.7	22.6 ± 0.3	11.7 ± 0.5	15.7 ± 0.4	12.6 ± 0.1	14.2 ± 0.7
ISLC ⁴ 0.8–1.0 arb. units	1.08 ± 0.3	0.49 ± 0.1	0.31 ± 0.1	0.42 ± 0.1	0.85 ± 0.2	0.61 ± 0.2	0.72 ± 0.3	1.08 ± 0.1
Nuclear index (NI) ⁴ 0.05–0.08 arb. units	0.08 ± 0.1	0.07 ± 0.1	0.13 ± 0.1	0.11 ± 0.1	0.07 ± 0.1	0.11 ± 0.1	0.15 ± 0.1	0.25 ± 0.1
MDA ⁴ 0.120–0.142 mmol/mL	0.129 ± 0.07	0.134 ± 0.05	0.175 ± 0.04	0.171 ± 0.08	0.152 ± 0.02	0.155 ± 0.01	0.131 ± 0.07	0.127 ± 0.01

Note. IRI – immunoregulatory index (T cells / B cells); PA – phagocytic activity; PI – phagocytic index; CIC – circulating immune complexes; LTI – leukocyte transformation index; LII – leukocyte intoxication index; ILG – integral leukocyte index; ISLC – index of shift of leukocytes; NI – nuclear index; MDA – malondialdehyde.

¹ [19]; ² [20]; ³ [21]; ⁴ intervals of the parameter in intact animals included in the experimental group.

Анализ результатов лабораторных исследований состояния иммунной системы на 30-е сутки опыта показал, что у экспериментальных животных воспалительная реакция, как и на 10-е сутки,

имела умеренный характер. Однако ее параметры изменились: так, регистрировали снижение общего количества лейкоцитов на 21,4 % у баранов с BLV 4 генотип «бельгийский» и 11,9 % у особей с BLV

7 генотип «австралийский» по сравнению с аналогичными показателями на 10-е сутки опыта. В субпопуляции лимфоцитов диагностировали увеличение количества В-клеток в среднем до $2,17 \times 10^9/\text{л}$ (BLV 4) и $2,34 \times 10^9/\text{л}$ (BLV 7); значения на 10-е сутки опыта – $1,74 \times 10^9/\text{л}$ и $1,81 \times 10^9/\text{л}$ соответственно. Процессы интоксикации и тканевой деградации имели невыраженный характер, что подтверждалось отсутствием оксидантной нагрузки: СОЭ и гематокрит в пределах физиологической нормы вида (рис. 1, 2), концентрация МДА в сыворотке крови превышала таковую у интактных особей менее чем на 20 %: у животных с BLV 4 – на 17,8 %, у животных с BLV 7 – на 18,1 % [24]. В целом состояние иммунной системы у данных экспериментальных животных трактовали как иммуносупрессивное в легкой степени: у баранов с BLV 4 ЛТ_фИ $3,25 \pm 0,4$ у. е.; у баранов с BLV 7 ЛТ_фИ $2,52 \pm 0,3$ у. е. [21; 25]. Выявленный комплекс изменений в реакциях иммунной системы организма данных животных характерен для инфекционных заболеваний, обусловленных вирусами, обладающими тропностью к лейкоцитарным клеткам [26].

В период 60–90-х суток у экспериментальных баранов выраженность и интенсивность иммунных реакций организма динамично стремились к нормоэргическим характеристикам. Так, к 90-м суткам у животных отсутствовал лейкоцитоз: количество лейкоцитов в крови у баранов

с BLV 4 – $12,9 \pm 1,1 \times 10^9/\text{л}$, у баранов с BLV 7 – $13,1 \pm 0,8 \times 10^9/\text{л}$. Отклонение от референтных показателей вида составляло менее 10 % (7,5 % и 9,2 % соответственно), что может расцениваться как допустимое [19; 23]. Количественные и качественные параметры фагоцитирующих клеток, субпопуляций Т- и В- лимфоцитов регистрировали в референтных интервалах вида (таблица 2). Выявленность и интенсивность процессов интоксикации и тканевой деградации соответствовали нормоэргическим на уровне, необходимом для физиологического функционирования организма [27]. Однако у экспериментальных животных сохранялось иммуносупрессивное состояние в легкой степени (у баранов с BLV 4 ЛТ_фИ $3,17 \pm 0,2$ у. е.; у баранов с BLV 7 ЛТ_фИ $3,45 \pm 0,4$ у. е.) и напряжение в процессах регенерации субпопуляций гранулоцитов (у баранов с BLV 4 ЯИ $0,15 \pm 0,1$ у. е.; у баранов с BLV 7 ЯИ $0,25 \pm 0,1$ у. е.). По мнению ряда исследователей, данное сочетание представляет собой «продормальную стадию первичного иммунодефицитного состояния» [21; 24; 28]. На наш взгляд, процессы адаптации BLV к новому организму требуют несколько другой стратегии взаимодействия «патоген – хозяин». Вероятно, имеет место «абортная инфекция» субпопуляций гранулоцитов, которая провоцирует их гибель, тем самым стимулируется гемопоэз определенных лейкоцитов.

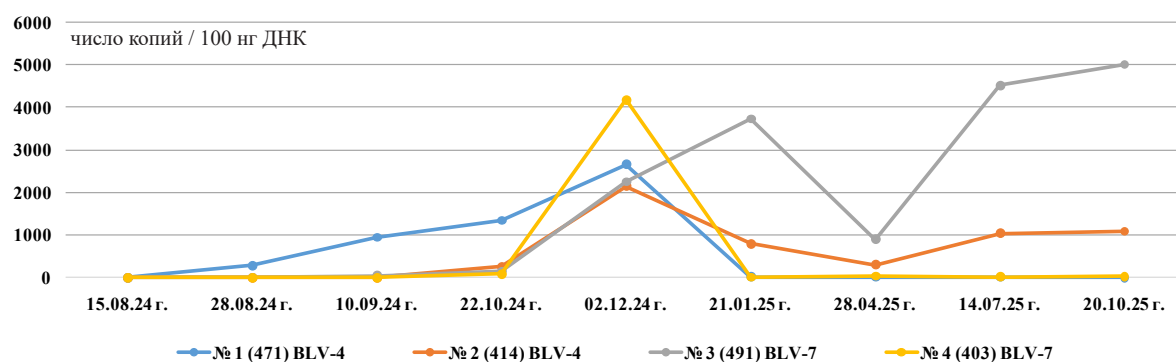


Рис. 5. Динамика репродукции BLV 4 генотипа «бельгийский» и BLV 7 генотипа «австралийский» в организме экспериментальных баранов при внутрибрюшинном заражении

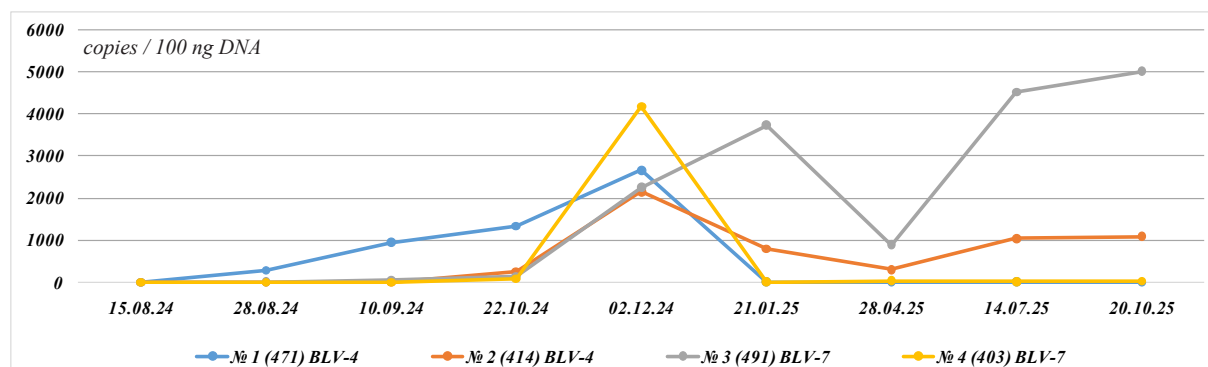


Fig. 5. Dynamics of replication of BLV genotype 4 (Belgian) and genotype 7 (Australian) in experimentally infected rams following intraperitoneal challenge

Отчасти предположение об изменении стратегии взаимодействия подтверждалось результатами определения провирусной нагрузки у экспериментальных животных (рис. 3). К 30–35-м суткам после заражения репликацию BLV регистрировали у всех особей, однако в количественном выражении – число копий/100 нг ДНК. Эти показатели существенно различались между собой [29]. Так, у одного животного (№ 471) с BLV 4 генотип «бельгийский» провирусная нагрузка составляла 948,09 копий / 100 нг ДНК у второго (№ 414) – < 10 копий / 100 нг ДНК. У животных с BLV 7 генотип «австралийский»: у барана № 491 – провирусная нагрузка 45,34 копий / 100 нг ДНК, у барана (№ 403) – < 10 копий / 100 нг ДНК.

Полученные в ходе эксперимента данные о провирусной нагрузке убедительно доказывали, что у инфицированных баранов в организме происходила репродукция BLV. Тем не менее охарактеризовать адаптационные возможности исследуемых генотипов BLV не представляется возможным. Из данных диаграммы рис. 3 с большей степенью вероятности можно утверждать, что в период с 60-х по 90-е сутки опыта происходит интенсивное размножение возбудителя. Затем скорость репродукции снижалась и оставалась на уровне < 50 копий / 100 нг ДНК вплоть до 390-х суток опыта у барана № 471 (BLV-4) и барана № 403 (BLV-7). В динамике репродукции возбудителя у барана № 414 (BLV-4) и барана № 491 (BLV-7) отмечали периоды подъема – спада, которые по уровню провирусной нагрузки располагались в диапазоне 2200 – 800 – 300 – 1100 копий / 100 нг ДНК и 2300 – 3800 – 900 – 5000 копий / 100 нг ДНК соответственно.

Как известно, лейкоз у крупного рогатого скота характеризуется медленным развитием патологических изменений в системе гемопоэза. У экспериментальных баранов в период 60–90-х суток опыта при интенсивной репродукции генотипов BLV изменения в системе гемопоэза были минимальными (таблица 2). Анализ основных иммуногематологических показателей у данных животных в период с 120-х по 390-е сутки опыта установил, что отклонение от референтных показателей вида составляло менее 12 % (таблица 3).

Учитывая, что в период 360–390-х суток у экспериментальных животных регистрировали увеличение провирусной нагрузки, нами была предпринята попытка по определению стадии инфекционного процесса. В качестве критерия определения стадии BLV использовали «лейкозный ключ» для крупного рогатого скота – показатель абсолютного количества лимфоцитов [30]. Результаты представлены в таблице 4.

Сопоставление полученных данных с результатами гематологических исследований позволило предположить, что экспериментальные животные

на 390-е сутки опыта находились в «пограничной стадии инфекционного процесса». Высказанное предположение подтверждалось гистологическими исследованиями лимфоидных органов (лимфатических узлов и селезенки) экспериментальных животных.

В лимфатических узлах инфицированных животных вне зависимости от генотипа BLV преобладали пролиферативные процессы со стороны междольковой соединительной ткани, которые были наиболее выражены в области ворот. В разросшейся соединительной ткани присутствовала жировая клетчатка (жировая метаплазия лимфатического узла). Мякотные тяжи в виде узких полосок были представлены лимфоидными клетками разной степени зрелости. Отмечали обилие кровеносных сосудов с ярко выраженным отслоением эндотелия, что свидетельствовало о патологии сосудистого русла. Центральные синусы были расширены. В них обнаруживали незначительное количество недифференцированных клеток (чаще единичные в поле зрения). Большую часть составляли клетки фибробластического ряда, что подтверждало пролиферативный (пролиферативный) процесс.

В корковой зоне лимфатических узлов отмечали отсутствие четкого контурирования лимфоидных фолликулов, в герминативных центрах которых преобладали популяции крупных лимфоцитов. Во вторичных фолликулах также регистрировали пролиферативные процессы В-клеток, однако количество крупных лимфоцитов было строго ограничено (3–4 единицы в поле зрения), при этом преобладали процессы апоптоза лимфоидных клеток. Необходимо подчеркнуть, что зона фолликулярного аппарата была резко уменьшена (рис. 6–9).

Селезенка у экспериментальных животных была умеренно кровенаполнена, соединительнотканная строма выражена отчетливо. Трабекулы находились в состоянии активной пролиферации их клеточных элементов. Определяли значительное количество митозов на разных стадиях, а также апоптоз лимфоидных элементов. В ряде случаев наблюдали редукцию лимфоидных фолликулов (фолликулы уменьшены в объеме, но с очень ярко выраженным герминативным центром), в других случаях – гиперплазию лимфоидных фолликулов. Наряду с главным центром размножения в фолликулярной зоне обнаруживали дополнительные центры размножения, представленные однородными клетками лимфоидного ряда. Ядра этих клеток содержали значительное количество хроматина, расположенного по периферии. Клетки одинаковой величины, по размерам были приближены к крупным лимфоцитам. Среди них встречались недифференцированные клетки с крупными ядрами, превышающими объем лимфоцита в 2–3 раза (рис. 6, 7).

Таблица 3
Иммуногематологические показатели у экспериментальных животных, инфицированных BLV

Исследуемый иммуногематологический показатель	Сутки после инфицирования экспериментальных животных антигенами BLV		
	120	240	360
	BLV-4	BLV-7	BLV-4
Эритроциты $9-15 \times 10^{12}/л$	11,5 ± 0,8	12,1 ± 0,6	12,4 ± 0,2
Гемоглобин $90-150 г/л$	112,7 ± 7,5	123,6 ± 4,9	121,9 ± 5,5
СОЭ $0,5-1,0 мм/ч$	0,55 ± 0,05	0,5	0,5
Лейкоциты $4-12 \times 10^9/л$	13,4 ± 2,2	12,9 ± 1,7	13,7 ± 1,5
Т-клетки 30–50 %	46,7 ± 4,1	47,3 ± 3,1	46,4 ± 2,4
В-клетки 20–30 %	23,8 ± 1,2	26,2 ± 2,7	25,8 ± 1,8
ИРИ 1,5–2,0 у. е.	1,8 ± 0,1	1,9 ± 0,2	1,8 ± 0,3
ФА 30–60 %	41,8 ± 2,2	47,1 ± 2,4	49,7 ± 2,2
ФИ 4–10 у. е.	6,3 ± 0,2	5,8 ± 0,4	6,5 ± 0,3
ЦИК 70–90 у. е.	81,7 ± 5,2	78,9 ± 3,8	77,8 ± 4,1
ЛТ И 4–8 у. е.	3,91 ± 0,2	4,05 ± 0,4	4,35 ± 0,2
ЛИИ 0,64–1,05 у. е.	1,10 ± 0,2	0,87 ± 0,1	0,71 ± 0,1
ИЛИГ 9,05–12,8 у. е.	11,2 ± 0,6	12,7 ± 0,4	12,6 ± 0,2
ИСЛК 0,8–1,0 у. е.	0,95 ± 0,2	1,04 ± 0,3	1,01 ± 0,2
ЯИ 0,05–0,08 у. е.	0,08 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,11 ± 0,01
МДА $0,120-0,142 ммоль/мл$	0,148 ± 0,02	0,150 ± 0,01	0,139 ± 0,07

Таблица 3
Immunohematological parameters in experimental animals infected with BLV

Parameter	Days post infection of experimental animals with BLV antigens		
	120	240	360
	BLV-4	BLV-7	BLV-4
Erythrocytes $9-15 \times 10^{12}/L$	11.5 ± 0.8	12.1 ± 0.6	12.4 ± 0.2
Hemoglobin $90-150 g/L$	112.7 ± 7.5	123.6 ± 4.9	121.9 ± 5.5
ESR $0.5-1.0 mm/h$	0.55 ± 0.05	0.5	0.5
Leukocytes $4-12 \times 10^9/L$	13.4 ± 2.2	12.9 ± 1.7	13.7 ± 1.5
T-cells 30–50 %	46.7 ± 4.1	47.3 ± 3.1	46.4 ± 2.4
B-cells 20–30 %	23.8 ± 1.2	26.2 ± 2.7	25.8 ± 1.8
IRI $1.5-2.0 arb. units$	1.8 ± 0.1	1.9 ± 0.2	1.8 ± 0.3
PA 30–60 %	41.8 ± 2.2	47.1 ± 2.4	49.7 ± 2.2
PI $4-10 arb. units$	6.3 ± 0.2	5.8 ± 0.4	6.5 ± 0.3
CIC 70–90 arb. units	81.7 ± 5.2	78.9 ± 3.8	77.8 ± 4.1
LTI $4-8 arb. units$	3.91 ± 0.2	4.05 ± 0.4	4.35 ± 0.2
LIH $0.64-1.05 arb. units$	1.10 ± 0.2	0.87 ± 0.1	0.71 ± 0.1
ILG $9.05-12.8 arb. units$	11.2 ± 0.6	12.7 ± 0.4	12.6 ± 0.2
ISLC $0.8-1.0 arb. units$	0.95 ± 0.2	1.04 ± 0.3	1.01 ± 0.2
NI $0.05-0.08 arb. units$	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.11 ± 0.01
MDA $0.120-0.142 mmol/mL$	0.148 ± 0.02	0.150 ± 0.01	0.139 ± 0.07

Biology and biotechnologies

Таблица 4

Стадии лейкозного процесса у экспериментальных животных, инфицированных

Характеристика экспериментального животного	Сутки опыта	Провирусная нагрузка, число копий / 100 нг ДНК	Абсолютное количество лимфоцитов у экспериментального животного, $\times 10^9/\text{л}$	Отклонение от референтных значений, %	
				Физиологическая видовая норма $2,0-9,0 \times 10^9/\text{л}$	Интактные особи $5,76 \pm 0,32$
Баран № 471, BLV 4 генотип	360	< 50	5,84	6,1	1,3
	390	< 50	6,02	9,4	4,5
Баран № 414, BLV 4 генотип	360	1039	6,34	11,2	11,1
	390	1089	6,47	12,7	12,3
Баран № 491, BLV 7 генотип	360	4515	7,23	11,3	11
	390	5010	7,43	14,5	15,1
Баран № 403, BLV 7 генотип	360	< 50	6,71	15,7	14,8
	390	< 50	6,29	8,5	9,1

Table 4

Stages of the leukemic process in experimental animals infected with BLV

Experimental animal	Day of experiment	Proviral load, copies / 100 ng DNA	Absolute lymphocyte count, $\times 10^9/\text{L}$	Deviation from reference values, %	
				Physiological species norm $2.0-9.0 \times 10^9/\text{L}$	Intact individuals 5.76 ± 0.32
Ram No. 471, BLV genotype 4	360	< 50	5.84	6.1	1.3
	390	< 50	6.02	9.4	4.5
Ram No. 414, BLV genotype 4	360	1039	6.34	11.2	11.1
	390	1089	6.47	12.7	12.3
Ram No. 491, BLV genotype 7	360	4515	7.23	11.3	11
	390	5010	7.43	14.5	15.1
Ram No. 403, BLV genotype 7	360	< 50	6.71	15.7	14.8
	390	< 50	6.29	8.5	9.1

Комплекс обнаруженных изменений в лимфоидных органах (лимфатических узлах и селезенке) у экспериментальных животных свидетельствовал о начальной стадии развития лейкозного процесса у мелкого рогатого скота.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Выполненные исследования показали, что мелкий рогатый скот (овцы) может служить экспериментальной моделью для воспроизведения заболевания, обусловленного возбудителем лейкоза крупного рогатого скота.

При внутрибрюшинном введении антигена BLV в объеме 1,5 мл у овец инфекционный процесс развивается в течение 30–50 дней, клинические проявления лейкоза у животных отсутствуют.

Изменения в системе гемопоэза у овец при экспериментальном лейкозе в течение 390 дней минимальны. Количественные и качественные параметры красного ростка крови: концентрация эритроцитов, содержание гемоглобина, гематокрит, скорость оседания эритроцитов, осмотическая резистентность эритроцитов в период опыта определяли в диапазоне референтных видовых значений. Отклонения в сторону увеличения или уменьшения у данных показателей составляли 8,3–8,4 %.

Комплекс изменений в реакциях иммунной системы организма данных животных характерен для инфекционных заболеваний, обусловленных вирусами. В инкубационный и продромальный периоды

заболевания BLV у экспериментальных овец регистрировали лейкоцитоз ($16,8-18,7 \times 10^9/\text{л}$), увеличение фагоцитарной активности нейтрофильных клеток (ФА 50–52 %), количества Т-лимфоцитов (ИРИ 2,6–2,7 у. е.). Выраженность эндоинтоксикации и тканевой дегенерации в данный период имела легкую или среднюю степень тяжести. Реактивность иммунной системы в эти периоды оценивали как нормоэргическую ($\text{ЛТ}_{\text{лф}}$ И 4,3–7,3 у. е.). В период развития и разгара заболевания выраженность и интенсивность реакций иммунной системы у экспериментальных овец не претерпевали существенных изменений по сравнению с описанными выше периодами. С 90-х по 390-е сутки включительно у животных отсутствовали проявления лейкоцитоза, однако концентрация клеток в крови была стабильно повышенной на 7,5–8,0 % по сравнению как с референтными видовыми показателями, так и с показателями у интактных животных, участвовавших в опыте. Увеличение количества клеток лейкоцитарной фракции происходило за счет субпопуляций лимфоцитов, концентрация которых в крови постоянно была выше на 11–12 % по сравнению референтными видовыми показателями. Иммунная система экспериментальных животных находилась в напряженном состоянии, которое трактовалось как иммуносупрессивное легкой степени ($\text{ЛТ}_{\text{лф}}$ И 3,6–3,8 у. е.).

Экспериментальный баран № 471, инфицированный BLV 4 генотип «бельгийский», 390-е сутки опыта, провирусная нагрузка < 50 копий / 100 нг ДНК
Experimental ram No. 471 infected with BLV genotype 4 (Belgian), day 390 of the experiment, proviral load < 50 copies / 100 ng DNA

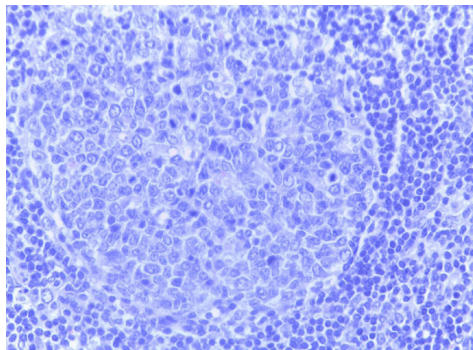


Рис. 6. Герминативный центр корковой зоны пахового лимфатического узла барана (BLV-4). Окраска гематоксилином и эозином (увеличение ×600). Фото Л. И. Дроздовой, М. В. Петропавловского

В корковой зоне четкого контурирования лимфоидных фолликулов не отмечено, однако хорошо визуализируются герминативные центры, в которых преобладает популяция крупных лимфоцитов

Fig. 6. Germinal center of the cortical zone of the inguinal lymph node of a ram (BLV 4). Hematoxylin and eosin stain (magnification ×600). Photo by L. I. Drozdova, M. V. Petropavlovskiy.

In the cortical zone, clear delineation of lymphoid follicles is not observed; however, germinal centers are well visualized, with a predominance of large lymphocytes

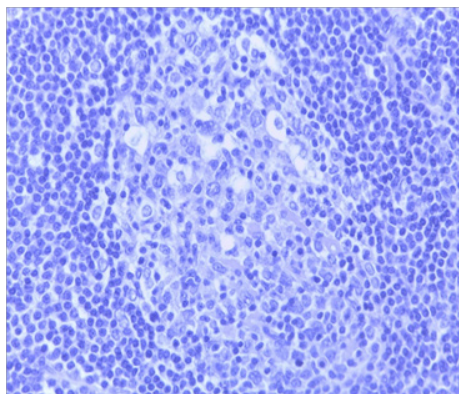


Рис. 8. Герминативный центр вторичного фолликула корковой зоны пахового лимфатического узла барана (BLV-4). Видны пролиферативные процессы В-клеток, количество крупных лимфоцитов ограничено (3–4 единицы в поле зрения), преобладают процессы апоптоза лимфоидных клеток. Окраска гематоксилином и эозином (увеличение ×600).

Фото Л. И. Дроздовой, М. В. Петропавловского
Fig. 8. Germinal center of a secondary follicle in the cortical zone of the inguinal lymph node of a ram (BLV 4). Proliferative processes of B cells are visible; the number of large lymphocytes is limited (3–4 per field of view), and apoptosis of lymphoid cells predominates. Hematoxylin and eosin stain (magnification ×600). Photo by L. I. Drozdova, M. V. Petropavlovskiy

Экспериментальный баран № 491, инфицированный BLV 7 генотип «австралийский», 390-е сутки опыта, провирусная нагрузка 5010 копий / 100 нг ДНК
Experimental ram No. 491 infected with BLV genotype 7 (Australian), day 390 of the experiment, proviral load 5010 copies / 100 ng DNA

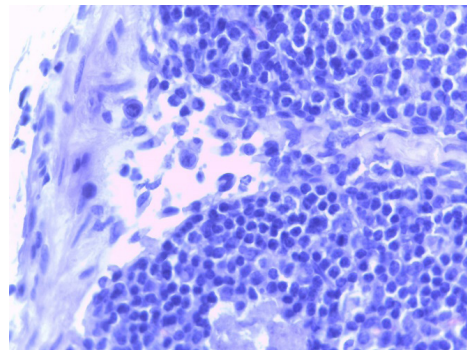


Рис. 7. Подкапсульный синус поясничного лимфатического узла лимфатического узла барана (BLV-7). Окраска гематоксилином и эозином (увеличение ×600). Фото Л. И. Дроздовой, М. В. Петропавловского

Зона подкапсульного синуса уменьшена в объеме, содержит незначительное количество недифференцированных клеток.

Фолликулы имеют нечеткие контуры.

Эритроциты в просвете сосудов окрашены неравномерно, наличествуют серповидные клетки
Fig. 7. Subcapsular sinus of the lumbar lymph node of a ram (BLV 7). Hematoxylin and eosin stain (magnification ×600). Photo by L. I. Drozdova, M. V. Petropavlovskiy

The subcapsular sinus zone is reduced in volume and contains a small number of undifferentiated cells. Follicles have indistinct contours. Erythrocytes within vessel lumina are unevenly stained, and sickle shaped cells are present

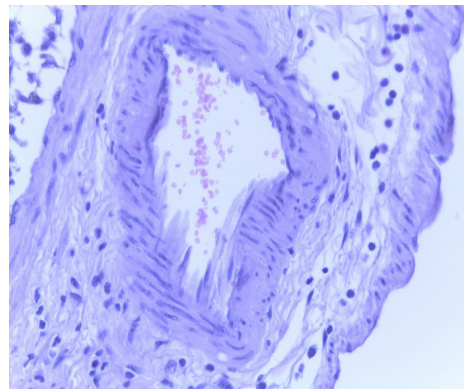


Рис. 9. Проллиферативные процессы в стенке кровеносного сосуда подкапсульного синуса поясничного лимфатического узла лимфатического узла барана (BLV-7). Неравномерная окраска эритроцитов с присутствием серповидных клеток (признак анемии). Окраска гематоксилином и эозином (увеличение ×600).

Фото Л. И. Дроздовой, М. В. Петропавловского
Fig. 9. Proliferative processes in the wall of a blood vessel of the subcapsular sinus of the lumbar lymph node of a ram (BLV 7). Uneven staining of erythrocytes with the presence of sickle shaped cells (a sign of anemia). Hematoxylin and eosin stain (magnification ×600).

Photo by L. I. Drozdova, M. V. Petropavlovskiy

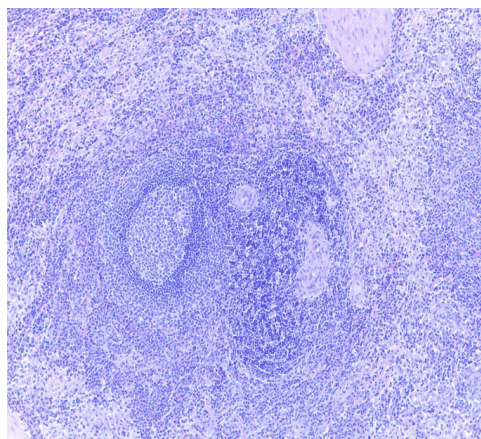


Рис. 10. Селезенка барана (BLV-4). Формирование лимфоидного фолликула наряду с материнским (редуцированным) фолликулом. Окраска гематоксилином и эозином (увеличение $\times 100$).

Фото Л. И. Дроздовой, М. В. Петропавловского
Fig. 10. Spleen of a ram (BLV 4). Formation of a lymphoid follicle alongside a maternal (reduced) follicle. Hematoxylin and eosin stain (magnification $\times 100$).

Photo by L. I. Drozdova, M. V. Petropavlovskiy

Адекватность выбора мелкого рогатого скота (овец) в качестве модели BLV-заболевания была подтверждена следующими фактами: во-первых, в организме овец после введения антигена происходила его репродукция; во-вторых, в лимфоидных

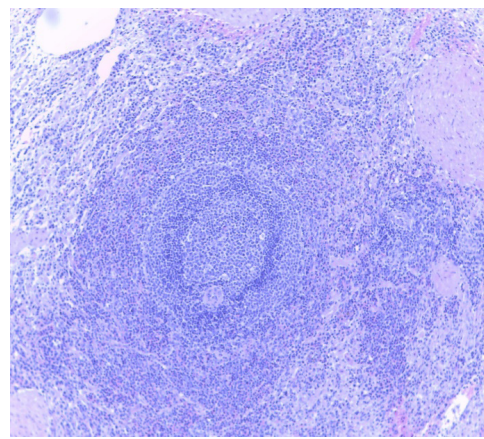


Рис. 11. Селезенка барана (BLV-7). Дополнительный лимфоидный фолликул с единичными клетками, имеющими недифференцированное крупное ядро. Окраска гематоксилином и эозином (увеличение $\times 100$).

Фото Л. И. Дроздовой, М. В. Петропавловского
Fig. 11. Spleen of a ram (BLV 7). Accessory lymphoid follicle with single cells containing a large undifferentiated nucleus. Hematoxylin and eosin stain (magnification $\times 100$).

Photo by L. I. Drozdova, M. V. Petropavlovskiy

органах (лимфоузлах и селезенке) инфицированных овец происходили патологические изменения клеток и тканей, аналогичные изменениям в начальной стадии лейкозного процесса у крупного рогатого скота [31].

Библиографический список

1. Murakami K., Kobayashi S., Konishi M., et al. Nationwide survey of bovine leukemia virus infection among dairy and beef breeding cattle in Japan from 2009-2011 // Journal of Veterinary Medical Science. 2013. Vol. 75, No. 8. Pp. 1123–1126. DOI: 10.1292/jvms.12-0374.
2. Ruiz V., Porta N. G., Lomónaco M., et al. Bovine Leukemia Virus infection in neonatal calves. Risk factors and control measures // Frontiers in Veterinary Science. 2018. No. 5. Article number 267. DOI: 10.3389/fvets.2018.00267.
3. Dagnaw M., Alemu Yilhal G., Admassu B., Demessie Y. Global distribution and host range of enzootic bovine leukosis in ruminants: a systematic review and meta-analysis // Veterinary and Animal Science. 2025. Vol. 30. Article number 100499. DOI: 10.1016/j.vas.2025.100499.
4. Pluta A., Rola-Luszczak M., Kubis P., et al. Molecular characterization of Bovine Leukemia Virus from Moldovan dairy cattle // Archives of Virology. 2017. No. 162. Pp. 1563–1576. DOI: 10.1007/s00705-017-3241-4.
5. Sultanov A., Rola-Luszczak M., Mamanova S., Ryło A. Molecular characterization of Bovine Leukemia Virus with the evidence of a new genotype circulating in cattle from Kazakhstan // Pathogens. 2022. No. 11 (2). Article number 180. DOI: 10.3390/pathogens11020180.
6. Бабошко Д. А., Даудова М. Г., Ачигечева П. Ю. [и др.] Генетическое разнообразие вируса лейкоза крупного рогатого скота и его распространение в районах Республики Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2025. № 20 (2). С. 37–53. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-3.
7. Petropavlovskiy M. V., Donnik I. M., Bezborodova N. A. Epizootiological and genetic characterization of the bovine leukemia virus in the Russian Federation-evaluation of bovine leukemia virus in Russia // Veterinarski Arhiv. 2019. No. 89 (6). Pp. 785–798. DOI: 10.24099/vet.arhiv.0555.
8. Донник И. М., Гулюкин М. И., Петропавловский М. В. [и др.] Генетическая вариабельность возбудителя лейкоза крупного рогатого скота на территориях с различной эпизоотической ситуацией // Ветеринария и кормление. 2025. № 3. С. 16–21. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-3-2.
9. Гулюкин М. И., Козырева Н. Г., Иванова Л. А., Степанова Т. В. [и др.] Межвидовая передача вируса лейкоза крупного рогатого скота в эксперименте // Вопросы вирусологии. 2015. № 60 (5). С. 32–37.
10. Olaya-Galán N. N., Corredor-Figueroa A. P., Velandia-Álvarez S., et al. Evidence of Bovine Leukemia Virus circulating in sheep and buffaloes in Colombia: insights into multispecies infection // Archives of Virology. 2022. No. 167. Pp. 807–817. DOI: 10.1007/s00705-021-05285-7.

11. Florins A., Gillet N., Asquith B., Boxus M., et al. Cell dynamics and immune response to BLV infection: a unifying model // *Frontiers in Bioscience: a Journal and Virtual Library*. 2007. No. 12. Pp. 1520–1531. DOI: 10.2741/2165.
12. Гулюкин М. И., Валихов А. Ф., Нахмансон В. М. [и др.] Особенности инфекционного процесса, индуцированного вирусом лейкоза крупного рогатого скота // *Ветеринарный Консультант*. 2008. № 19. С. 7–9.
13. Сперанский И. И., Самойленко Г. Е., Лобачева М. В. Общий анализ крови – все ли его возможности исчерпаны? Интегральные индексы интоксикации как критерии оценки тяжести течения эндогенной интоксикации, ее осложнений и эффективности проводимого лечения // *Острые и неотложные состояния в практике врача*. 2009. № 6 (19). С. 3–12.
14. Рецкий М. И., Шабунин С. В., Блинецова Г. Н. [и др.] Методические положения по изучению процессов свободно радикального окисления и системы антиоксидантной защиты организма: методические указания. Воронеж: Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии РАСХ, 2010. С. 36–40.
15. Tiyananee W., Okagawa T., Yamada S., et al. Evaluation of PD-L1 and TIM-3 Pathways in T cells during experimental Bovine Leukemia Virus infection in SHEEP // *Veterinary Sciences*. 2025. Vol. 12, No. 9. Article number 810. DOI: 10.3390/vetsci12090810.
16. Pluta A., Rola-Luszczak M., Hoffmann F. G., et al. Genetic variability of Bovine Leukemia Virus: evidence of dual infection, recombination and quasi-species // *Pathogens*. 2024. No. 13 (2). Article number 178. DOI: 10.3390/pathogens13020178.
17. Гулюкин М. И., Капустина О. В., Ездакова И. Ю. [и др.] Выявление специфических антител классов G и M к вирусу лейкоза крупного рогатого скота в сыворотках крови // *Вопросы вирусологии*. 2019. № 64 (4). С. 173–177. DOI: 10.36233/0507-4088-20.
18. Rodriguez S. M., Florins A., Gillet N., et al. The complexity of Bovine Leukemia Virus oncogenesis // *Viruses*. 2025. Vol. 17, No. 12. Article number 1609. DOI: 10.3390/v17121609.
19. Васильев Ю. Г., Трошин Е. И., Любимов А. И. Ветеринарная клиническая гематология: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 656 с.
20. Смирнов Н. П. Панель наиболее информативных тестов для оценки резистентности животных: методические рекомендации. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2007. 37 с.
21. Земсков В. М., Земсков А. М., Нейманн В. [и др.] Иммунные реакции как факторы индукции и коррекции патологии // *Медицинский совет*. 2022. Т. 16, № 6. С. 166–174. DOI: 10.21518/2079-701X-2022-16-6-166-174.
22. Кузьмина Е. Г., Зацаренко С. В. Многофакторное моделирование иммунного статуса в выявлении вторичных иммунодефицитных состояний и аллергии // *Медицинская иммунология*. 2017. Т. 19, № 3. С. 275–284. DOI: 10.15789/1563-0625-2017-3-275-284.
23. Верещак Н. А., Порываева А. П., Шкуратова И. А. [и др.] Иммуногематологический анализ, как интегральный показатель заболеваемости сельскохозяйственных животных // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2017. № 3. С. 168–170.
24. Сергеева Н. С., Кармакова Т. А., Поляк М. А. [и др.] Системная воспалительная реакция как фактор прогноза при раке молочной железы. Часть II. Гематологические маркеры воспаления // *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2022. Т. 77, № 6. С. 408–419. DOI: <https://doi.org/10.15690/vramn2229>.
25. Szczotka M., Kuźmak J. Cytokine secretion in stem cells of cattle infected with Bovine Leukaemia Virus // *Journal of Veterinary Research*. 2024. Vol. 68, No. 1. Pp. 19–33. DOI: 10.2478/jvetres-2024-0012.
26. Menin A., Bueno N. M. M., Hindlmayer M. E., et al. BLV coinfection impairs immunity and diagnostics in bovine tuberculosis // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, No. 1. Article number 30286. DOI: 10.1038/s41598-025-13121-0.
27. Земсков А. М., Земсков В. М., Черешнев В. А. [и др.] Руководство по клинической иммунологии для практических врачей. Москва: Триада-Х, 2011. 288 с.
28. Щербакова О. В. Первичные иммунодефицитные состояния, имитирующие воспалительные заболевания кишечника: клинические аспекты и проблемы дифференциальной диагностики // *Альманах клинической медицины*. 2023. Т. 51, № 8. С. 456–468. DOI: 10.18786/2072-0505-2023-51-049.
29. Debaq C., Sanchez Alcaraz M. T., Mortreux F., et al. Reduced proviral loads during primo-infection of sheep by Bovine Leukemia Virus attenuated mutants // *Retrovirology*. 2004. No. 1. Article number 31. DOI: 10.1186/1742-4690-1-31.
30. Методические указания по диагностике лейкоза крупного рогатого скота. Утв. Департаментом ветеринарии Министерства сельского хозяйства РФ 23.08.2000 г. № 13-7-2/2130. Москва, 2000. 22 с.

31. Akbarin M. M., Farjami Z., Alvarez H. R. Host genetic determinants of resistance and susceptibility to bovine leukemia virus infection: a mini-review // *Molecular Biology Reports*. 2025. Vol. 53. Article number 93. DOI: 10.1007/s11033-025-11230-7.

Об авторах:

Антонина Павловна Порываева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник с выполнением обязанностей заведующего лабораторией вирусных болезней, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-3224-1717, AuthorID 806423. E-mail: app1709@inbox.ru

Ирина Михайловна Донник, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8349-3004, AuthorID 31378. E-mail: ktqrjp7@yandex.ru

Альбина Геннадьевна Исаева, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717. E-mail: isaeva.05@bk.ru

Людмила Ивановна Дроздова, заслуженный деятель науки РФ, доктор ветеринарных наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8134-4355, AuthorID 599715. E-mail: drozdova43@mail.ru

Максим Валерьевич Петропавловский, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-9892-6092, AuthorID 676746. E-mail: petropavlovsky_m@mail.ru

Анна Сергеевна Кривоногова, доктор биологических наук, доцент, директор Университетского технологического центра, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-1918-3030, AuthorID 683239. E-mail: tel-89826512934@yandex.ru

Сергей Юрьевич Палагин, начальник отдела противоэпизоотических и специальных ветеринарных мероприятий, Управление ветеринарии Тюменской области, Тюмень, Россия; ORCID 0009-0007-2283-972X. E-mail: palagin.tum@mail.ru

Алексей Викторович Лысов, кандидат ветеринарных наук, доцент, заведующий кафедрой инфекционной и незаразной патологии, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2480-2019, AuthorID 665874. E-mail: boris.wet@mail.ru

References

1. Murakami K., Kobayashi S., Konishi M. et al. Nationwide survey of bovine leukemia virus infection among dairy and beef breeding cattle in Japan from 2009-2011. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2013; 75 (8): 1123–1126. DOI: 10.1292/jvms.12-0374.
2. Ruiz V., Porta N. G., Lomónaco M., et al. Bovine Leukemia Virus infection in neonatal calves. Risk Factors and Control Measures. *Frontiers in Veterinary Science*. 2018; 5: 267. DOI: 10.3389/fvets.2018.00267.
3. Dagnaw M., Alemu Yilhal G., Admassu B., Demessie Y. Global distribution and host range of enzootic bovine leukosis in ruminants: a systematic review and meta-analysis. *Veterinary and Animal Science*. 2025; 30: 100499. DOI: 10.1016/j.vas.2025.100499.
4. Pluta A., Rola-Luszczak M., Kubis P., et al. Molecular characterization of Bovine Leukemia Virus from Moldovan dairy cattle. *Archives of Virology*. 2017; 162: 1563–1576. DOI: 10.1007/s00705-017-3241-4.
5. Sultanov A., Rola-Luszczak M., Mamanova S., Rylo A. Molecular characterization of Bovine Leukemia Virus with the evidence of a new genotype circulating in cattle from Kazakhstan. *Pathogens*. 2022; 11 (2): 180. DOI: 10.3390/pathogens11020180.
6. Baboshko D. A., Daudova M. G., Achigecheva P. Yu., et al. Genetic diversity of Bovine Leukemia Virus and its distribution in the regions of the Republic of Dagestan, Russia. *South of Russia: Ecology, Development*. 2025; 20 (2): 37–53. DOI: 10.18470/1992-1098-2025-2-3. (In Russ.)
7. Petropavlovskiy M. V., Donnik I. M., Bezborodova N. A. Epizootiological and genetic characterization of the bovine leukemia virus in the Russian Federation – evaluation of bovine leukemia virus in Russia. *Veterinary Archives*. 2019; 89 (6): 785–798. DOI: 10.24099/vet.arhiv.0555.
8. Donnik I. M., Gulyukin M. I., Petropavlovsky M. V. et al. Genetic variability of the causative agent of bovine leukosis in areas with different epizootic situations. *Veterinaria i Kormlenie*. 2025; 3: 16–21. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-3-2. (In Russ.)

9. Gulyukin M. I., Kozyreva N. G., Ivanova L. A., Stepanova T. V. et al. Experimental interspecies transmission of the bovine leukaemia virus. *Problems of Virology*. 2015; 60 (5): 32–37. (In Russ.)
10. Olaya-Galán N. N., Corredor-Figueroa A. P., Velandia-Álvarez S., et al. Evidence of bovine leukemia virus circulating in sheep and buffaloes in Colombia: insights into multispecies infection. *Archives of Virology*. 2022; 167: 807–817. DOI: 10.1007/s00705-021-05285-7.
11. Florins A., Gillet N., Asquith B., et al. Cell dynamics and immune response to BLV infection: a unifying model. *Frontiers in Bioscience: a Journal and Virtual Library*. 2007; 12: 1520–1531. DOI: 10.2741/2165. PMID: 17127399.
12. Gulyukin M. I., Valikhov A. F., Nakhmanson V. M., et al. Characteristics of the infectious process induced by bovine leukemia virus. *Veterinary Consultant*. 2008; 19: 7–9. (In Russ.)
13. Speranskiy I. I., Samoylenko G. E., Lobacheva M. V. The complete blood count: have its capabilities been fully exhausted? Integral indices of intoxication as criteria for assessing the severity of endogenous intoxication, its complications, and the efficacy of treatment. *Ostryye i Neotlozhnyye Sostoyaniya v Praktike Vracha*. 2009; 6 (19): 3–12. (In Russ.)
14. Retskiy M. I., Shabunin S. V., Bliznetsova G. N., et al. *Methodological principles for studying free-radical oxidation processes and the body's antioxidant defense system: methodological guidelines*. Voronezh: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy veterinarnyy institut patologii, farmakologii i terapii RASKH, 2010. Pp. 36–40. (In Russ.)
15. Tiyananee W., Okagawa T., Yamada S., et al. Evaluation of PD-L1 and TIM-3 Pathways in T cells during experimental Bovine Leukemia Virus infection in sheep. *Veterinary Sciences*. 2025; 12 (9): 810. DOI: 10.3390/vetsci12090810.
16. Pluta A., Rola-Łuszczak M., Hoffmann F. G., et al. Genetic variability of Bovine Leukemia Virus: evidence of dual infection, recombination and quasi-species. *Pathogens*. 2024; 13 (2): 178. DOI: 10.3390/pathogens13020178.
17. Gulyukin M. I., Kapustina O. V., Ezdakova I. Yu., et al. Detection of specific antibodies of classes G and M to Bovine Leukemia Virus in the blood serum. *Problems of Virology*. 2019; 64 (4): 173–177. DOI: 10.36233/0507-4088-2019-64-4-173-177. (In Russ.)
18. Rodriguez S. M., Florins A., Gillet N., et al. The complexity of Bovine Leukemia Virus oncogenesis. *Viruses*. 2025; 17 (12): 1609. DOI: 10.3390/v17121609.
19. Vasilyev Yu. G., Troshin E. I., Lyubimov A. I. *Veterinary clinical hematology: a textbook*. Saint-Petersburg: Lan', 2022. 656 p. (In Russ.)
20. Smirnov N. P. *Panel of the most informative tests for assessing animal resistance: methodological recommendations*. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University, 2007. 37 p. (In Russ.)
21. Zemskov V. M., Zemskov A. M., Neymann V., et al. Immune reactions as induction factors and correction of the pathology. *Meditinskiy Sovet*. 2022; 16 (6): 166–174. DOI: 10.21518/2079-701X-2022-16-6-166-174. (In Russ.)
22. Kuzmina E. G., Zatsarenko S. V. Multivariate modelling of the immune status in detection of secondary immunodeficiency and the allergy. *Medical Immunology*. 2017; 19 (3): 275–284. DOI: 10.15789/1563-0625-2017-3-275-284. (In Russ.)
23. Vereshchak N. A., Poryvaeva A. P., Shkuratova I. A. et al. Immunogematological analysis, as the integrated index of the illicitability of agricultural animals. *Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2017; 3: 168–170.
24. Sergeeva N. S., Karmakova T. A., Polyak M. A., et al. Systemic inflammatory response as a prognostic factor in breast cancer. Part II. Hematological markers of inflammation. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2022; 77 (6): 408–419. DOI: 10.15690/vramn2235. (In Russ.)
25. Szczotka M., Kuźmak J. Cytokine secretion in stem cells of cattle infected with Bovine Leukemia Virus. *Journal of Veterinary Research*. 2024; 68 (1): 19–33. DOI: 10.2478/jvetres-2024-0012.
26. Menin A., Bueno N. M. M., Hindlmayer M. E., et al. BLV coinfection impairs immunity and diagnostics in bovine tuberculosis. *Scientific Reports*. 2025; 15 (1): 30286. DOI: 10.1038/s41598-025-13121-0.
27. Zemskov A. M., Zemskov V. M., Chereshev V. A., et al. *Guide to clinical immunology for practicing physicians*. Moscow: Triada-X, 2011. 288 p. (In Russ.)
28. Shcherbakova O. V. Primary immunodeficiency disorders imitating inflammatory bowel diseases: clinical aspects and problems of the differential diagnosis. *Almanac of Clinical Medicine*. 2023; 51 (8): 456–468. DOI: 10.18786/2072-0505-2023-51-049. (In Russ.)
29. Debacq C., Sanchez Alcaraz M. T., Mortreux F., Kerkhofs P., Kettmann R., Willems L. Reduced proviral loads during primo-infection of sheep by Bovine Leukemia virus attenuated mutants. *Retrovirology*. 2004; 1: 31. DOI: 10.1186/1742-4690-1-31.

30. *Methodological guidelines for the diagnosis of bovine leukemia. Approved by the Department of Veterinary Medicine of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation* 23.08.2000 No. 13-7-2/2130. Moscow, 2000. 22 p. (In Russ.)

31. Akbarin M. M., Farjami Z., Alvarez H. R. Host genetic determinants of resistance and susceptibility to bovine leukemia virus infection: a mini-review. *Molecular Biology Reports*. 2025; 53: 93. DOI: 10.1007/s11033-025-11230-7.

Authors' information:

Antonina P. Poryvaeva, doctor of biological sciences, leading researcher with the duties of head of laboratory of viral diseases, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-3224-1717, AuthorID 806423. *E-mail: app1709@inbox.ru*

Irina M. Donnik, academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of biological sciences, professor, chief researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8349-3004, AuthorID 31378. *E-mail: ktqrjp7@yandex.ru*

Albina G. Isaeva, doctor of biological sciences, associate professor, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717. *E-mail: isaeva.05@bk.ru*

Lyudmila I. Drozdova, honored scientist of the Russian Federation, doctor of veterinary sciences, professor, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8134-4355, AuthorID 599715. *E-mail: drozdova43@mail.ru*

Maksim V. Petropavlovskiy, doctor of veterinary sciences, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-9892-6092, AuthorID 676746. *E-mail: petropavlovsky_m@mail.ru*

Anna S. Krivonogova, doctor of biological sciences, associate professor, director of the University Technology Center, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-1918-3030, AuthorID 683239. *E-mail: tel-89826512934@yandex.ru*

Sergey Yu. Palagin, head of the department of antiepzootic and special veterinary measures, Department of Veterinary Medicine of the Tyumen region, Tyumen, Russia; ORCID 0009-0007-2283-972X. *E-mail: palagin.tum@mail.ru*

Aleksey V. Lysov, candidate of veterinary sciences, associate professor, head of the department of infectious and non-infectious pathology, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2480-2019, AuthorID 665874. *E-mail: boris.wet@mail.ru*

Молекулярно-генетическая характеристика и комплексная оценка генетической и функциональной безопасности рекомбинантного штамма-продуцента IL-10 и IL-22 в составе биокорректирующего средства

В. С. Самойленко[✉], А. Ю. Криворучко, А. А. Лапина

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

[✉]E-mail: viktor_samoylenko_26@mail.ru

Аннотация. Целью исследования являлась комплексная оценка генетической безопасности и функциональной надежности рекомбинантных пробиотических штаммов в ветеринарной практике на примере биокорректирующего средства на основе рекомбинантного штамма *Lactobacillus plantarum* B-11007, несущего плазмидную конструкцию pLacDualIL-10/IL-22 для экспрессии иммуномодулирующих цитокинов IL-10 и IL-22. Генетическая безопасность рассматривалась с позиции стабильности плазмидных конструкций и риска их горизонтального переноса, а функциональная надежность – через воспроизводимость иммуномодулирующего эффекта. **Методы.** Исследования выполнялись в 2024–2026 гг. на базе Геномного центра Северо-Кавказского федерального университета и лаборатории Ставропольского аграрного университета. В исследовании проведена оценка вероятности горизонтального переноса плазмидной ДНК к другим бактериям с учетом филогенетической дистанции, отсутствия конъюгативных и мобилизационных генов. Выполнено моделирование условий желудочного и кишечного сегментов с использованием пепсина, панкреатина и желчных кислот для анализа деградации ДНК. Дополнительно изучались локальные иммуномодулирующие эффекты синтезируемых цитокинов на слизистую оболочку кишечника телят. **Результаты.** Установлено, что штамм характеризуется высокой структурной и функциональной стабильностью, минимальным риском межродовой передачи плазмидной ДНК и выраженным локальным иммуномодулирующим действием. Показаны укрепление барьерной функции эпителия, стимуляция синтеза антимикробных пептидов и противовоспалительный эффект при отсутствии системной циркуляции и накопления цитокинов в организме. **Научная новизна.** Впервые проведена комплексная оценка генетической биобезопасности и функциональной надежности рекомбинантного пробиотического штамма *Lactobacillus plantarum* B-11007/pLacDualIL-10/IL-22 с учетом риска горизонтального переноса, устойчивости плазмидной конструкции и локального иммуномодулирующего действия. **Выводы.** Полученные данные подтверждают безопасность и эффективность применения рекомбинантного штамма у телят и формируют научную основу для разработки биокорректирующих пробиотических средств нового поколения, направленных на целенаправленную иммуномодуляцию и повышение устойчивости кишечной микробиоты.

Ключевые слова: *Lactobacillus*, рекомбинантный пробиотик, плазмидная конструкция, IL-10, IL-22, генетическая безопасность, локальная иммуномодуляция

Для цитирования: Самойленко В. С., Криворучко А. Ю., Лапина А. А. Молекулярно-генетическая характеристика и комплексная оценка генетической и функциональной безопасности рекомбинантного штамма-продуцента IL-10 и IL-22 в составе биокорректирующего средства // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1749–1754. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1749-1754>.

Дата поступления статьи: 23.03.2026, **дата рецензирования:** 30.06.2026, **дата принятия:** 03.07.2026.

Molecular genetic characterization and comprehensive assessment of the genetic and functional safety of a recombinant IL-10 and IL-22-producing strain as part of a biocorrective agent

V. S. Samoylenko✉, A. Yu. Krivoruchko, A. A. Lapina

North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

✉E-mail: viktor_samoylenko_26@mail.ru

Abstract. The purpose of the study was to conduct a comprehensive assessment of the genetic safety and functional reliability of recombinant probiotic strains in veterinary practice using a biocorrective agent based on the recombinant strain *Lactobacillus plantarum* B-11007 carrying the plasmid construct pLacDualIL-10/IL-22 for the expression of immunomodulatory cytokines IL-10 and IL-22. Genetic safety was considered in terms of plasmid stability and the risk of horizontal gene transfer, while functional reliability was evaluated through the reproducibility of the immunomodulatory effect. **Methods.** The study was conducted in 2024–2026 at the Genome Center of the North-Caucasus Federal University and the laboratory of the Stavropol Agrarian University. The study assessed the probability of horizontal transfer of plasmid DNA to other bacteria, taking into account phylogenetic distance and the absence of conjugative and mobilization genes. Simulated gastric and intestinal conditions were performed using pepsin, pancreatin, and bile acids to evaluate DNA degradation. Additionally, local immunomodulatory effects of the synthesized cytokines on the intestinal mucosa of calves were investigated. **Results.** The strain demonstrated high structural and functional stability, a minimal risk of intergeneric plasmid DNA transfer, and pronounced local immunomodulatory activity. Strengthening of the epithelial barrier function, stimulation of antimicrobial peptide synthesis, and anti-inflammatory effects were observed, with no systemic circulation or accumulation of cytokines in the body. **Scientific novelty.** This study provides, for the first time, a comprehensive evaluation of the genetic biosafety and functional reliability of the recombinant probiotic strain *Lactobacillus plantarum* B-11007/pLacDualIL-10/IL-22, considering horizontal gene transfer risk, plasmid stability, and localized immunomodulatory activity. **Conclusion.** The obtained results confirm the safety and efficacy of the recombinant strain for use in calves and establish a scientific basis for the development of next-generation biocorrective probiotic agents aimed at targeted immunomodulation and enhancement of intestinal microbiota stability.

Keywords: *Lactobacillus*, recombinant probiotic, plasmid construct, IL-10, IL-22, genetic safety, local immunomodulation

For citation: Samoylenko V. S., Krivoruchko A. Yu., Lapina A. A. Molecular genetic characterization and comprehensive assessment of the genetic and functional safety of recombinant IL-10 and IL-22-producing strain as part of a biocorrective agent. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1749–1754. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1749-1754>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.03.2026, **date of review:** 30.06.2026, **date of acceptance:** 03.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В условиях ветеринарной медицины особую значимость пробиотические средства приобретают при работе с молодняком крупного рогатого скота, поскольку ранний постнатальный период характеризуется незрелостью как микробиоты желудочно-кишечного тракта, так и иммунной системы. Формирование устойчивых микробных сообществ и становление механизмов врожденного и адаптивного иммунитета в этот период во многом определяют темпы роста, физиологическое развитие и резистентность животных к инфекционным и воспалительным патологиям [6].

Применение функционально активных пробиотических штаммов способствует нормализации

микробного равновесия в кишечнике, усилению барьерной функции эпителиального слоя и координации локальных иммунных реакций. В совокупности это обеспечивает оптимальные условия для адаптационных процессов в раннем онтогенезе и снижает риск развития дисбиотических и иммунопатологических состояний [2; 9].

С научной точки зрения пробиотики – это живые микроорганизмы, которые при адекватном количестве оказывают положительное влияние на здоровье хозяина. Наиболее известными пробиотическими штаммами на данный момент являются представители родов *Lactobacillus*, *Lactococcus* и *Bifidobacterium*. Они могут способствовать повышению иммунитета сельскохозяйственных животных,

а также применяются в профилактических и терапевтических целях в ветеринарной практике [2; 6; 16].

Несмотря на многообещающие преимущества пробиотиков, их широкое применение по-прежнему сопряжено с различными трудностями: вариабельность эффективности штаммов, отсутствие стандартизированных протоколов дозирования, наличие генов устойчивости к антибиотикам и неполноценное понимание специфичных для животных реакций на применение различных пробиотиков [16]. Добавление пробиотиков в корм улучшает показатели роста и усвояемости питательных веществ, значительно снижает уровень холестерина в сыворотке крови, а также снижает частоту встречаемости желудочно-кишечных патологий у молодняка [17]. В то же время использование антибиотиков в ветеринарии привело к формированию высокого уровня антибиотикорезистентных штаммов бактерий, что на сегодняшний день представляет серьезную проблему, для решения которой требуются новые стратегии, направленные на повышение результативности применения пробиотических средств.

Одним из быстро развивающихся направлений повышения эффективности пробиотиков является генная инженерия. Генетически модифицированные штаммы, несущие рекомбинантные плазмиды с генами целевых белков (например, IL-10 и IL-22) или бактериоцинов, представляют собой перспективный подход в профилактике и лечении желудочно-кишечных заболеваний в ветеринарной медицине и животноводстве [10; 13]. Плазмидные векторы обеспечивают непрерывную экспрессию целевых белков без необходимости добавления внешних индукторов, что критически важно при создании биокорректирующих средств на основе рекомбинантных штаммов [5; 10].

Важнейшим критерием оценки биокорректирующих средств на основе рекомбинантных пробиотических штаммов является их биобезопасность. Данная оценка включает анализ природы используемого микроорганизма, метод введения плазмиды в клетку-реципиента и физиологических функций целевых белков, а также подтверждение отсутствия генетической нестабильности плазмидных векторов в ходе доклинических исследований [9; 11].

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в 2024–2026 годах на базе Геномного центра Северо-Кавказского федерального университета. Экспериментальная работа была направлена на комплексную лабораторную оценку биологических свойств и показателей генетической безопасности разработанного биокорректирующего средства, содержащего рекомбинантный штамм *Lactobacillus plantarum* B-11007.

Оценка ключевых характеристик экспериментального образца проводилась в рамках доклинического этапа с акцентом на показатели биобезопасности, переносимости и функциональной активности

систем на основе живых микроорганизмов. Дизайн исследований формировался с учетом действующих нормативно-методических требований, включая положения ГОСТ 32644-2014 и руководства ФГБУ НЦЭСМП (2012), регламентирующие подходы к ранней оценке токсикологических и общепроизводственных параметров биологических средств.

В ходе исследования анализировали стабильность генетической конструкции и потенциальные риски, ассоциированные с применением рекомбинантных штаммов, включая вероятность горизонтального переноса генетического материала. Комплексная оценка генетической биобезопасности включала структурный анализ плазмиды pLacDualIL-10/IL-22 – выявление элементов, обеспечивающих конъюгативную мобилизацию (tra-, mob-гены, oriT); сравнительную филогенетическую характеристику микроорганизмов (*Lactobacillus plantarum*, *Escherichia coli*); моделирование устойчивости плазмидной ДНК в условиях, имитирующих желудочно-кишечный тракт: искусственный желудочный сок (pH 2,0) с пепсином (2000 Ед/мл).

Результаты (Results)

По результатам проведенного исследования вероятность горизонтального переноса плазмидной конструкции pLacDualIL-10/IL-22 от рекомбинантного штамма *Lactobacillus plantarum* B-11007 к представителям кишечной микробиоты оценивается как крайне низкая и не имеющая биологически значимого характера. Анализ возможных механизмов горизонтального переноса генетического материала (конъюгация, естественная трансформация, трансдукция) показал отсутствие эффективных путей межродовой передачи плазмидной ДНК в условиях желудочно-кишечного тракта.

В составе плазмиды не выявлены tra-гены, кодирующие белки системы бактериальной конъюгации, а также oriT-последовательность, обеспечивающая инициацию переноса ДНК. Кроме того, в генетической структуре конструкции отсутствуют mob-гены и другие элементы, участвующие в мобилизации плазмидной ДНК (таблица 1). Данные указывают на то, что исследуемая плаزمида относится к категории неконъюгативных и немобилизуемых генетических элементов. Даже при наличии в микробном сообществе вспомогательных конъюгативных плазмид передача рассматриваемой конструкции представляется невозможной из-за отсутствия специфических сигнальных участков, распознаваемых системами переноса.

Дополнительным ограничивающим фактором выступает значительная филогенетическая дистанция между организмом-донором и потенциальными реципиентами. Бактерия *Lactobacillus plantarum* относится к грамположительным микроорганизмам с клеточной стенкой, сформированной толстым слоем пептидогликана, тогда как *Escherichia coli* является грамотрицательной бактерией, обладающей

сложной двухмембранной клеточной оболочкой и выраженным периплазматическим пространством. Существенные различия в организации клеточных оболочек и механизмах межклеточного взаимодействия существенно ограничивают возможность прямого переноса генетического материала между представителями таксономических групп *Firmicutes* и *Enterobacteriaceae*.

Вероятность естественной трансформации также оценивается как минимальная. Известно, что *Escherichia coli* не относится к числу естественно компетентных микроорганизмов и в физиологических условиях кишечной среды не обладает механизмами активного захвата внеклеточной ДНК. Дополнительным ограничивающим фактором является высокая скорость деградации свободной нуклеиновой кислоты в просвете желудочно-кишечного тракта под действием ферментов, желчных кислот и колебаний кислотности.

Моделирование условий желудочно-кишечной среды показало, что плазмидная ДНК подвергается интенсивной фрагментации в кислой среде желудка. При инкубации в искусственном желудочном соке (рН 2,0; 37 °С; пепсин 2000 Ед/мл) степень разрушения плазмидной ДНК превышала 90 % в течение первых 60–90 мин. На последующей интестинальной стадии моделирования (панкреатин 1 мг/мл, желчные кислоты 0,3 %) интактная ДНК электрофоретически не детектировалась, что свидетельствует о полной деградации плазмидного материала (таблица 2).

Трансдукционный механизм передачи также представляется биологически маловероятным. Для реализации межродовой трансдукции необходим бактериофаг, обладающий широким спектром хозяев и способный инфицировать как грамположительные лактобациллы, так и грамотрицательные

энтеробактерии. Однако фаги, обладающие подобной межтиповой специфичностью, в настоящее время не описаны. Более того, бактериофаги, инфицирующие лактобациллы и кишечную палочку, принадлежат к различным эволюционным линиям и имеют различную рецепторную специфичность.

Даже при гипотетическом попадании плазмидной ДНК в клетку потенциального реципиента ее дальнейшее функционирование представляется маловероятным. Репликативный модуль плазмиды относится к узкоспецифичным *theta*-репликонам, адаптированным к репликационному аппарату бактерий рода *Lactobacillus*. Отсутствие элементов широкого диапазона хозяев делает невозможной автономную репликацию данной конструкции в клетках грамотрицательных бактерий.

Дополнительным аспектом функциональной и генетической безопасности исследуемого средства является биодинамика синтезируемых интерлейкинов IL-10 и IL-22 после их высвобождения в просвет кишечника.

После перехода бактериальных клеток в метаболически активное состояние синтезируемые цитокины секретируются во внеклеточную среду либо высвобождаются при физиологическом обновлении бактериальной популяции. В просвете кишечника дальнейшая судьба данных белков определяется локальными условиями слизистой оболочки.

Интерлейкины IL-10 и IL-22 относятся к белковым молекулам со средней молекулярной массой около 17–22 кДа. В условиях кишечной среды они подвергаются частичному протеолитическому расщеплению ферментами пищеварительного тракта, взаимодействуют с муциновой матрицей и рецепторными структурами эпителиальных клеток, а также обладают ограниченным временем локальной биологической активности.

Таблица 1

Молекулярно-генетические факторы, ограничивающие горизонтальный перенос плазмидной конструкции pLacDualIL-10/IL-22

Фактор	Метод анализа	Полученный результат	Интерпретация
tra-гены	Геномный анализ	Не обнаружены	Отсутствие системы конъюгативного переноса
oriT	Анализ последовательности	Не обнаружены	Невозможность инициации переноса
mob-гены	Структурный анализ плазмиды	Не обнаружены	Плазмида немобилизуема
Филогенетическая дистанция	Таксономический анализ	Высокая	Ограничение межродовой передачи

Table 1

Molecular genetic factors limiting the horizontal transfer of the plasmid construct pLacDualIL-10/IL-22

Factor	Method of analysis	Result obtained	Interpretation
tra-genes	Genomic analysis	Not detected	Absence of a conjugative transfer system
oriT	Sequence analysis	Not detected	Inability to initiate transfer
mob-genes	Plasmid structural analysis	Not detected	Plasmid is non-mobilizable
Phylogenetic distance	Taxonomic analysis	High	Restriction of intergeneric transfer

Таблица 2

Дегградация плазмидной ДНК в моделируемых условиях желудочно-кишечного тракта

Фаза моделирования	Условия	Степень дегградации ДНК
Желудочная	pH 2,0; пепсин	> 90 %
Кишечная	Панкреатин + желчные кислоты	Интakтная ДНК не определяется

Table 1

Degradation of plasmid DNA under simulated gastrointestinal tract conditions

Simulation phase	Conditions	Degree of DNA degradation
Gastric	pH 2,0; pepsin	> 90 %
Intestinal	Pancreatin + bile acids	Intact DNA not detected

Функционально локальное действие интерлейкинов проявляется в снижении продукции провоспалительных медиаторов, уменьшении инфильтрации воспалительных клеток, усилении экспрессии белков плотных контактов эпителия и стимуляции синтеза антимикробных пептидов.

При этом концентрации IL-10 и IL-22, определяемые в супернатанте *in vitro*, находятся в физиологическом диапазоне и не достигают уровней, способных вызывать системные иммунологические эффекты. В плазме крови экспериментальных животных данные цитокины либо не определялись, либо обнаруживались в следовых количествах, статистически не отличающихся от контрольных значений.

Таким образом, синтезируемые интерлейкины реализуют локальный и транзитный иммунорегуляторный эффект на уровне слизистой оболочки кишечника, не накапливаются в организме и не создают дополнительных рисков биологической безопасности.

Совокупность полученных молекулярно-генетических, физиологических и экологических данных позволяет сделать вывод об отсутствии эффективных механизмов горизонтального переноса плазмидной конструкции pLacDualIL-10/IL-22 от рекомбинантного штамма *Lactobacillus plantarum* к представителям кишечной микробиоты. Риск межродовой передачи и последующей стабилизации генетической конструкции оценивается как крайне низкий и биологически незначимый, что соответствует современным требованиям генетической биобезопасности генно-инженерных пробиотических препаратов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенное исследование подтвердило высокую генетическую стабильность и биобезопасность

рекомбинантного штамма *Lactobacillus plantarum* B-11007, несущего плазмидную конструкцию pLacDualIL-10/IL-22. Анализ структуры плазмиды показал отсутствие элементов, обеспечивающих конъюгативный перенос (*tra*-гены, *oriT*, *mob*-гены), что исключает ее активную мобилизацию между микроорганизмами, а значительная филогенетическая дистанция между донором и потенциальными реципиентами кишечной микробиоты наряду с интенсивной дегградацией плазмидной ДНК в условиях желудочно-кишечного тракта делает межродовой перенос крайне маловероятным. Репликативный модуль плазмиды узкоспецифичен для *Lactobacillus*, препятствуя устойчивой репликации в других бактериях, а механизмы трансдукции и естественной трансформации практически не реализуются в физиологических условиях кишечника. Синтезируемые цитокины IL-10 и IL-22 действуют локально на слизистую оболочку кишечника, взаимодействуя с рецепторами иммунных и эпителиальных клеток, регулируя воспалительный ответ, поддерживая барьерную функцию эпителия и стимулируя синтез антимикробных пептидов, при этом их концентрации соответствуют физиологическому диапазону и не вызывают системной экспозиции. Таким образом, разработанный рекомбинантный штамм демонстрирует безопасный профиль и эффективное локальное иммуномодулирующее действие, что делает его перспективной платформой для создания биокорректирующих средств нового поколения. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку эффективности и безопасности *in vivo* и оптимизацию технологических параметров его применения.

Библиографический список (References)

1. Wójcik W., Łukasiewicz M., Puppel K. Biogenic amines: formation, action and toxicity-a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021; 101: 2634–2640. DOI: 10.1002/jsfa.10928.
2. Zhang M., Jiang Y., Cai M., Yang Z. Characterization and ACE inhibitory activity of fermented milk with probiotic *Lactobacillus plantarum* K25 as analyzed by GC-MS-based metabolomics approach. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2020; 30: 903–911. DOI: 10.4014/jmb.1911.11007.
3. LaFleur T. L., Hossain A., Salis H. M. Automated model-predictive design of synthetic promoters to control transcriptional profiles in bacteria. *Nature Communications*. 2022; 13: 5159. DOI: 10.1038/s41467-022-32829-5.
4. Wiggenhorn A. L., Abuzaid H. Z., Coassolo L., et al. A class of secreted mammalian peptides with potential to expand cell-cell communication. *Nature Communications*. 2023; 14: 8125. DOI: 10.1038/s41467-023-43857-0.

5. Stage M., Wichmann A., Jørgensen M., et al. Lactobacillus rhamnosus GG genomic and phenotypic stability in an industrial production process. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020; 86: e02780-19. DOI: 10.1128/AEM.02780-19.
6. Al-Fakhrany O M., Elekhawy E. Next-generation probiotics: the upcoming biotherapeutics. *Molecular Biology Reports*. 2024; 51 (1): 505. DOI: 10.1007/s11033-024-09398-5.
7. Mimee M., Nadeau P., Hayward A., et al. An ingestible bacterial-electronic system to monitor gastrointestinal health. *Science*. 2018; 360: 915–918. DOI: 10.1126/science.aas9315.
8. Goel A., Halami P. M., Tamang J. P. Genome analysis of Lactobacillus plantarum isolated from some Indian fermented foods for bacteriocin production and probiotic marker genes. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 40. DOI: 10.3389/fmicb.2020.00040.
9. Park Y. E., Kim M. S., Shim K. W., et al. Effects of Lactobacillus plantarum Q180 on postprandial lipid levels and intestinal environment: a double-blind, randomized, placebo-controlled, parallel trial. *Nutrients*. 2020; 12: 255. DOI: 10.3390/nu12010255.
10. Kazi T. A., Acharya A., Mukhopadhyay B. C., et al. Plasmid-based gene expression systems for lactic acid Bacteria: a review. *Microorganisms*. 2022; 10: 1132. DOI: 10.3390/microorganisms10061132.
11. Xue Y., Zhang B., Wang N., et al. Oral vaccination of mice with *Trichinella spiralis* putative serine protease and murine interleukin-4 DNA delivered by invasive *Lactiplantibacillus plantarum* Elicits protective immunity. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13: 859243. DOI: 10.3389/fmicb.2022.859243.
12. Cavallini D., Raspa F., Marliani G., et al. Growth performance and feed intake assessment of Italian Holstein calves fed a hay-based total mixed ration: preliminary steps towards a prediction model. *Veterinary Sciences*. 2023; 10 (9): 554. DOI: 10.3390/vetsci10090554.
13. Charneco G. O., McDonnell B., Kelleher P., et al. Plasmid-mediated horizontal gene mobilisation: Insights from two lactococcal conjugative plasmids. *Microbial Biotechnology*. 2024; 17: e14421. DOI: 10.1111/1751-7915.14421.
14. Shaposhnikov L. A., Rozanov A. S., Sazonov A. E. Genome-editing tools for lactic acid bacteria: past achievements, current platforms, and future directions. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025; 26: 7483. DOI: 10.3390/ijms26157483.
15. Nou X. A., Voigt C. A. Sentinel cells programmed to respond to environmental DNA including human sequences. *Nature Chemical Biology*. 2024; 20: 211–220. DOI: 10.1038/s41589-023-01431-1.
16. Mârza S. M., Munteanu C., Papuc I., Radu L., Purdoi R. C. The role of probiotics in enhancing animal health: mechanisms, benefits, and applications in livestock and companion animals. *Animals*. 2025; 15 (20): 2986. DOI: 10.3390/ani15202986.
17. Alayande K. A., Aiyegoro O. A., Ateba C. N. Probiotics in animal husbandry: applicability and associated risk factors. *Sustainability*. 2020; 12 (3): 1087. DOI: 10.3390/su12031087.

Об авторах:

Виктор Сергеевич Самойленко, кандидат ветеринарных наук, заведующий кафедрой зоологии и паразитологии, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0009-0005-3291-1241, AuthorID 1082458. E-mail: viktor_samoylenko_26@mail.ru

Александр Юрьевич Криворучко, доктор биологических наук, заведующий базовой кафедрой генетики и селекции, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0000-0003-2730-2482, AuthorID 186213. E-mail: rcvm@yandex.ru

Анастасия Александровна Лапина, специалист учебно-лабораторного комплекса медико-биологического факультета, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия; ORCID 0009-0002-5655-1170, AuthorID 1307656. E-mail: anastasija.la2018@yandex.ru

Authors' information:

Viktor S. Samoylenko, candidate of veterinary sciences, head of the department of zoology and parasitology, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia; ORCID 0009-0005-3291-1241, AuthorID 1082458. E-mail: viktor_samoylenko_26@mail.ru

Aleksandr Yu. Krivoruchko, doctor of biological sciences, head of the basic department of genetics and breeding, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, ORCID 0000-0003-2730-2482, AuthorID 186213. E-mail: rcvm@yandex.ru

Anastasiya A. Lapina, specialist of the educational and laboratory complex of the faculty of medicine and biology, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia, ORCID 0009-0002-5655-1170, AuthorID 1307656. E-mail: anastasija.la2018@yandex.ru

Половозрастная изменчивость краниометрических показателей домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы Мурманской области

Э. В. Фирсова

Мурманская государственная сельскохозяйственная опытная станция – филиал Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», п. Молочный, Мурманская область, Россия

E-mail: research-station@yandex.ru

Аннотация. Цель исследования – выявление половозрастной изменчивости краниометрических показателей домашних северных оленей ненецкой породы в условиях Мурманской области. **Методы:** краниометрические (линейные измерения черепа, вычисление краниологических индексов), статистическая обработка результатов. Изучено 24 черепа северных оленей, из них самцов: 5,5 года – 4, 8 месяцев – 5, 9 месяцев – 3; самок: 8 лет – 4, 8 и 9 месяцев – по 4 головы. Возраст устанавливали на препарированных черепах по зубам: у взрослых особей по степени изношенности, у молодняка – по степени прорезывания моляров M^1 , M^2 и M_1 , M_2 . **Результаты.** Установлено, что устойчивые межполовые отличия в строении черепа у северных оленей проявляются с 9-месячного возраста. Выявлено достоверное превосходство самцов над самками: у 9-месячных оленей – по 18 краниологическим промерам (1–7, 9, 15, 16, 26, 39, 40, 44, 48–50, 54), у взрослых северных оленей (5,5 года и старше) – по 17 (1–5, 7, 9, 22, 24, 30, 31, 46, 51, 52, 56, 61, 63), крайние значения которых не заходили за границы лимитов друг друга. Череп самцов оленей отличался более развитой, чем у самок, затылочной областью. Самцы превосходили самок по ширине затылочной плоскости (промер № 24): в 8 месяцев – на 3,28 мм ($P > 0,99$), в 9 – на 5,77 мм ($P > 0,95$), в 5,5 года – на 12,74 мм ($P > 0,999$), а также по индексу 24/63 во все изучаемые возрастные периоды на 5,03, 5,95, 8,57 % ($P > 0,99$) соответственно, и по индексу 24/15 – на 6,16 % ($P > 0,999$) у взрослых животных. **Научная новизна.** Впервые на поголовье домашних северных оленей ненецкой породы Мурманской области установлена выраженность полового диморфизма по краниометрическим показателям в зависимости от возраста животных.

Ключевые слова: домашний северный олень (*Rangifer tarandus*), ненецкая порода, краниологические показатели, половой диморфизм

Благодарности. Автор выражает благодарность председателю СХПК «Тундра» Виктору Александровичу Старцеву за организационную поддержку при проведении краниологических исследований на поголовье домашних северных оленей ненецкой породы. Работа выполнена в рамках государственного задания № FGEM-2025-0003.

Для цитирования: Фирсова Э. В. Половозрастная изменчивость краниометрических показателей домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы Мурманской области // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1755–1768. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1755-1768>.

Дата поступления статьи: 16.01.2026, **дата рецензирования:** 25.02.2026, **дата принятия:** 19.03.2026.

Age-sex variability of craniometric parameters of domestic reindeer (*Rangifer tarandus*) of the Nenets breed in the Murmansk region

E. V. Firsova

Murmansk State Agricultural Experimental Station – Branch of the Federal Research Center “All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov (VIR)”, Molochnyy settlement, Murmansk region, Russia
E-mail: research-station@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study was to identify age- and sex-related variability in craniometric parameters in reindeer Nenets breed in the Murmansk region. **Methods:** craniometric methods (linear measurements of the skull, calculation of craniological indices), statistical processing of the results. A total of 24 skulls of reindeer were studied, including males: 4 at 5.5 years old, 5 at 8 months old, 3 at 9 months old; females: 4 at 8 years old and 4 females each aged 8 and 9 months. Age was determined on prepared skulls based on teeth: in adults, by the degree of wear, and in young animals, by the degree of eruption of molars: M^1 , M^2 and M_1 , M_2 . **Results.** It was established that stable intersexual differences in the skull structure of reindeer appear from the age of 9 months. A significant superiority of males over females was revealed: in 9-month-old deer according to 18 measurements (1–7, 9, 15, 16, 26, 39, 40, 44, 48–50, 54), in adult reindeer (5.5 years and older) according to 17 craniological measurements (1–5, 7, 9, 22, 24, 30, 31, 46, 51, 52, 56, 61, 63), the extreme values of which did not go beyond the limits of each other. The skull of male deer was distinguished by a more developed occipital region compared to females. Males exceeded females in the width of the occipital plane (measurement No. 24): at 8 months by 3.28 mm ($P > 0.99$), at 9 months – by 5.77 mm ($P > 0.95$), at 5.5 years by 12.74 mm ($P > 0.999$), as well as in the 24/63 index in all studied age periods by 5.03, 5.95, 8.57 % ($P > 0.99$), respectively, and in the 24/15 index by 6.16 % ($P > 0.999$) in adult animals. **Scientific novelty.** For the first time, the severity of sexual dimorphism in craniometric parameters depending on the age of the animals was established in the population of domestic reindeer of the Nenets breed of the Murmansk region.

Keywords: domestic reindeer (*Rangifer tarandus*), Nenets breed, craniological indicators, sexual dimorphism

Acknowledgments. The author thanks Viktor Aleksandrovich Startsev, chairman of the Tundra Agricultural Cooperative, for his organizational support during the craniological studies in reindeer Nenets breed population. This study was completed under state exercise No. FGEM-2025-0003.

For citation: Firsova E. V. Age-sex variability of craniometric parameters of domestic reindeer (*Rangifer tarandus*) of the Nenets breed in the Murmansk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1755–1768. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1755-1768>. (In Russ.)

Date of paper submission: 16.01.2026, **date of review:** 25.02.2026, **date of acceptance:** 19.03.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Северное оленеводство – это традиционно сложившееся разведение и хозяйственное использование домашних северных оленей (*Rangifer tarandus*) путем организации кочевого и полукочевого их выпаса на естественных оленьих пастбищах. Для аборигенных народов Крайнего Севера северный олень служит источником получения мяса, молока, шкур. Также оленей используют в качестве ездового и вьючного транспорта. Развитие северного оленеводства имеет большое значение для сохранения культуры коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации [1]. Также оленеводство как отрасль сельского хозяйства является важным источником обеспе-

чения продовольственной безопасности и сырьевой базой для населения Арктической зоны [2].

Многие ученые-исследователи занимаются изучением экстерьерных особенностей домашних северных оленей [3–6]. По результатам экстерьерной оценки можно судить о принадлежности животных к породе, об их приспособленности к среде обитания, о хозяйственной ценности, о состоянии кормовой базы в местах выпаса оленей, об уровне ведения племенной работы в хозяйстве. В экстерьерной оценке животных краниология является самостоятельным разделом исследований.

Исследование морфологических особенностей сельскохозяйственных животных – неотъемлемая часть зоотехнической науки. Краниологические

исследования являются одним из разделов данного научного направления и позволяют успешно решать различные научно-практические задачи в области животноводства. Краниология (от др.-греч. *cranium* – «череп», *logos* – «учение») – комплекс научных дисциплин, изучающих нормальные вариации формы черепа у человека и животных. Краниология изучает анатомические отличия в строении черепа сельскохозяйственных животных, их изменения в процессе онтогенетических, доместикационных и селекционных преобразований [7]. Краниологические исследования играют важную роль при выяснении хода эволюции и изменчивости животных и сохраняют свою актуальность и в настоящее время [8]. Краниологическими исследованиями занимаются многие ученые [7–13]. Череп отражает в себе наиболее существенные черты животного и считается наиболее консервативным элементом всего организма животных [8]. Краниологические данные позволяют выявлять родственные связи между отдельными группами и породами; устанавливать комплекс признаков определенного краниологического типа некоторых пород; оценивать степень влияния различных факторов внешней среды на развитие и строение черепа животного; судить о выраженности полового диморфизма [10]. Изучению полового диморфизма уделяется большое внимание в научном сообществе. Исследования проводятся как на человеке [11; 12], так и на животных [8; 10; 13]. Тем не менее до настоящего времени нет действующей методики для определения пола северного оленя по черепу. Существуют исследования, в которых описывались различия в строении черепов самцов и самок северных оленей ненецкой породы в разных популяциях, сформировавшихся в границах отводов земель, территориально расположенных в разных кормовых биотопах [8; 9]. В исследованиях И. И. Соколова¹ (1937) также проводилось сравнение строения черепов самцов и самок домашних северных оленей на коллекции черепов, привезенных из различных мест обитания животных – с Большеземельской тундры и Кольского полуострова. Как известно, среда обитания животных и особенности кормовой базы могут оказывать влияние на морфологические различия черепа даже у одного вида, обитающего в различных климатических условиях [8; 9]. В настоящих исследованиях будет рассмотрена выраженность полового диморфизма домашних северных оленей ненецкой породы внутри одной популяции, содержащихся в равных условиях одного кормового биотопа.

Начиная с 2022 года нами проводятся исследования экстерьерных показателей поголовья домашних

северных оленей ненецкой породы Мурманской области на примере СХПК «Тундра». К настоящему времени проведена экстерьерная оценка важенок [14], самцов северных оленей [5] и молодняка оленей первого года жизни [15].

В 2025 году проведена морфометрическая оценка черепов домашних северных оленей Мурманской области, выявлен половой диморфизм по краниометрическим показателям (промерам и краниологическим индексам), что в последующем может послужить базой для разработки методики определения пола северного оленя по черепу. В настоящее время для определения пола северного оленя по его черепу не существует четких отличительных критериев.

Настоящие исследования направлены на изучение анатомических особенностей строения черепа домашних северных оленей ненецкой породы в условиях Мурманской области и определение полового диморфизма по краниометрическим показателям. Данные исследования дополняют картину морфометрической оценки домашних северных оленей Мурманской области.

Методология и методы исследования (Methods)

Цель исследования – изучить анатомические особенности строения черепа домашних северных оленей ненецкой породы в условиях Мурманской области и определить половой диморфизм по краниометрическим показателям.

Исследования по изучению краниологических характеристик домашних северных оленей ненецкой породы (*Rangifer tarandus*) проводили в 2025 году на черепках, отобранных во время забойной кампании, проводимой в оленеводческом хозяйстве – сельскохозяйственном производственном кооперативе (СХПК) «Тундра», расположенном в Ловозерском районе Мурманской области. Для характеристики краниологических особенностей домашних северных оленей использовали 24 черепа самок и самцов разного возраста, из них 4 черепа хоров в возрасте 5,5 года, 4 черепа важенок, средний возраст которых составил 8 лет, 8 черепов телят-важенок в возрасте 8 и 9 месяцев (по 4 головы в каждой возрастной группе) и 8 черепов телят-хоров, из них 5 голов в возрасте 8 месяцев и 3 головы от 9-месячных телят. Возраст оленей устанавливали по зубам: у взрослых особей – по степени изношенности зубов², у молодняка – по степени прорезывания на препарированных черепках самок и самцов на верхней и нижней челюстях моляров: M^1 , M^2 и M_1 , M_2 ³.

Перед исследованием головы вываривались и подвергались механической очистке от мягких тка-

¹ Соколов И. И. Половозрастная и расовая изменчивость черепа дикого и домашнего северного оленя // Советское оленеводство; под ред. В. Б. Сочава. – Ленинград: Изд. Главсевморпути, 1937. Вып. 9. С. 9–43.

² Шостак С. В. Определение возраста европейского благородного оленя: научно-практическое пособие. Минск: Ураджай, 1988. 62 с.

³ Соколов И. И. Половозрастная и расовая изменчивость черепа дикого и домашнего северного оленя // Советское оленеводство; под ред. В. Б. Сочава. – Ленинград: Изд-во Главсевморпути, 1937. Вып. 9. С. 18.

ней, обезжиривались и просушивались в соответствии с методическими рекомендациями по очистке и монтажу скелетов позвоночных животных⁴.

Материалами для исследований послужили результаты собственных измерений черепов домашних северных оленей ненецкой породы различных половозрастных групп.

Морфометрическую оценку черепов оленей проводили по 63 промерам в соответствии со схемой И. И. Соколова⁵.

1. Наибольшая длина черепа: от задней точки затылочного гребня до передних концов межчелюстных костей.

2. Основная (базилярная) длина черепа: от нижнего края затылочного отверстия до передних концов межчелюстных костей.

3. Боковая длина черепа: от передних концов межчелюстных костей до переднего края слухового отверстия.

4. Длина лицевой части черепа: от передних концов межчелюстных костей до линии, соединяющей аборальные концы носовых костей на шве лобных костей.

5. Анатомическая лицевая ось: от середины линии, соединяющей задние края орбит, до передних концов межчелюстных костей.

6. Орбитно-лицевая длина лицевой части черепа: от передних концов межчелюстных костей до переднего края орбиты на нижнем слезно-орбитальном шве.

7. Длина рыла: от передних концов межчелюстных костей до заднего края подглазничного отверстия.

8. Расстояние от заднего края лунки клыка до переднего края лунки Pm^1 (P-зкл-пкл Pm^1).

9. От передних концов межчелюстных костей до заднего конца сошника (базифациальная ось).

10. От нижнего края затылочного отверстия до линии, соединяющей задние края орбит по средней линии.

11. Длина мозговой части черепа: от нижнего края затылочного отверстия до линии, соединяющей аборальные концы носовых костей на шве лобных костей.

12. От нижнего края затылочного отверстия до переднего края орбиты на нижнем слезно-орбитальном шве.

13. От нижнего края затылочного отверстия до заднего конца сошника.

14. Расстояние от задней точки затылочного гребня до заднего края орбиты.

15. Наибольшая ширина черепа: расстояние между наиболее выдающимися наружными краями глазниц (она же наибольшая ширина лобных костей).

16. Ширина черепа в передних концах верхнечелюстных костей (сразу за клыками).

17. Ширина черепа на уровне задних концов верхних отростков межчелюстных костей.

18. Ширина носового отверстия на уровне клыков.

19. Ширина черепа в щечных буграх (на уровне середины M^2).

20. Межорбитальная ширина: расстояние между верхними точками слезных костей на краю орбиты.

21. Наименьшая ширина лба в самом узком месте между рогами и глазницами.

22. Ширина черепа в скуловых дугах на уровне задних концов скуловых костей.

23. Ширина черепа между наружными выступами надушных бугров.

24. Ширина затылочной плоскости в верхних точках швов височных и затылочной костей.

25. Наибольшее расстояние между наружными краями мыщелков.

26. Длина неба от передних концов межчелюстных костей до заднего края неба по средней линии.

27. Ширина неба на уровне середины Pm^1 между внутренними краями альвеол.

28. Ширина неба на уровне середины M^1 между внутренними краями альвеол.

29. Ширина неба на уровне середины M^3 между внутренними краями альвеол.

30. Длина небных костей по медиальному шву.

31. Длина височной ямки от заднего края шва между теменной и височной костями до переднего ее угла (у скуловой кости).

32. Ширина височной ямки от угла изгиба скуловой кости до ближайшей точки височного гребня.

33. Наибольшая длина хоан от задней точки небных костей до заднего края сошника по средней линии.

34. Наибольшая ширина хоан.

35. Длина ряда коренных зубов верхней челюсти (от переднего края альвеолы Pm^1 до заднего края альвеолы M^3).

36. Длина ряда премоляров верхней челюсти от переднего края альвеолы Pm^1 до заднего края альвеолы Pm^3 .

37. Длина ряда моляров верхней челюсти от переднего края альвеолы M^1 до заднего края альвеолы M^3 .

38. Длина межчелюстной кости от передних концов межчелюстных костей до верхушки ее восходящей ветви.

39. Длина межчелюстной кости от передних концов межчелюстных костей до заднего края небного отростка на медиальном шве.

⁴ Изготовление скелетов позвоночных животных: учебно-методическое пособие // Сост. М. Н. Загуменов. Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет», 2021. 54 с.

⁵ Соколов И. И. Половозрастная и расовая изменчивость черепа дикого и домашнего северного оленя // Советское оленеводство; под ред. В. Б. Сочава. – Ленинград: Изд-во Главсевморпути, 1937. Вып. 9. С. 9–43.

40. Наибольшая длина носовых костей от линии, соединяющей передние концы костей, до линии, соединяющей крайние выступы их оснований (на шве лобных костей) по средней линии.

41. Ширина носовых костей на переднем конце их у шва носовых и добавочных верхнечелюстных костей.

42. Наименьшая ширина носовых костей.

43. Наибольшая ширина носовых костей.

44. Длина слезной кости на лицевой поверхности по диагонали от верхнего слезно-орбитального шва до переднего края шва слезной и скуловой кости.

45. Наибольшая ширина слезной кости на лицевой поверхности перпендикулярно линии наибольшей ее длины.

46. Наибольшая длина лобных костей от касательной к задним отросткам лобных костей до касательной, соединяющей их передние концы (по средней линии).

47. Длина теменной части черепа по средней линии – от задней точки затылочного гребня до переднего края теменной кости.

48. Наибольшая длина верхнечелюстной кости от заднего края шва со скуловой костью на лицевой поверхности до наиболее выдающейся точки переднего края кости.

49. Наибольшая длина скуловой кости.

50. Расстояние от передних концов межчелюстных костей до переднего края шва между носовыми костями.

51. От нижнего края затылочного отверстия до переднего края шва между носовыми костями.

52. От передних концов межчелюстных костей до наивысшей точки лобных костей.

53. От нижнего края затылочного отверстия до наивысшей точки лобных костей.

54. Длина нижней челюсти от переднего края лунок 1 пары резцов до середины заднего края суставного отростка.

55. Длина нижней челюсти от переднего края лунок 1 пары резцов до заднего выступа угла.

56. Наименьшая высота челюсти в беззубом крае.

57. Высота нижней челюсти за M_3 .

58. Длина диастемы: от альвеолы резца (клыка) до переднего края лунки Pm_1 .

59. Высота мозговой части черепа (без нижней челюсти) от высшей точки верхнего профиля до горизонтальной поверхности, на которой расположен череп.

60. Высота лицевой части черепа от высшей точки носовых костей до горизонтальной поверхности, на которой расположен череп.

61. Высота затылочной плоскости от нижнего края затылочного отверстия до высшей точки середины затылочного гребня.

62. Высота рыла на уровне поверхности переднего края шва носовых и добавочных верхнечелюстных костей.

63. Ширина мозговой части черепа в задних выходах височных ям на уровне середины латеральных отростков теменных костей.

Для измерения краниологических промеров (согласно методике И. И. Соколова) использовали электронные цифровые штангенциркули (150, 250 и 500) и линейки. Измерения производились с точностью до 0,01 мм. Все измерения проводились по левой стороне черепа, но в случае если промер на левой стороне в силу тех или иных причин невозможно было взять, измерения проводились на противоположной стороне.

На основании полученных линейных измерений черепа рассчитаны 15 краниологических индексов, выраженных в процентах: 15/1; 4/11; 24/63; 25/24; 60/59; 10/5; 40/2; 59/2; 61/23; 15/63; 22/2; 6/12; 23/15; 4/2; 24/15 (по И. И. Соколову).

Для установления полового диморфизма домашних северных оленей по краниометрическим показателям проведено сравнение краниологических промеров и индексов 8-месячных телят-хоров с аналогичными параметрами 8-месячных телят-важенок; 9-месячных телят-хоров с аналогичными параметрами 9-месячных телят-важенок, а также между взрослыми 5,5 года и старше самками и самцами домашних северных оленей. Проведен сравнительный анализ полученных данных, по которым между самками и самцами оленей выявлены статистически значимые различия.

Для обработки результатов исследований применяли описательную статистику: определяли среднее арифметическое (M), стандартную ошибку среднего арифметического ($\pm m$), устанавливались крайние значения каждого показателя (lim), проводилось попарное сравнение с использованием t -критерия Стьюдента при трех уровнях вероятности ($P > 0,95$; $P > 0,99$; $P > 0,999$). Статистическая обработка данных⁶ проведена при помощи программы Microsoft Excel. Данные в таблицах представлены в виде средней и стандартной ошибки ($M \pm m$).

Результаты (Results)

Для исследования в СХПК «Тундра» во время забойной кампании 25 января было отобрано 8 голов телят – по 4 головы обоего пола, а 20 февраля – еще 8 голов молодняка, также по 4 головы самочек и самцов. Массовый отел в этом хозяйстве приходился на 18 мая. Поэтому теоретически предполагалось, что головы, отобранные для исследования в январе, соответствовали возрасту 8 месяцев, а февральские – возрасту 9 месяцев. Однако после внимательного изучения зубного ряда верхней и нижней челюстей на препарированных черепах

⁶ Меркурьева Е. К. Биометрия в животноводстве. М.: Колос, 1964. 311 с.

молодняка домашних северных оленей установлено, что из 8 черепов телят-хоров 5 соответствовали возрасту 8 месяцев и 3 черепа – 9-месячному возрасту. Телят-важенок оказалось по 4 головы в каждой возрастной группе.

Разницы в формировании зубного ряда верхней и нижней челюсти между телятами-хорами и телятами-важенками одного возраста не отмечено.

У 8-месячных самочек и самцов на верхней и нижней челюстях препарированного черепа имелись моляры M^1 и M_1 . Через отверстие кости на обеих челюстях видны верхушки моляров M^2 и M_2 , но их абсолютно белый цвет свидетельствовал о том, что при жизни у 8-месячных оленей они еще были скрыты под слизистой оболочкой.

У 9-месячного молодняка на верхней и нижней челюстях препарированного черепа уже отчетливо видны вторые моляры (M^2 и M_2), но верхний край еще не выровнялся с основным рядом зубов, что свидетельствовало о продолжающемся росте вторых моляров. На верхней челюсти вторые моляры (M^2) абсолютно белые, следовательно, у северных оленей в 9-месячном возрасте они еще покрыты слизистой оболочкой. На нижней челюсти передняя половина второго моляра (M_2) имеет потемнение, что позволяет утверждать, что у 9-месячных оленей передняя часть второго моляра на нижней челюсти прорезалась сквозь слизистую оболочку и уже какое-то время участвовала в пережевывании пищи, а задняя его половина еще абсолютно белая, следовательно, при жизни 9-месячного оленя она была покрыта слизистой оболочкой. Результаты наших исследований противоречат данным И. И. Соколова⁷, в которых говорится, что вторые моляры M^2 и M_2 прорезываются у северных оленей только в начале второго года.

Возраст всех четырех забитых хоров соответствовал 5,5 года. Весь зубной ряд верхней и нижней челюстей был крепкий. Наблюдалось небольшое стирание всех премоляров, в том числе и Pm_1 нижней челюсти, а также незначительное стирание всех пар резцов.

При установлении возраста забитых важенок по зубам выявлено, что забитые самки старше хоров. Об этом свидетельствовало более заметное стирание нижнего ряда зубов. Установлено, что возраст трех важенок соответствовал 8,5 года, о чем свидетельствовала сильная изношенность зубного ряда нижней челюсти (сильно вогнутые поверхности всех зубов). У одной важени по зубному ряду нижней челюсти установлено, что ее возраст соответствовал 6,5 года (поверхность моляров слегка вогнута). Средний возраст важенок составил 8 лет.

При сравнении краниологических промеров 8-месячных телят-хоров и 8-месячных телят-важенок (таблица 1) выделились шесть промеров из 63 (12, 15, 24, 33, 41, 59), по которым телята-хоры достоверно превосходили телят-важенок. Отмечено превосходство 8-месячных телят-хоров над самками того же возраста по длине (промер № 12 (+5,76 мм, $P > 0,999$)), ширине (промер № 15 (+8,24 мм, $P > 0,99$); промер № 24 (+3,28, $P > 0,99$)) и высоте (промер № 59 (+3,93 мм, $P > 0,99$)) мозговой части черепа. По лицевому отделу черепа отмечено статистически значимое превосходство ($P > 0,99$) 8-месячных самцов оленей над самками того же возраста по двум промерам: наибольшей длине хоан (промер № 33, +4,06 мм), ширине носовых костей (промер № 41, +2,3 мм). По длине черепа статистически значимой разницы между 8-месячными самками и самцами домашних северных оленей не установлено. Крайние значения статистически значимых промеров 8-месячных телят-хоров и 8-месячных телят-важенок (12, 15, 24, 33, 41, 59) не заходили за границы лимитов друг друга. Следовательно, краниологические промеры под номерами 12, 15, 24, 33, 41, 59 можно использовать для установления пола по черепу у домашних северных оленей ненецкой породы начиная с 8-месячного возраста.

Сравнение линейных промеров черепа 9-месячных телят-хоров и телят-важенок (таблица 2) выявило статистически значимое превосходство телят-хоров над телятами-важенками по 19 параметрам из 63 (1–7, 9, 15, 16, 24, 26, 39, 40, 44, 48–50, 54). В период с 8- до 9-месячного возраста у самцов северных оленей начинается более интенсивный рост черепа в длину, чем у самок. Об этом свидетельствует превосходство 9-месячных телят-хоров над самочками того же возраста по 16 промерам длины черепа, из них по 3 промерам общей длины черепа: № 1 – наибольшая длина черепа (+11,72 мм, $P > 0,95$); № 2 – основная (базилярная) длина черепа (+11,14, $P > 0,99$); № 3 – боковая длина черепа (+11,80, $P > 0,999$) – и по 13 промерам, отражающим длину лицевой части черепа: № 4 – длина лицевой части черепа (+12,00 мм, $P > 0,999$); № 5 – анатомическая лицевая ось (+9,05 мм, $P > 0,99$); № 6 – орбитально-лицевая длина лицевой части черепа (+8,69 мм, $P > 0,99$); № 7 – длина рыла (+7,02 мм, $P > 0,99$); № 9 – базилярная ось (+14,63 мм, $P > 0,999$); № 26 – длина неба (+12,59 мм, $P > 0,99$); № 39 – длина межчелюстной кости (+9,76 мм, $P > 0,999$); № 40 – наибольшая длина носовых костей (+10,61 мм, $P > 0,99$); № 48 – наибольшая длина верхнечелюстной кости (+7,88 мм) ($P > 0,999$); № 49 – наибольшая длина скуловой кости (+5,83 мм, $P > 0,99$); № 50 – расстояние от передних концов межчелюстных костей до переднего края шва между носовыми костями (+6,10 мм, $P > 0,999$), промер № 44 – длина

⁷ Соколов И. И. Половозрастная и расовая изменчивость черепа дикого и домашнего северного оленя // Советское оленеводство. Под ред. В. Б. Сочава. – Ленинград: Изд. Главсевморпути. 1937. Вып. 9. С. 18

слезной кости (+5,40 мм, $P > 0,999$), № 54 – длина нижней челюсти (+10,41 мм, $P > 0,999$). Телята-хоры достоверно превосходили своих 9-месячных сверстниц также и по ширине лицевой части черепа: промер № 16 – ширина черепа в передних концах верхнечелюстных костей (+4,21 мм, $P > 0,999$). Также прослеживалось достоверное превосходство 9-месячных телят-хоров над самочками того же возраста по 2 промерам ширины мозговой части черепа: № 15 – наибольшая ширина черепа (+11,77 мм, $P > 0,999$); № 24 – ширина затылочной плоскости (+5,77 мм, $P > 0,95$).

Крайние значения 18 промеров (1–7, 9, 15, 16, 26, 39, 40, 44, 48–50, 54) из 19 статистически значимых при сравнении 9-месячных телят-хоров с 9-месячными телятами-важенками не заходили за границы лимитов друг друга. Выявлено незначительное пересечение верхних границ промера самок с нижними границами этого же промера у самцов по одному промеру из 19 статистически значимых: это промер № 24 (ширина затылочной плоскости). Лимиты по этому промеру у телят-важенок находились в диапазоне 57,91–66,04, а у телят-хоров – 66,01–70,00 мм, но его также можно применять в сочетании с другими 18 статистически значимыми промерами при установлении полового диморфиз-

ма по черепу у 9-месячных домашних северных оленей ненецкой породы.

Таким образом, 19 краниологических промеров под номерами 1–7, 9, 15, 16, 24, 26, 39, 40, 44, 48–50, 54 можно использовать для установления пола по черепу у домашних северных оленей ненецкой породы начиная с 9-месячного возраста.

Половой диморфизм у взрослых особей северных оленей (5,5 года и старше) ярко выражен: череп самца крупнее черепа самки, средние величины всех промеров у самок меньше. В общей сложности по полновозрастным домашним северным оленям выявлено статистически значимое превосходство хоров над важеньками по 22 краниологическим промерам из 63 (1–7, 9, 14, 22, 24, 30, 31, 35, 37, 39, 46, 51, 52, 56, 61, 63) (таблица 3). По другим промерам (8, 10–13, 15–21, 23, 25, 26, 28, 29, 32–34, 36, 38, 40–45, 47–50, 53–55, 57–60, 62) разница была положительной в пользу самцов (в диапазоне от 0,37 мм по наибольшей ширине хоан (промер № 34) до 13,51 мм по длине нижней челюсти (промер № 55)), но не достоверной. Из этого можно сделать вывод, что достоверность между генеральными параметрами по 41 промеру черепа северных оленей не доказана. Возможно, при измерении большего числа животных разность может оказаться достоверной.

Таблица 1

Сравнение между собой краниологических промеров черепа 8-месячных телят-хоров и телят-важенок домашних северных оленей ненецкой породы, 2025 г. (СХПК «Тундра»)

№ промера	Половозрастная группа				Телята-хоры ± к телятам-важенкам, мм
	Телята-важенки (8 месяцев), <i>n</i> = 4		Телята-хоры (8 месяцев), <i>n</i> = 5		
	<i>M</i> ± <i>m</i> , мм	lim, мм	<i>M</i> ± <i>m</i> , мм	lim, мм	
12	91,95 ± 0,60	90,87–93,00	97,71 ± 0,75	96,10–100,21	+5,76***
15	112,40 ± 1,72	107,40–115,15	120,64 ± 1,84	114,24–124,33	+8,24**
24	59,00 ± 0,66	57,22–60,15	62,28 ± 1,06	58,74–64,57	+3,28**
33	40,24 ± 0,56	39,14–41,30	44,30 ± 1,59	40,08–47,90	+4,06**
41	17,58 ± 0,45	16,33–18,47	19,88 ± 0,76	17,88–21,99	+2,30**
59	81,31 ± 1,32	79,06–85,09	85,24 ± 0,98	82,00–88,05	+3,93**

Примечание. Здесь и далее * – различия между самцами и самками домашних северных оленей достоверны при $P > 0,95$;

** – при $P > 0,99$; *** – при $P > 0,999$. M – среднее, $\pm m$ – стандартная ошибка среднего, lim – крайние значения показателя.

Table 1

Comparison of craniological measurements of the skull of 8-month-old male and female calves of domestic reindeer of the Nenets breed, 2025 (Agricultural production complex "Tundra")

Measure- ment number	Age and gender group				Male calves ± to the female calves, mm
	Female calves (8 months), n = 4		Male calves (8 months), n = 5		
	M ±m, mm	lim, mm	M ±m, mm	lim, mm	
12	91.95 ±0.60	90.87–93.00	97.71 ±0.75	96.10–100.21	+5.76***
15	112.40 ±1.72	107.40–115.15	120.64 ±1.84	114.24–124.33	+8.24**
24	59.00 ±0.66	57.22–60.15	62.28 ±1.06	58.74–64.57	+3.28**
33	40.24 ±0.56	39.14–41.30	44.30 ±1.59	40.08–47.90	+4.06**
41	17.58 ±0.45	16.33–18.47	19.88 ±0.76	17.88–21.99	+2.30**
59	81.31 ±1.32	79.06–85.09	85.24 ±0.98	82.00–88.05	+3.93**

Note. From here on * – differences between male and female domestic reindeer are significant at $P > 0.95$; ** – at $P > 0.99$;

*** – at $P > 0.999$. M – mean, $\pm m$ – standard error of the mean, lim – extreme values of the indicator.

Таблица 2

Сравнение между собой краниологических промеров черепа 9-месячных телят-хоров и телят-важенок домашних северных оленей ненецкой породы, 2025 г. (СХПК «Тундра»)

№ промера	Половозрастная группа				Телята-хоры ± к телятам- важенкам, мм
	Телята-важенки (9 месяцев), <i>n</i> = 4		Телята-хоры (9 месяцев), <i>n</i> = 3		
	<i>M</i> ± <i>m</i> , мм	lim, мм	<i>M</i> ± <i>m</i> , мм	lim, мм	
1	283,33 ±2,54	278,12–289,04	295,05 ±4,07	290,00–303,10	+11,72*
2	252,61 ±3,06	246,30–260,00	263,75 ±1,32	261,10–265,10	+11,14**
3	240,99 ±1,16	238,10–243,20	252,79 ±0,90	251,12–254,20	+11,80***
4	143,90 ±2,45	137,57–148,25	155,90 ±1,3	154,50–158,50	+12,00***
5	191,03 ±2,12	187,04–196,06	200,08 ±1,16	198,07–202,08	+9,05**
6	151,10 ±2,35	145,08–156,10	159,79 ±1,24	158,10–162,20	+8,69**
7	93,68 ±1,52	90,20–97,12	100,70 ±1,22	99,02–103,07	+7,02**
9	206,30 ±1,37	203,60–209,50	220,93 ±3,22	214,50–224,30	+14,63***
15	117,19 ±2,23	112,51–123,21	128,96 ±1,47	126,10–130,97	+11,77***
16	45,21 ±0,59	44,10–46,80	49,42 ±0,63	48,21–50,32	+4,21***
24	61,89 ±2,01	57,91–66,04	67,66 ±1,20	66,01–70,00	+5,77*
26	163,44 ±1,68	159,26–166,30	176,03 ±4,34	166,40–181,20	+12,59**
39	121,04 ±1,14	118,12–123,54	130,80 ±0,75	129,67–132,23	+9,76***
40	81,00 ±1,47	77,20–84,20	91,61 ±2,28	88,00–95,82	+10,61**
44	42,38 ±0,97	41,20–45,26	47,78 ±0,90	46,21–49,33	+5,40***
48	139,71 ±1,46	136,16–142,14	147,59 ±1,17	146,17–149,90	+7,88***
49	92,34 ±0,72	90,69–94,17	98,17 ±1,38	96,20–100,82	+5,83**
50	67,23 ±0,52	65,78–68,00	73,33 ±0,85	71,23–74,26	+6,10***
54	212,67 ±1,20	210,18–215,18	223,08 ±1,52	220,10–225,08	+10,41***

Table 2

Comparison of craniological measurements of the skull of 9-month-old male and female calves of domestic reindeer of the Nenets breed, 2025 (Agricultural production complex "Tundra")

Measurement number	Age and gender group				Male calves ± to the female calves, mm
	Female calves (9 months), n = 4		Male calves (9 months), n = 3		
	M ±m, mm	lim, mm	M ±m, mm	lim, mm	
1	283.33 ±2.54	278.12–289.04	295.05 ±4.07	290.00–303.10	+11.72*
2	252.61 ±3.06	246.30–260.00	263.75 ±1.32	261.10–265.10	+11.14**
3	240.99 ±1.16	238.10–243.20	252.79 ±0.90	251.12–254.20	+11.80***
4	143.90 ±2.45	137.57–148.25	155.90 ±1.3	154.50–158.50	+12.00***
5	191.03 ±2.12	187.04–196.06	200.08 ±1.16	198.07–202.08	+9.05**
6	151.10 ±2.35	145.08–156.10	159.79 ±1.24	158.10–162.20	+8.69**
7	93.68 ±1.52	90.20–97.12	100.70 ±1.22	99.02–103.07	+7.02**
9	206.30 ±1.37	203.60–209.50	220.93 ±3.22	214.50–224.30	+14.63***
15	117.19 ±2.23	112.51–123.21	128.96 ±1.47	126.10–130.97	+11.77***
16	45.21 ±0.59	44.10–46.80	49.42 ±0.63	48.21–50.32	+4.21***
24	61.89 ±2.01	57.91–66.04	67.66 ±1.20	66.01–70.00	+5.77*
26	163.44 ±1.68	159.26–166.30	176.03 ±4.34	166.40–181.20	+12.59**
39	121.04 ±1.14	118.12–123.54	130.80 ±0.75	129.67–132.23	+9.76***
40	81.00 ±1.47	77.20–84.20	91.61 ±2.28	88.00–95.82	+10.61**
44	42.38 ±0.97	41.20–45.26	47.78 ±0.90	46.21–49.33	+5.40***
48	139.71 ±1.46	136.16–142.14	147.59 ±1.17	146.17–149.90	+7.88***
49	92.34 ±0.72	90.69–94.17	98.17 ±1.38	96.20–100.82	+5.83**
50	67.23 ±0.52	65.78–68.00	73.33 ±0.85	71.23–74.26	+6.10***
54	212.67 ±1.20	210.18–215.18	223.08 ±1.52	220.10–225.08	+10.41***

Таблица 3

Сравнение между собой краниологических промеров черепа взрослых особей домашних северных оленей ненецкой породы (5,5 года и старше), 2025 г. (СХПК «Тундра»)

№ промера	Половозрастная группа				Хоры ± к важен- кам, мм
	Важенки (8 лет), $n = 4$		Хоры (5,5 года), $n = 4$		
	$M \pm m$, мм	lim, мм	$M \pm m$, мм	lim, мм	
1	340,09 ±2,88	335,07–345,07	369,28 ±6,64	353,12–383,35	+29,19***
2	306,96 ±1,40	302,98–309,08	328,73 ±5,57	315,20–340,10	+21,77***
3	290,69 ±0,72	289,05–292,45	312,21 ±4,43	303,12–324,00	+21,52***
4	183,21 ±2,80	177,20–189,53	202,07 ±6,51	194,00–221,50	+18,86**
5	238,02 ±1,86	235,06–243,40	257,80 ±5,38	248,30–272,00	+19,78**
6	193,07 ±2,22	187,76–197,30	207,30 ±4,77	197,10–220,05	+14,23**
7	112,68 ±1,05	110,14–115,18	124,89 ±2,64	120,10–132,20	+12,21***
9	255,30 ±3,40	248,00–264,45	272,55 ±4,48	265,00–284,45	+17,25**
14	101,21 ±2,11	98,80–107,50	111,54 ±2,33	105,20–116,00	+10,33**
22	124,27 ±1,30	122,80–128,15	138,12 ±1,94	134,28–143,4	+13,85***
24	75,05 ±1,29	72,15–77,74	87,79 ±2,21	82,68–93,40	+12,74***
30	133,68 ±2,53	128,50–139,60	150,12 ±2,10	145,63–155,30	+16,44***
31	92,39 ±0,62	90,83–93,46	100,39 ±1,45	97,58–104,22	+8,00***
35	84,27 ±1,47	81,86–87,85	90,47 ±1,59	87,48–94,93	+6,20**
37	45,73 ±1,53	43,60–50,28	51,14 ±0,39	50,20–52,12	+5,41**
39	150,78 ±1,86	147,30–155,00	165,12 ±4,76	152,30–174,50	+14,34**
46	134,56 ±4,29	122,35–142,49	153,53 ±1,24	149,83–155,15	+18,97***
51	215,81 ±1,52	213,45–220,17	236,98 ±5,49	226,80–247,40	+21,17**
52	278,01 ±2,00	272,90–282,12	297,73 ±5,90	289,75–315,07	+19,72**
56	13,05 ±0,35	12,64–14,09	16,52 ±0,40	15,38–17,23	+3,47***
61	75,49 ±1,44	71,92–77,85	83,73 ±1,99	80,60–89,50	+8,24**
63	93,67 ±0,70	92,11–95,50	98,96 ±0,36	98,32–100,00	+5,29***

Table 3
Comparison of craniological measurements of the skull of adult domestic reindeer of the Nenets breed (5.5 years and older), 2025 (Agricultural production complex "Tundra")

Measurement number	Age and gender group				Males ± to the female, mm
	Females (8 years), n = 4		Males (5.5 years), n = 4		
	M ±m, mm	lim, mm	M ±m, mm	lim, mm	
1	340.09 ±2.88	335.07–345.07	369.28 ±6.64	353.12–383.35	+29.19***
2	306.96 ±1.40	302.98–309.08	328.73 ±5.57	315.20–340.10	+21.77***
3	290.69 ±0.72	289.05–292.45	312.21 ±4.43	303.12–324.00	+21.52***
4	183.21 ±2.80	177.20–189.53	202.07 ±6.51	194.00–221.50	+18.86**
5	238.02 ±1.86	235.06–243.40	257.80 ±5.38	248.30–272.00	+19.78**
6	193.07 ±2.22	187.76–197.30	207.30 ±4.77	197.10–220.05	+14.23**
7	112.68 ±1.05	110.14–115.18	124.89 ±2.64	120.10–132.20	+12.21***
9	255.30 ±3.40	248.00–264.45	272.55 ±4.48	265.00–284.45	+17.25**
14	101.21 ±2.11	98.80–107.50	111.54 ±2.33	105.20–116.00	+10.33**
22	124.27 ±1.30	122.80–128.15	138.12 ±1.94	134.28–143.4	+13.85***
24	75.05 ±1.29	72.15–77.74	87.79 ±2.21	82.68–93.40	+12.74***
30	133.68 ±2.53	128.50–139.60	150.12 ±2.10	145.63–155.30	+16.44***
31	92.39 ±0.62	90.83–93.46	100.39 ±1.45	97.58–104.22	+8.00***
35	84.27 ±1.47	81.86–87.85	90.47 ±1.59	87.48–94.93	+6.20**
37	45.73 ±1.53	43.60–50.28	51.14 ±0.39	50.20–52.12	+5.41**
39	150.78 ±1.86	147.30–155.00	165.12 ±4.76	152.30–174.50	+14.34**
46	134.56 ±4.29	122.35–142.49	153.53 ±1.24	149.83–155.15	+18.97***
51	215.81 ±1.52	213.45–220.17	236.98 ±5.49	226.80–247.40	+21.17**
52	278.01 ±2.00	272.90–282.12	297.73 ±5.90	289.75–315.07	+19.72**
56	13.05 ±0.35	12.64–14.09	16.52 ±0.40	15.38–17.23	+3.47***
61	75.49 ±1.44	71.92–77.85	83.73 ±1.99	80.60–89.50	+8.24**
63	93.67 ±0.70	92.11–95.50	98.96 ±0.36	98.32–100.00	+5.29***

Из данных таблицы 3 видно, что самцы в возрасте 5,5 года характеризовались достоверно большей длиной черепа (промер № 1) в сравнении с самками (8 лет) на 29,19 мм ($P > 0,999$). У важенков средняя величина наибольшей длины черепа составила $340,09 \pm 2,88$ мм (lim: 335,07...345,07), у хоров $369,28 \pm 6,64$ мм (lim: 353,12...383,35). Ширина затылочной плоскости (промер № 24) у важенков равна $75,05 \pm 1,29$ мм (lim: 72,15...77,74 мм), а у хоров $87,79 \pm 2,21$ мм (lim: 82,68...93,40 мм). Хоры превосходили важенков по средним значениям ширины затылочной плоскости на +12,74 мм при $P > 0,999$. Крайние значения 17 промеров (1–5, 7, 9, 22, 24, 30, 31, 46, 51, 52, 56, 61, 63) не заходят за границы лимитов друг друга. По пяти промерам (6, 14, 35, 37, 39) из 22 статистически значимых наблюдалось пересечение верхних границ промера самок с нижними границами этого же промера у самцов: по промеру № 6 (средняя величина орбитально-лицевой длины лицевой части черепа) лимиты у важенков находились в диапазоне 187,76–197,30, а у хоров – в диапазоне от 197,10 до 220,05 мм; лимиты по промеру № 14 (расстояние от задней точки затылочного гребня до заднего края орбиты) составили 98,80–107,50 и 105,20–116,00 у самок и самцов соответственно; по промеру № 35 (длина ряда коренных зубов верхней челюсти) – в диапазоне 81,86–87,85 и 87,48–94,93; по промеру № 37 (длина ряда моляров верхней челюсти) – 43,60–50,28 и 50,20–52,12; по промеру № 39 (длина межчелюстной кости) границы промера у важенков и хоров находились в границах 147,30–155,00 и 152,30–174,50 соответственно. Но эти пять промеров также можно использовать при установлении полового диморфизма по черепу у взрослых (5,5 года и старше) домашних северных оленей ненецкой породы в сочетании с другими 17 статистически значимыми промерами.

Следовательно, 22 краниологических промера под номерами 1–7, 9, 14, 22, 24, 30, 31, 35, 37, 39, 46, 51, 52, 56, 61, 63 можно использовать для установления пола по черепу у взрослых (5,5 года и старше) домашних северных оленей ненецкой породы.

Сравнительный анализ промеров между самками и самцами домашних северных оленей наглядно демонстрирует, что по мере взросления животных половой диморфизм прослеживается наиболее ярко. Так 8-месячные самцы достоверно превосходили 8-месячных самок по 6 промерам. В 9-месячном возрасте достоверное превосходство самцов над сверстницами-самками наблюдалось уже по 19 промерам. А у половозрелых животных (5,5 года и старше) отмечено 22 достоверных отличия в пользу самцов северных оленей. Следует отметить, что и у 9-месячных, и у взрослых (5,5 года) самцов оленей наблюдалось совпадение статистически достоверного превосходства самцов над самками по длине лицевой части черепа (промеры 1–7, 9, 39).

Исследования краниологических характеристик северных оленей ненецкой породы Тиманской и Большеземельской тундр Ненецкого АО также выявили достоверное превосходство самцов над самками по размерам черепа в длину [8].

Еще более показательны величины, отображающие соотношения отдельных частей черепа у самок и самцов оленей. Вычисление ряда индексов даст дополнительные возможности для определения полового диморфизма по черепу домашних северных оленей ненецкой породы, обитающих в условиях Мурманской области.

Сравнительный анализ краниологических индексов позволил определить статистически значимые отличительные признаки черепов оленей разного пола (таблица 4).

Так, выявлено статистически значимое ($P > 0,99$) превосходство самцов над самками по индексу 24/63 (отношение ширины затылочной плоскости к ширине мозговой части черепа) во всех изучаемых половозрастных группах. Этот факт позволил утверждать, что затылочная область у самцов северных оленей относительно более развита, чем у самок. Так, к 8-месячному возрасту у телят-хоров индекс соответствовал 78,40 %, у телят-важенков – 73,37 %, в 9-месячном возрасте – 79,20 и 73,25 %, у половозрелых хоров и важенков – 88,69 и 80,12 % соответственно. У самцов увеличение этого краниологического индекса в период с 8 месяцев до 5,5 года происходило интенсивнее, чем у самок. У самцов увеличение этого индекса составило 10,29 % (с 78,40 до 88,69 %), у самок – 6,75 % (с 73,37 до 80,12 %). Наши выводы по индексу 24/63 согласуются с выводами, полученными И. И. Соколовым⁸ и Т. М. Романенко с соавторами [8]. По мнению И. И. Соколова, одно из главных отличий черепа самца от черепа самок северных оленей заключается в более сильном (и абсолютно, и относительно) развитии затылочной зоны, и индекс 24/63 является хорошим показателем половой дифференцировки.

Также высокодостоверное превосходство ($P > 0,999$) хоров (5,5 года) над важенками (8 лет) установлено по индексу (24/15) (отношение ширины затылочной плоскости к наибольшей ширине черепа). Это демонстрирует лучшее развитие у взрослых самцов затылочной области в ширину, по сравнению с этим же параметром у взрослых самок. Прослеживается увеличение этого индекса по мере взросления животных, причем у самцов в большей степени, чем у самок. У хоров значение этого индекса от 8-месячного возраста до 5,5 года увеличивается на 8,53 % (с 51,63 до 60,16 %), а у важенков за тот же период – на 1,90 % (с 52,50 до 54,44 %).

⁸ Соколов И. И. Половозрастная и расовая изменчивость черепа дикого и домашнего северного оленя // Советское оленеводство; под ред. В. Б. Сочава. – Ленинград: Изд-во Главсевморпути, 1937. Вып. 9. С. 41.

Таблица 4

Краниологические индексы домашних северных оленей ненецкой породы по половозрастным группам, 2025 г. (СХПК «Тундра»), $M \pm m$, %

Индекс	Самки			Самцы		
	8 месяцев (n = 4)	9 месяцев (n = 4)	8 лет (n = 4)	8 месяцев (n = 5)	9 месяцев (n = 3)	5,5 года (n = 4)
15/1	41,01 $\pm$ 0,92	41,36 $\pm$ 0,74	40,54 $\pm$ 0,55	43,26 $\pm$ 0,76	43,74 $\pm$ 1,33	39,53 $\pm$ 0,43
4/11	132,80 $\pm$ 6,43	132,67 $\pm$ 3,59	147,96 $\pm$ 4,23	139,70 $\pm$ 8,79	144,73 $\pm$ 3,22	160,50 $\pm$ 9,51
24/63	73,37 $\pm$ 0,34	73,25 $\pm$ 1,85	80,12 $\pm$ 1,33	78,40 $\pm$ 1,55**	79,20 $\pm$ 1,20**	88,69 $\pm$ 1,92**
25/24	99,12 $\pm$ 2,68	98,63 $\pm$ 2,04	84,94 $\pm$ 1,13	96,59 $\pm$ 2,81	95,14 $\pm$ 3,01	78,95 $\pm$ 2,99
24/15	52,50 $\pm$ 0,33	52,80 $\pm$ 1,33	54,44 $\pm$ 0,66	51,63 $\pm$ 0,61	52,50 $\pm$ 1,85	60,16 $\pm$ 1,26***
15/63	139,78 $\pm$ 1,31	138,89 $\pm$ 3,96	147,29 $\pm$ 3,60	151,82 $\pm$ 2,04***	151,00 $\pm$ 3,00	147,44 $\pm$ 1,54
61/23	81,06 $\pm$ 2,15	79,71 $\pm$ 2,16	74,70 $\pm$ 1,71	81,47 $\pm$ 2,16	81,39 $\pm$ 2,52	80,64 $\pm$ 2,32
23/15	75,75 $\pm$ 0,83	75,22 $\pm$ 2,00	73,46 $\pm$ 2,48	72,79 $\pm$ 1,08	70,35 $\pm$ 2,85	71,25 $\pm$ 1,48
22/2	45,14 $\pm$ 0,62	44,04 $\pm$ 0,74	40,48 $\pm$ 0,37	45,14 $\pm$ 0,50	43,62 $\pm$ 0,38	42,04 $\pm$ 0,68
60/59	78,77 $\pm$ 1,51	82,70 $\pm$ 3,01	89,56 $\pm$ 1,55	73,61 $\pm$ 1,92	80,43 $\pm$ 3,70	85,21 $\pm$ 1,45
59/2	33,40 $\pm$ 0,57	32,86 $\pm$ 1,05	34,49 $\pm$ 1,26	34,54 $\pm$ 0,79	33,40 $\pm$ 0,74	34,40 $\pm$ 1,32
40/2	32,30 $\pm$ 0,29	32,07 $\pm$ 0,48	34,06 $\pm$ 1,04	32,11 $\pm$ 1,48	34,73 $\pm$ 0,90**	33,74 $\pm$ 0,89
4/2	56,95 $\pm$ 1,15	56,96 $\pm$ 0,67	59,68 $\pm$ 0,69	58,08 $\pm$ 1,52	59,11 $\pm$ 0,54	61,45 $\pm$ 1,35
10/5	29,33 $\pm$ 0,74	32,26 $\pm$ 0,25	28,93 $\pm$ 0,76	29,67 $\pm$ 1,03	31,87 $\pm$ 1,68	27,61 $\pm$ 0,99
6/12	164,06 $\pm$ 4,00	148,70 $\pm$ 1,76	169,82 $\pm$ 5,19	153,19 $\pm$ 5,61	153,85 $\pm$ 6,17	170,83 $\pm$ 4,61

Table 4
Craniological indices of domestic reindeer of the Nenets breed by sex and age groups, 2025 (Agricultural production complex "Tundra"), $M \pm m$, %

Index	Females			Males		
	8 months (n = 4)	9 months (n = 4)	8 years (n = 4)	8 months (n = 5)	9 months (n = 3)	5.5 years (n = 4)
15/1	41.01 $\pm$ 0.92	41.36 $\pm$ 0.74	40.54 $\pm$ 0.55	43.26 $\pm$ 0.76	43.74 $\pm$ 1.33	39.53 $\pm$ 0.43
4/11	132.80 $\pm$ 6.43	132.67 $\pm$ 3.59	147.96 $\pm$ 4.23	139.70 $\pm$ 8.79	144.73 $\pm$ 3.22	160.50 $\pm$ 9.51
24/63	73.37 $\pm$ 0.34	73.25 $\pm$ 1.85	80.12 $\pm$ 1.33	78.40 $\pm$ 1.55**	79.20 $\pm$ 1.20**	88.69 $\pm$ 1.92**
25/24	99.12 $\pm$ 2.68	98.63 $\pm$ 2.04	84.94 $\pm$ 1.13	96.59 $\pm$ 2.81	95.14 $\pm$ 3.01	78.95 $\pm$ 2.99
24/15	52.50 $\pm$ 0.33	52.80 $\pm$ 1.33	54.44 $\pm$ 0.66	51.63 $\pm$ 0.61	52.50 $\pm$ 1.85	60.16 $\pm$ 1.26***
15/63	139.78 $\pm$ 1.31	138.89 $\pm$ 3.96	147.29 $\pm$ 3.60	151.82 $\pm$ 2.04***	151.00 $\pm$ 3.00	147.44 $\pm$ 1.54
61/23	81.06 $\pm$ 2.15	79.71 $\pm$ 2.16	74.70 $\pm$ 1.71	81.47 $\pm$ 2.16	81.39 $\pm$ 2.52	80.64 $\pm$ 2.32
23/15	75.75 $\pm$ 0.83	75.22 $\pm$ 2.00	73.46 $\pm$ 2.48	72.79 $\pm$ 1.08	70.35 $\pm$ 2.85	71.25 $\pm$ 1.48
22/2	45.14 $\pm$ 0.62	44.04 $\pm$ 0.74	40.48 $\pm$ 0.37	45.14 $\pm$ 0.50	43.62 $\pm$ 0.38	42.04 $\pm$ 0.68
60/59	78.77 $\pm$ 1.51	82.70 $\pm$ 3.01	89.56 $\pm$ 1.55	73.61 $\pm$ 1.92	80.43 $\pm$ 3.70	85.21 $\pm$ 1.45
59/2	33.40 $\pm$ 0.57	32.86 $\pm$ 1.05	34.49 $\pm$ 1.26	34.54 $\pm$ 0.79	33.40 $\pm$ 0.74	34.40 $\pm$ 1.32
40/2	32.30 $\pm$ 0.29	32.07 $\pm$ 0.48	34.06 $\pm$ 1.04	32.11 $\pm$ 1.48	34.73 $\pm$ 0.90**	33.74 $\pm$ 0.89
4/2	56.95 $\pm$ 1.15	56.96 $\pm$ 0.67	59.68 $\pm$ 0.69	58.08 $\pm$ 1.52	59.11 $\pm$ 0.54	61.45 $\pm$ 1.35
10/5	29.33 $\pm$ 0.74	32.26 $\pm$ 0.25	28.93 $\pm$ 0.76	29.67 $\pm$ 1.03	31.87 $\pm$ 1.68	27.61 $\pm$ 0.99
6/12	164.06 $\pm$ 4.00	148.70 $\pm$ 1.76	169.82 $\pm$ 5.19	153.19 $\pm$ 5.61	153.85 $\pm$ 6.17	170.83 $\pm$ 4.61

По индексу (15/63) (отношение наибольшей ширины черепа к ширине его мозговой части) в 8-месячном возрасте самцы с высокой степенью достоверности ($P > 0,999$) превосходили самок на 12,04 % (151,82 к 139,78 %). Это свидетельствовало о том, что 8-месячные самочки по отношению к самцам того же возраста отличались относительно большими показателями ширины мозговой части черепа и примерно одинаковыми показателями наибольшей ширины черепа. По мере взросления у самок наблюдалось увеличение этого индекса (со 139,78 до 147,29), а у самцов – снижение (со 151,82

до 147,44), и к половозрелому возрасту (5,5 года) величина индексов практически выравнивается. Поэтому по данному краниологическому индексу невозможно установить межполовые различия у взрослых северных оленей. Но можно констатировать, что у самок по отношению к самцам по мере взросления наблюдается относительно лучшее развитие мозговой части черепа.

По индексу (40/2) (отношение наибольшей длины носовых костей к основной (базиллярной) длине черепа) отмечено статистически значимое превосходство 9-месячных самцов над самками того же

возраста ($P > 0,99$). Относительная величина носовых костей составила 34,73 к 32,07 % соответственно у 9-месячных самцов и самок домашних северных оленей. Но так как достоверное превосходство самцов над самками северных оленей по индексу 40/2 выявлено только в группе 9-месячных животных, мы не можем использовать этот индекс для идентификации взрослых животных по полу.

По другим краниологическим индексам статистически значимой разницы между самцами и самками домашних северных оленей не установлено.

Таким образом, чтобы получить достоверные данные по различиям черепов самцов и самок северных оленей, необходимо предварительно распределить препарированные черепа по возрастным группам (возраст определить по зубам), отделить молодых особей от взрослых, произвести все необходимые замеры черепа, рассчитать краниологические индексы, провести анализ полученных данных.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusions)

Сравнительный анализ промеров черепа между самками и самцами домашних северных оленей наглядно демонстрирует, что по мере взросления животных половой диморфизм прослеживается наиболее ярко.

Половой диморфизм по краниометрическим промерам у 8-месячных домашних северных оленей выражен слабо, о чем свидетельствует статистически значимое превосходство самцов над самками по 6 краниологическим промерам из 63 (12, 15, 24, 33, 41, 59). По длине черепа статистически значимой разницы между 8-месячными самками и самцами домашних северных оленей не установлено.

В 9-месячном возрасте достоверное превосходство самцов над сверстницами наблюдалось уже по 19 промерам черепа (1–7, 9, 15, 16, 24, 26, 39, 40, 44, 48–50, 54) из 63. Крайние значения 18 промеров (1–7, 9, 15, 16, 26, 39, 40, 44, 48–50, 54) из 19 ста-

тистически значимых при сравнении 9-месячных телят-хоров с 9-месячными телятами-важенками не заходили за границы лимитов друг друга. Следовательно, начиная с 9-месячного возраста можно установить пол северного оленя по его черепу. В период с 8- до 9-месячного возраста у самцов северных оленей начинается более интенсивный рост черепа в длину, чем у самок. Об этом свидетельствует статистически значимое превосходство 9-месячных телят-хоров над самочками того же возраста по 16 промерам длины черепа (1–7, 9, 26, 39, 40, 44, 48–50, 54).

Половой диморфизм у взрослых особей северных оленей (5,5 года и старше) ярко выражен: череп самца крупнее черепа самки. По промерам черепа отмечено 22 достоверных отличия из 63 в пользу самцов северных оленей (1–7, 9, 14, 22, 24, 30, 31, 35, 37, 39, 46, 51, 52, 56, 61, 63), из них по 16 промерам, характеризующим длину черепа (1–7, 9, 30, 31, 35, 37, 39, 46, 51, 52). При установлении полового диморфизма у домашних северных оленей по краниологическим параметрам можно использовать 17 промеров (1–5, 7, 9, 22, 24, 30, 31, 46, 51, 52, 56, 61, 63), так как их показатели у самок достоверно меньше, чем у самцов, при этом крайние значения промеров у самок и самцов не заходят за границы лимитов друг друга. Череп самцов оленей отличается более развитой затылочной областью по сравнению с самками. Это подтверждается статистически значимым превосходством самцов над самками по ширине затылочной плоскости (промер № 24): в 8 месяцев – на 3,28 мм ($P > 0,99$), в 9 месяцев – на 5,77 мм ($P > 0,95$), при сравнении взрослых половозрелых оленей – на 12,74 мм ($P > 0,999$), а также по индексу 24/63 во все изучаемые возрастные периоды на 5,03, 5,95, 8,57 % ($P > 0,99$) соответственно, по индексу 24/15 – на 6,16 % ($P > 0,999$) у взрослых животных.

Библиографический список

1. Кряжков В. А. Оленеводство как вид традиционной хозяйственной деятельности коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего востока Российской Федерации: правовой аспект // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Право. 2024. № 2 (57). С. 84–96. DOI: 10.17308/law/1995-5502/2024/2/84-96.
2. Логинов В. Г. Оленеводство как базовая отрасль традиционной экономики и образ жизни коренных народов Арктики // Арктика: экология и экономика. 2025. Т. 15, № 3. С. 42–54. DOI: 10.25283/2223-4594-2025-3-42-54.
3. Южаков А. А., Лайшев К. А., Мухачев А. Д. Весовой и линейный рост скелета домашних северных оленей ненецкой породы // Международный вестник ветеринарии. 2023. № 3. С. 224–236. DOI: 10.52419/issn2072-2419.2023.3.224.
4. Кошкина О. А., Харзинова В. Р., Зиновьева Н. А. Исследования филогенетических связей популяций ненецкой породы северного оленя, основанные на системе анализа полиморфизма полных митохондриальных геномов // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 9. С. 93–101. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_9_93.
5. Фирсова Э. В. Экстерьерная оценка самцов северных оленей ненецкой породы в условиях Мурманской области // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38, № 2. С. 53–57. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_2_53.

6. Свищева Г. Р., Семина М. Т., Коноров Е. А. [и др.] Изучение корреляционных связей и генетических ассоциаций промеров у самок северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы // Успехи современной биологии. 2023. Т. 143, № 5. С. 454–465. DOI: 10.31857/S0042132423050095.

7. Трухачев В. И., Боропецкая О. И., Остапчук А. М. [и др.] Краниологическая коллекция музея животноводства им. Е. Ф. Лискуна как объект изучения морфологических, генетических и зоотехнических особенностей пород крупного рогатого скота // Аграрная наука. 2023. № 3. С. 22–31. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-368-3-22-31.

8. Романенко Т. М., Вылко Ю. П. Краниологическая характеристика северных оленей (*Rangifer tarandus*) ненецкой породы Тиманской и Большеземельской тундр Ненецкого АО // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 12. С. 110–114. DOI: 10.17513/mjpf.12964.

9. Чуева А. В., Гелашвили Д. Б., Якимов В. Н. [и др.] Комплексный краниологический анализ географически удаленных популяций ондатры (*Ondatra zibethicus* Linnaeus, 1766) // Принципы экологии. 2020. № 1. С. 121–135. DOI: 10.15393/j1.art.2020.9342.

10. Климова А. С., Сиротина М. В. Особенности краниологических признаков *Myodes glareolus* Schreber на территории Костромской области // Самарский научный вестник. 2023. Т. 12, № 1. С. 48–56. DOI: 10.55355/snv2023121108.

11. Мусабекова С. А., Стоян А. О., Мхитарян К. Э. Краниометрические аспекты судебно-медицинской идентификации населения Казахстана // Судебно-медицинская экспертиза. 2023. Т. 66, № 3. С. 24–28. DOI: 10.17116/sudmed20236603124.

12. Гайворонский И. В., Соловьев К. В., Кириллова М. П. Краниоскопические и краниометрические характеристики мозгового черепа взрослого человека в норме и при деформациях // Морфология. 2025. Т. 163, № 4. С. 339–352. DOI: 10.17816/morph.677566.

13. De Lima A., Torres Martínez M. M., Duarte J. M. B., et. al. Craniometric differentiation suggests disruptive selection on body size among sympatric brocket deer // Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy. 2024. DOI: 10.4404/hystrix-00721-2024.

14. Фирсова Э. В. Оценка изменений экстерьерных показателей самок северных оленей ненецкой породы Мурманской области // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 2. С. 51–56. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_51.

15. Фирсова Э. В. Особенности роста и развития молодняка северных оленей ненецкой породы в условиях Мурманской области // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39, № 5. С. 59–64. DOI: 10.53859/02352451_2025_39_6_59.

Об авторе:

Эмилия Викторовна Фирсова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Мурманская государственная сельскохозяйственная опытная станция – филиал Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова, п. Молочный, Мурманская область, Россия; ORCID 0000-0002-7688-6528, AuthorID 620603.

E-mail: research-station@yandex.ru

References

1. Kryazhkov V. A. Reindeer breeding as a type of traditional economic activity of indigenous small-numbered peoples of the North, Siberia and the Far East of the Russian Federation: legal aspect. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Law*. 2024; 2 (57): 84–96. DOI: 10.17308/law/1995-5502/2024/2/84-96. (In Russ.)

2. Loginov V. G. Reindeer herding as a key branch of the traditional economy and lifeway of the Arctic indigenous peoples. *Arctic: Ecology and Economy*. 2025; 15 (3): 42–54. DOI: 10.25283/2223-4594-2025-3-42-54. (In Russ.)

3. Yuzhakov A. A., Layshev K. A., Mukhachev A. D. Weight and linear growth of the skeleton of domestic reindeer of the Nenets breed. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2023; 3: 224–236. DOI: 10.52419/issn2072-2419.2023.3.224. (In Russ.)

4. Koshkina O. A., Kharzinova V. R., Zinovieva N. A. Analysis of phylogenetic relationships of populations of the Nenets breed of reindeer, based on the system of polymorphism of complete mitochondrial genomes analysis. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2023; 37 (9): 93–101. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_9_93. (In Russ.)

5. Firsova E. V. Exterior assessment of male reindeer of the Nenets breed under the conditions of the Murmansk region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2024; 38 (2): 53–57. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_2_53. (In Russ.)

6. Svishcheva G. R., Semina M. T., Konorov E. A., et al. Study of correlations and genetic associations of body measurements in female reindeer (*Rangifer tarandus*) of the Nenets breed. *Uspekhi Sovremennoi Biologii*. 2023; 143 (5): 454–465. DOI: 10.31857/S0042132423050095. (In Russ.)
7. Trukhachev V. I., Boronetskaya O. I., Ostapchuk A. M., et al. The craniological collection of the Museum of Animal Husbandry named after E. F. Liskun, as an object of study of morphological, genetic and zootechnical features of cattle breeds. *Agrarian Science*. 2023; 3: 22–31. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-368-3-22-31. (In Russ.)
8. Romanenko T. M., Vylko Yu. P. Craniological characteristic of reindeer (*Rangifer tarandus*) of Nenets of Timan and Bolshezemelskaya tundra of Nenets AO. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2019; 12: 110–114. DOI: 10.17513/mjpf.12964. (In Russ.)
9. Chueva A., Gelashvili D., Yakimov V., et al. Comprehensive craniological analysis of geographically remote muskrat populations (*Ondatra zibethicus* Linnaeus, 1766). *Principles of the Ecology*. 2020; 1: 121–35. DOI: 10.15393/jl.art.2020.9342. (In Russ.)
10. Klimova A. S., Sirotina M. V. Features of craniological signs of *Myodes glareolus* Schreber in the Kostroma region. *Samara Journal of Science*. 2023; 12 (1): 48–56. DOI: 10.55355/snv2023121108. (In Russ.)
11. Musabekova S. A., Stoyan A. O., Mkhitarian K. E. Craniometric aspects of forensic identification of the Kazakhstan population. *Forensic Medical Expertise*. 2023; 66 (3): 24–28. DOI: 10.17116/sudmed20236603124. (In Russ.)
12. Gayvoronskiy I. V., Solovyev K. V., Kirillova M. P. Cranioscopic and craniometric characteristics of the adult neurocranium in normal and deformed states. *Morphology*. 2025; 163 (4): 339–352. DOI: 10.17816/morph.677566. (In Russ.)
13. De Lima A., Torres Martínez M. M., Duarte J. M. B., et al. Craniometric differentiation suggests disruptive selection on body size among sympatric brocket deer. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*. 2024. DOI: 10.4404/hystrix-00721-2024.
14. Firsova E. V. Evaluation of changes in the exterior indicators of reindeer doe of the Nenets breed in the Murmansk region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2023; 37 (2): 51–56. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_2_51. (In Russ.)
15. Firsova E. V. Peculiarities of growth and development of young reindeer of the Nenets breed under the conditions of the Murmansk region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2025; 39 (6): 59–64. DOI: 10.53859/02352451_2025_39_6_59. (In Russ.)

Author's information:

Emiliya V. Firsova, candidate of agricultural sciences, senior researcher, Murmansk State Agricultural Experimental Station – Branch of the Federal Research Center, All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov (VIR), Molochnyy settlement, Murmansk region, Russia, ORCID 0000-0002-7688-6528, AuthorID 620603. E-mail: research-station@yandex.ru

Оценка качества и информативности показателей признаков при формировании селекционного индекса красных молочных пород крупного рогатого скота

А. П. Шевчук[✉], Т. А. Князева

Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, п. Лесные Поляны, Московская область, Россия

[✉]E-mail: vniiplem.kras@outlook.com

Аннотация. Надежность селекционного индекса определяется качеством исходных данных племенного учета и обоснованностью выбора признаков, включаемых в его структуру. **Цель** работы – оценить качество и информативность показателей хозяйственно полезных признаков красных молочных пород крупного рогатого скота для их последующего отбора к включению в комплексный селекционный индекс. **Методология и методы.** Материалом послужил массив из 43 987 записей по 18 061 корове 16 племенных хозяйств (ИАС «Селэкс. Молочный скот», годы рождения 2011–2024, лактации с 1 по 5). По 17 признакам молочной продуктивности, воспроизводства и здоровья вымени проведен описательный статистический анализ, выявлены выбросы по биологическому и статистическому (границы Тьюки) критериям, осуществлено логарифмическое преобразование для стабилизации дисперсии и корреляционный анализ по Пирсону; обработка выполнена в среде R. **Научная новизна.** Впервые для популяции красных пород проведена комплексная проверка структуры и качества первичных данных племенного учета как самостоятельный этап, предшествующий конструированию индекса: с количественной оценкой доли биологически недостоверных записей по каждому признаку и обоснованием отбора показателей по критериям информативности и отсутствия избыточности. **Результаты.** Показатели признаков воспроизводства и содержания соматических клеток в молоке характеризуются выраженной правосторонней асимметрией (коэффициент до 2,48) и высокой долей выбросов, которые для возраста 1-го осеменения достигают 48 %; биологическая фильтрация снижала асимметрию до диапазона 0,1–1,0. Продуктивные признаки показали устойчивое распределение, близкое к нормальному, и взаимную избыточность ($r = 0,94 \dots 0,96$): в индекс целесообразно включать один из этих признаков. Линейная зависимость межотельного интервала от сервис-периода ($r = 0,997$) исключает их одновременное использование. Содержание соматических клеток и индекс осеменения показали слабую связь с остальными признаками, что повышает их ценность как самостоятельных компонентов индекса.

Ключевые слова: селекционный индекс, красные породы, красная степная, молочный скот, качество данных, информативность признаков, воспроизводительные качества, соматические клетки, биологическая фильтрация, корреляционный анализ, племенной учет

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (тема № 082-00066-26-00 на 2026 год от 26 января 2026 г.).

Для цитирования: Шевчук А. П., Князева Т. А. Оценка качества и информативности признаков при формировании селекционного индекса красных молочных пород КРС // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1769–1782. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1769-1782>.

Дата поступления статьи: 19.06.2026, **дата рецензирования:** 06.07.2026, **дата принятия:** 20.07.2026.

Assessment of trait quality and informativeness for constructing a selection index in red dairy cattle breeds

A. P. Shevchuk✉, T. A. Knyazeva

All-Russian Research Institute of Animal Breeding, Lesnye Polyany settlement, Moscow region, Russia

✉E-mail: vniiplek.kras@outlook.com

Abstract. The reliability of a selection index depends directly on the quality of the underlying herd-recording data and on the soundness of the traits chosen for its structure. **The purpose** of the study was to assess the quality and informativeness of economically important traits in red dairy cattle breeds in order to select indicators suitable for inclusion in a multi-trait selection index. **Methodology and methods.** The dataset comprised 43 987 records from 18 061 cows across 16 breeding farms (Selex Dairy Cattle herd-management information system; birth years 2011–2024; lactations one through five). Seventeen traits of milk production, reproduction, and udder health were subjected to descriptive statistical analysis, outlier detection by biological and statistical (Tukey fences) criteria, log-transformation for variance stabilisation, and Pearson correlation analysis; all processing was carried out in the R environment. **Scientific novelty.** For the first time in a red-breed population, an end-to-end audit of the structure and quality of primary herd-recording data was performed as a distinct stage preceding index construction, with quantification of the proportion of biologically implausible records for each trait and justification of trait selection by the criteria of informativeness and non-redundancy. **Results.** Reproductive traits and somatic cell count were found to exhibit pronounced positive (right) skewness (coefficient up to 2.48) and a high proportion of outliers, reaching 48 % for age at first conception; biological filtering reduced skewness to the 0.1–1.0 range. Production traits showed stable, near-normal distributions and mutual redundancy ($r = 0.94 \dots 0.96$), making it appropriate to include only one of them in the index. The near-perfect linear dependence between days open and calving interval ($r = 0.997$) precludes their simultaneous use. Somatic cell count and number of services showed weak associations with the other traits, which enhances their value as independent components of the index.

Keywords: selection index, red breeds, Red Steppe, dairy cattle, data quality, trait informativeness, reproductive performance, somatic cell count, biological filtering, correlation analysis, herd recording

Acknowledgements. This study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (topic No. 082-00066-26-00 on 2026 from 26th January 2026).

For citation: Shevchuk A. P., Knyazeva T. A. Assessment of trait quality and informativeness for constructing a selection index in red dairy cattle breeds. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): C. 1769–1782. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1769-1782>. (In Russ.)

Date of paper submission: 19.06.2026, **date of review:** 06.07.2026, **date of acceptance:** 20.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Эффективность селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве определяется не только выбором статистического метода оценки генетического потенциала, но и качеством первичной информации. Переход отечественной системы оценки к методологии BLUP и комплексным селекционным индексам, закрепленный решениями Коллегии Евразийской экономической комиссии [1], существенно расширил перечень учитываемых признаков: к традиционным показателям молочной продуктивности (удой, выход молочного жира и белка) добавлены воспроизводительные качества и характеристика здоровья вымени, прежде всего содержание соматических клеток [1; 2]. Подобное расширение целевой функции отбора соответствует мировой практике, где комплексные индексы (немецкий RZG, североευропейский NTM, амери-

канские TPI и NM\$, канадский LPI) интегрируют продуктивные, функциональные, экстерьерные и репродуктивные субиндексы [2; 3].

Воспроизводительные показатели, возрастные характеристики и интервалы между технологическими событиями регистрируют в хозяйствах вручную, нередко с разной степенью полноты и достоверности [4]. Международные рекомендации по генетической оценке (ICAR, INTERBULL) прямо указывают на необходимость предварительного контроля логической непротиворечивости данных, выявления биологически невозможных значений и количественной оценки качества записей до начала расчетов [5; 6]. Игнорирование этого этапа ведет к смещению дисперсионных компонентов, искажению генетических корреляций и, как следствие, к некорректному ранжированию животных.

Дополнительную сложность создает сама структура взаимосвязей между признаками. Часть показателей дублирует друг друга по информационному содержанию (например, абсолютный выход компонентов молока тесно связан с удоем), часть связана определением (сервис-период и межотельный интервал), а между продуктивностью и воспроизводством существует известный физиологический антагонизм, многократно отмеченный в исследованиях [7–9]. Включение в индекс избыточных или функционально зависимых признаков не повышает точность оценки, но усложняет интерпретацию весовых коэффициентов и может приводить к двойному учету одной и той же биологической информации.

Для красных молочных пород, разведение которых в России до настоящего времени велось преимущественно по отдельным признакам без применения принципов индексной селекции, задача предварительной оценки качества и информативности исходных данных приобретает особую актуальность [10; 11]. Прежде чем конструировать комплексный индекс, необходимо установить, какие признаки обладают достаточной достоверностью регистрации, какова доля биологически недостоверных записей по каждому из них, насколько устойчивы распределения показателей и в какой мере они дублируют друг друга по информационному содержанию.

Целью настоящего исследования является оценка качества и информативности хозяйственно полезных признаков красных молочных пород крупного рогатого скота для отбора показателей, пригодных к включению в структуру комплексного селекционного индекса.

Методология и методы исследования (Methods)

В исследовании использованы данные 16 племенных хозяйств, полученные из информационно-аналитической системы «Селэкс. Молочный скот». Общий объем выборки составил 43 987 записей, сформированных по 18 061 корове (включая как живых, так и выбывших животных) с датой рождения в период с 2011 по 2024 годы. В анализ включены записи по лактациям с первой по пятую.

Структура выборки охватывала показатели молочной продуктивности, воспроизводства и технологические характеристики. Объем доступных наблюдений варьировал по признакам и составлял: для сервис-периода 43 954 наблюдения, сухостойного периода – 36 825, межотельного интервала – 25 820, продолжительности стельности – 25 820, возраста при отеле – 43 987, возраста первого осеменения – 43 987, возраста результативного осеменения – 25 820, интервала от отела до первого осеменения – 43 987, количества осеменений – 43 987, содержания соматических клеток – 651, легкости отела – 43 987, номера лактации – 43 987, удоя –

43 987, массовой доли жира – 43 987, выхода молочного жира – 43 987, массовой доли белка – 43 280, выхода молочного белка – 43 280.

Средние значения основных признаков и их стандартное отклонение составили: сервис-период – 129,1 дня (SD = 86,81 дня), сухостойный период – 58,9 дня (SD = 12,14 дня), межотельный интервал – 402,6 дня (SD = 81,74 дня), продолжительность стельности – 276,6 (SD = 17,31 дня). Возраст при первом отеле составил 43,4 месяца (SD = 19,06 месяца), возраст первого осеменения – 34,4 месяца (SD = 19 месяцев), возраст плодотворного осеменения – 45,3 месяца (SD = 17,52 месяца). Интервал от отела до первого осеменения составил в среднем 115,5 дня (SD = 95,12 дня). Среднее количество осеменений – 1,8 (SD = 1,25).

Показатели удоя составили в среднем 6762,1 кг (SD = 1591,72 кг), массовая доля жира – 4,18 % (SD = 0,33 %), выход молочного жира – 282,9 кг (SD = 72,33 кг), массовая доля белка – 3,30 % (SD = 0,23 %), выход молочного белка – 225,6 кг (SD = 61,43 кг). Среднее содержание соматических клеток составило 378 тыс/мл (SD = 229 тыс/мл). Легкость отела характеризовалась средним значением 1,6 балла (SD = 0,99 балла).

Распределение большинства признаков характеризовалось выраженной положительной асимметрией, особенно для показателей воспроизводства и содержания соматических клеток в молоке (коэффициент асимметрии до 2,47 и выше), что отражало наличие экстремальных значений в исходных данных. Для показателей продолжительности стельности отмечалась отрицательная асимметрия.

Методология и методы исследования (Methods)

Исходные данные импортировали в среду R в текстовом формате с учетом кодировки и десятичного разделителя. Все переменные первоначально загружали как символьные с последующим приведением к соответствующим типам данных. Даты технологических событий (отел, осеменение, запуск, первое осеменение в лактации) преобразовывали в формат даты. Числовые признаки очищали от некорректных значений (пустые строки, служебные обозначения пропусков, нечисловые символы) и приводили к числовому типу.

Для количественных признаков задавали биологически допустимые диапазоны: сервис-период – 40–300 дней, сухостойный период – 30–90 дней, межотельный интервал – 300–600 дней, продолжительность стельности – 260–295 дней, возраст при отеле – 20–60 месяцев, возраст первого осеменения – 13–30 месяцев, возраст плодотворного осеменения – 14–60 месяцев, интервал до первого осеменения – 30–300 дней, индекс осеменения – 1–6, содержание соматических клеток – 10 000–3 000 000 кл/мл, легкость отела – 1–5 баллов, номер лактации – 1–5, удой – 2500–13 000 кг,

массовая доля жира – 3,2–5,1 %, выход молочного жира – 100–600 кг, массовая доля белка – 2,8–3,8 %, выход молочного белка – 100–400 кг. Значения за пределами указанных диапазонов заменяли пропущенными.

Для оценки качества данных дополнительно формировали индикаторы выбросов и рассчитывали долю исключенных наблюдений по каждому признаку. Пропущенные значения не заполняли, все расчеты выполняли на основе доступных наблюдений.

Для показателя содержания соматических клеток применяли корректировку: значения менее 100 кл/мл исключали, а значения 100–2000 интерпретировали как представленные в тысячах и умножали на 1000.

Распределения признаков анализировали с использованием гистограмм и диаграмм размаха. Рассчитывали основные описательные статистики (среднее, стандартное отклонение, медиана, квар-

тили, минимальные и максимальные значения). Вариабельность оценивали по стандартному отклонению и межквартильному размаху, асимметрию – по коэффициенту асимметрии и расхождению между средним и медианой.

Выбросы определяли по двум критериям: биологическому (выход за установленные диапазоны) и статистическому (границы $Q1 - 1,5 \cdot IQR$ и $Q3 + 1,5 \cdot IQR$). Для исходных данных сохраняли флаги выбросов и рассчитывали их долю.

Для снижения асимметрии и стабилизации дисперсии применяли логарифмическое преобразование $\log(x)$. Исходные данные при этом сохраняли и использовали для интерпретации результатов.

Линейные взаимосвязи между признаками оценивали с использованием коэффициента корреляции Пирсона на основе попарно доступных наблюдений. Результаты представляли в виде корреляционной матрицы с визуализацией интенсивности связей.

Таблица 1
Характеристика признаков до биологической очистки

Признак	Количество наблюдений	Среднее значение	Стандартное отклонение	Медиана	Минимум	Максимум	Асимметрия
Продолжительность сервис-периода, дни	43 954	129,2	86,8	105	2	1 405	2,47
Межотельный интервал, дни	25 820	402,6	81,7	381	164	1 664	2,48
Продолжительность стельности, дни	25 820	276,6	17,3	280	2	785	–6,22
Возраст плодотворного осеменения, мес.	43 987	34,4	19,0	30	3	165	1,34
Количество осеменений	43 987	1,80	1,25	1	0	15	2,32
Количество соматических клеток, тыс.	651	385	230	337	2	1 670	2,25
Удой, кг	43 987	6 762	1592	6618	814	15 552	0,35
Доля жира, %	43 985	4,18	0,33	4,14	3,0	6,8	0,6
Доля белка, %	43 280	3,30	0,23	3,24	0	5,68	2,28

Table 1
Characteristics of traits before biological data editing

Trait	Number of observations	Mean value	Standard deviation	Median	Min	Max	Skew
Duration of service period, days	43 954	129.2	86.8	105	2	1 405	2.47
Calving interval, days	25 820	402.6	81.7	381	164	1 664	2.48
Duration of pregnancy, days	25 820	276.6	17.3	280	2	785	–6.22
Age at first conception, months	43 987	34.4	19.0	30	3	165	1.34
Number of inseminations	43 987	1.80	1.25	1	0	15	2.32
Somatic cell count, thousand	651	385	230	337	2	1 670	2.25
Milk yield, kg	43 987	6 762	1592	6618	814	15 552	0.35
Fat, %	43 985	4.18	0.33	4.14	3.0	6.8	0.6
Protein, %	43 280	3.30	0.23	3.24	0	5.68	2.28

Таблица 2

Характеристика признаков после биологической очистки

Признак	Количество наблюдений	Среднее значение	Стандартное отклонение	Медиана	Минимум	Максимум	Асимметрия
Продолжительность сервис-периода, дни	41 804	116,5	60,8	101	20	300	0,91
Межотельный интервал, дни	24 906	394,8	62,0	379	300	600	1,04
Продолжительность стельности, дни	22 711	280,3	5,7	281	260	295	–0,57
Возраст плодотворного осеменения, мес.	22 859	20,5	5,5	19	12	30	0,27
Количество осеменений	43 535	1,74	1,09	1	1	6	1,67
Количество соматических клеток, тыс.	640	392	226	340	102	1 670	2,4
Удой, кг	43 873	6 768	1 571	6 621	2 509	12 991	0,36
Доля жира, %	43 715	4,17	0,32	4,14	3,21	5,10	0,32
Доля белка, %	41 572	3,28	0,17	3,23	2,80	3,80	1,17

Biology and biotechnologies

Table 2

Characteristics of traits after biological data editing

Trait	Number of observations	Mean value	Standard deviation	Median	Min	Max	Skew
Duration of service period, days	41 804	116.5	60.8	101	20	300	0.91
Calving interval, days	24 906	394.8	62.0	379	300	600	1.04
Duration of pregnancy, days	22 711	280.3	5.7	281	260	295	–0.57
Age at first conception, months	22 859	20.5	5.5	19	12	30	0.27
Number of inseminations	43 535	1.74	1.09	1	1	6	1.67
Somatic cell count, thousand	640	392	226	340	102	1 670	2.4
Milk yield, kg	43 873	6 768	1 571	6 621	2 509	12 991	0.36
Fat, %	43 715	4.17	0.32	4.14	3.21	5.10	0.32
Protein, %	41 572	3.28	0.17	3.23	2.80	3.80	1.17

Результаты (Results)

Большинство изученных признаков характеризуется выраженной положительной асимметрией и высоким уровнем вариабельности (таблица 1). Наиболее заметно асимметрия выражена у показателей воспроизводства: сервис-периода (2,47), межотельного интервала (2,48), интервала от отела до первого осеменения (1,90), индекса осеменения (2,32). Высокая асимметрия отмечена и для содержания соматических клеток в молоке (2,25), среди показателей которых присутствует значительное число экстремально высоких значений.

Распределение продолжительности стельности отличалось выраженной отрицательной асимметрией (–6,22), что указывает на наличие некорректных или экстремальных значений в исходных данных. Аналогичные искажения наблюдались для признаков возраста и других показателей, таких как легкость отела и номер лактации.

Доля значений, выходящих за биологически допустимые пределы, существенно различалась между признаками (таблица 3). Наибольший уро-

вень выбросов выявлен для возраста первого осеменения (48,03 %), интервала от отела до первого осеменения (19,65 %), возраста при первом отеле (17,21 %) и возраста плодотворного осеменения (17,13 %), что указывает на систематические отклонения или неоднородность исходных данных по этим признакам. У признака «продолжительность стельности» доля исключенных значений составила 12,04 %, преимущественно за счет нижних границ. У большинства продуктивных признаков доля выбросов была незначительной и не превышала 4 %.

Особого внимания требуют показатели, характеризующие возраст и интервал от отела до осеменения: для них выявлена высокая доля выбросов. Наибольшее отклонение у возраста первого осеменения (48,03 %): практически половина наблюдений выходила за пределы биологически допустимого диапазона. Значительная доля выбросов зафиксирована также для возраста при первом отеле (17,21 %), возраста результативного осеменения (17,13 %) и интервала от отела до первого осеменения (19,65 %). Структура выбросов асимметрична:

для возраста первого осеменения и возраста при первом отеле основная часть исключенных значений приходилась на верхнюю границу – это возможно, когда большинство животных с существенной задержкой развития или имеются ошибки регистрации данных. Для интервала до первого осеменения значительная доля выбросов пришлась на нижнюю границу (15,04 %): здесь возможны как некорректная фиксация дат, так и случаи раннего осеменения, не соответствующие физиологическим нормам.

Высокая доля исключенных значений по этим признакам означает: исходные данные неоднородны, и для дальнейшего анализа требуется биологическая фильтрация.

После фильтрации распределение большинства признаков существенно нормализовалось. Коэффициент асимметрии снизился до диапазона 0,1–1,0 для большинства признаков: экстремальные наблюдения стали влиять заметно меньше. Для сервис-периода асимметрия снизилась с 2,47 до 0,91, для межотельного интервала – с 2,48 до 1,04, для интервала от отела до первого осеменения – с 1,90 до 0,84.

После устранения экстремальных значений показателя «продолжительность стельности» распределение нормализовалось (коэффициент асимметрии – 0,57), стандартное отклонение в среднем снизилось с 17,31 до 5,75 дня.

Таблица 3
Доля значений, исключенных при биологической фильтрации

Признак	Обрезка слева, %	Обрезка справа, %	Всего, %
Сервис-период, дни	0,228	4,664	4,891
Сухостойный период, дни	1,13	2,376	3,506
Межотельный интервал, дни	0,662	2,878	3,54
Продолжительность стельности, дни	11,143	0,899	12,041
Возраст первого отела, мес.	0,073	17,137	17,21
Возраст плодотворного осеменения, дни	0,155	47,878	48,032
Возраст первого осеменения, мес.	0	17,134	17,134
Дней до первого осеменения	15,039	4,615	19,654
Индекс осеменения	0,025	1,003	1,028
Количество соматических клеток, тыс.	1,69	0	1,69
Легкость отелов	0	1,485	1,485
Номер лактации	0	2,899	2,899
Удой, кг	0,202	0,057	0,259
Массовая доля жира, %	0,018	0,596	0,614
Выход молочного жира, кг	0,166	0,061	0,227
Массовая доля белка, %	0,014	3,933	3,946
Выход молочного белка, кг	0,628	0,691	1,319

Table 3
Proportion of records excluded during biological filtering

Trait	Lower trim, %	Upper trim, %	Total, %
Service period, days	0.228	4.664	4.891
Dry period, days	1.13	2.376	3.506
Calving interval, days	0.662	2.878	3.54
Duration of pregnancy, days	11.143	0.899	12.041
Age at first calving, months	0.073	17.137	17.21
Age at fruitful insemination, days	0.155	47.878	48.032
Age at first insemination, days	0	17.134	17.134
Days to first insemination	15.039	4.615	19.654
Insemination index	0.025	1.003	1.028
Somatic cell count, thousands	1.69	0	1.69
Calving ease	0	1.485	1.485
Lactation number	0	2.899	2.899
Milk yield, kg	0.202	0.057	0.259
Fat content, %	0.018	0.596	0.614
Fat yield, kg	0.166	0.061	0.227
Protein content, %	0.014	3.933	3.946
Protein yield, kg	0.628	0.691	1.319

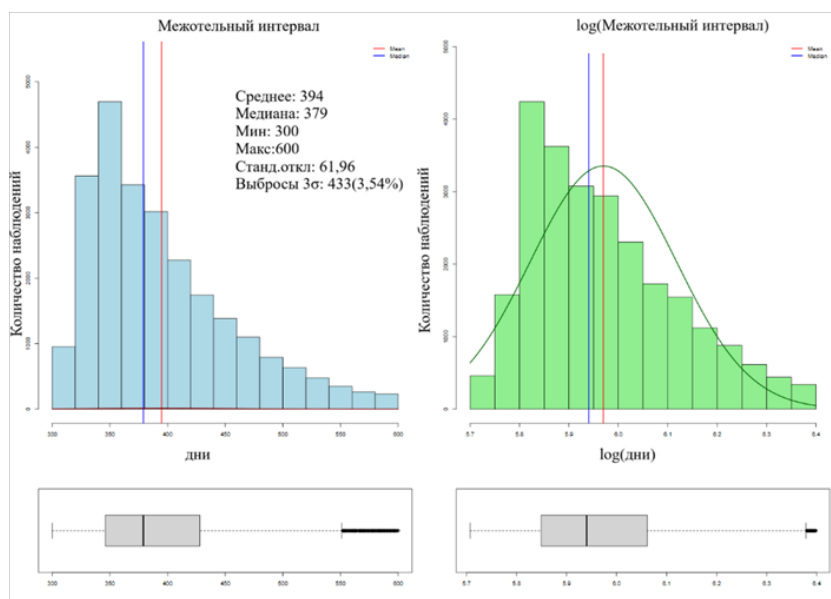


Рис. 1. Сравнение распределений межотельного интервала до и после логарифмирования

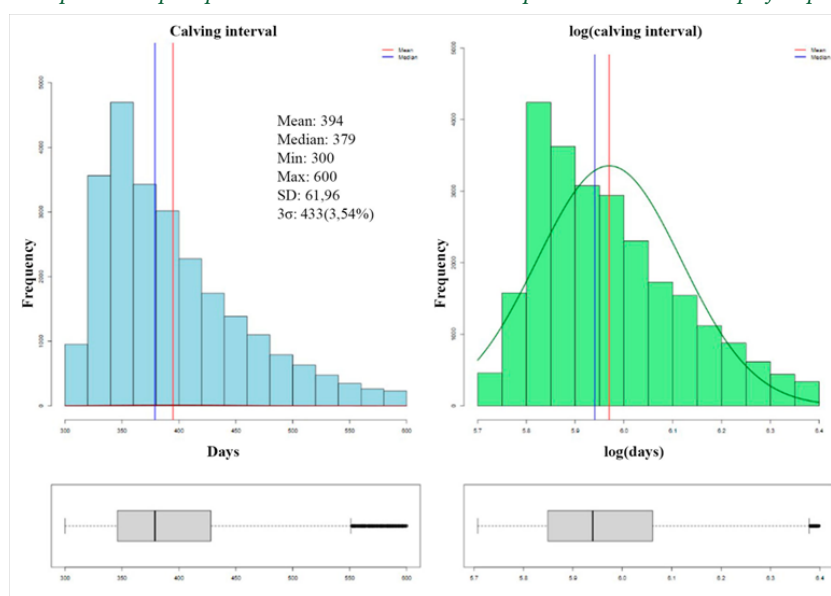


Fig. 1. Distribution of calving interval before and after log-transformation

Продуктивные признаки (удой, выход жира и белка) изначально были близки к нормальному распределению (асимметрия меньше 0,6), и очистка данных эту структуру практически не изменила.

Несмотря на фильтрацию, для отдельных признаков (содержание соматических клеток, число осеменений) сохраняется умеренная положительная асимметрия, обусловленная биологической природой показателей [12].

После исключения значений, выходящих за биологически допустимые границы, выполнен анализ распределений признаков на основе гистограмм и диаграмм размаха для исходных и логарифмированных данных.

Для признаков воспроизводства исходные распределения сохраняют правостороннюю асим-

метрию: наблюдаются концентрация значений в нижней части диапазона и вытянутая граница распределения вправо. После логарифмирования распределения становятся более симметричными, уменьшается длина правого распределения, значения уплотняются в центральной части. На диаграммах размаха это проявляется сокращением количества крайних точек и уменьшением длины линии диапазона значений.

Наиболее заметный эффект логарифмирования наблюдается для признака «дни от отела до первого осеменения»: исходное распределение сильно растянуто, с выраженной правой границей распределения, тогда как после преобразования распределение становится компактнее, а медиана смещается ближе к центру распределения (рис. 2).

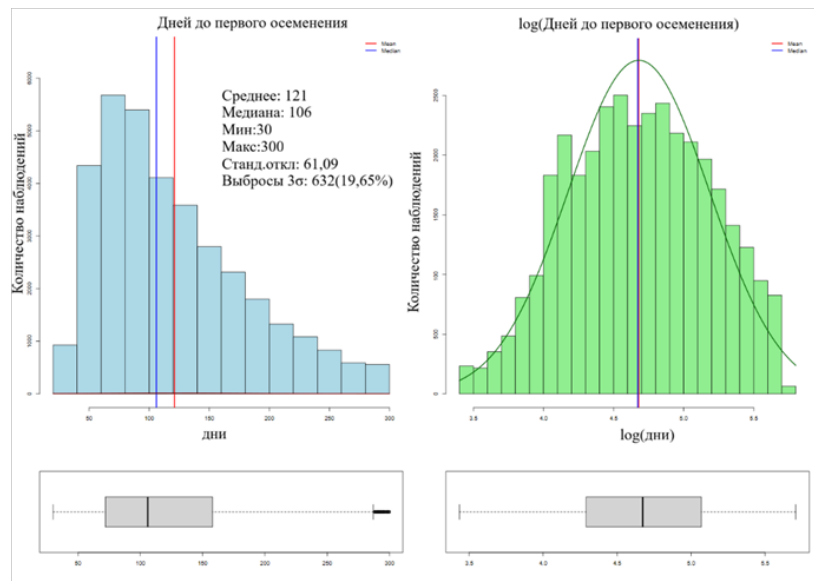


Рис. 2. Сравнение распределений дней до первого осеменения до и после логарифмирования

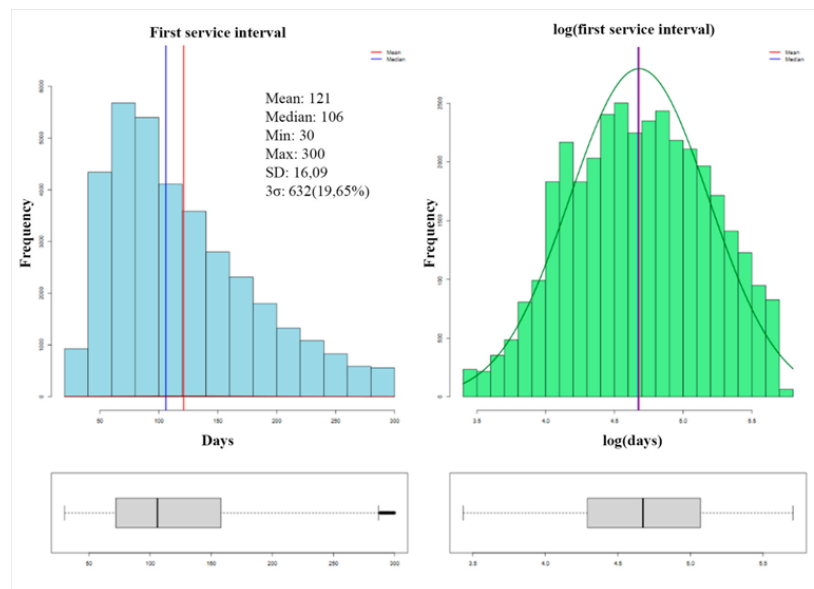


Fig. 2. Distribution of interval to first service before and after log-transformation

Для содержания соматических клеток исходное распределение имеет резко выраженную асимметрию с большим разбросом значений (рис. 3). Логарифмирование существенно изменяет форму распределения: уменьшается разброс, снижается влияние отдельных экстремальных значений, структура становится более равномерной.

Для признаков возраста при первом отеле и возраста результативного осеменения исходные распределения были близки к симметричным (рис. 4). Логарифмирование изменило форму распределения незначительно и не привело к заметному улучшению структуры. Это демонстрируют диаграммы размаха: положение медианы и длина линии диапазона значений практически не меняются.

Продуктивные признаки (удой, выход молочного жира и молочного белка) изначально характеризуются слабой асимметрией и относительно равно-

мерным распределением. После логарифмирования форма распределения мало меняется и остается близкой к исходной. Массовая доля жира и белка распределены компактно, с небольшим разбросом и ограниченным диапазоном значений: логарифмирование не дает заметных изменений структуры.

В матрицу парных корреляций включены восемь признаков, рассматриваемых как непосредственные кандидаты на включение в селекционный индекс. Признаки, применявшиеся только для контроля качества данных, и признаки, дублирующие включенные по информационному содержанию, в основную матрицу не вошли (таблица 4).

Взаимосвязи между продуктивными показателями устойчивы независимо от преобразования данных. Между показателями молочной продуктивности выявлены высокие положительные связи.

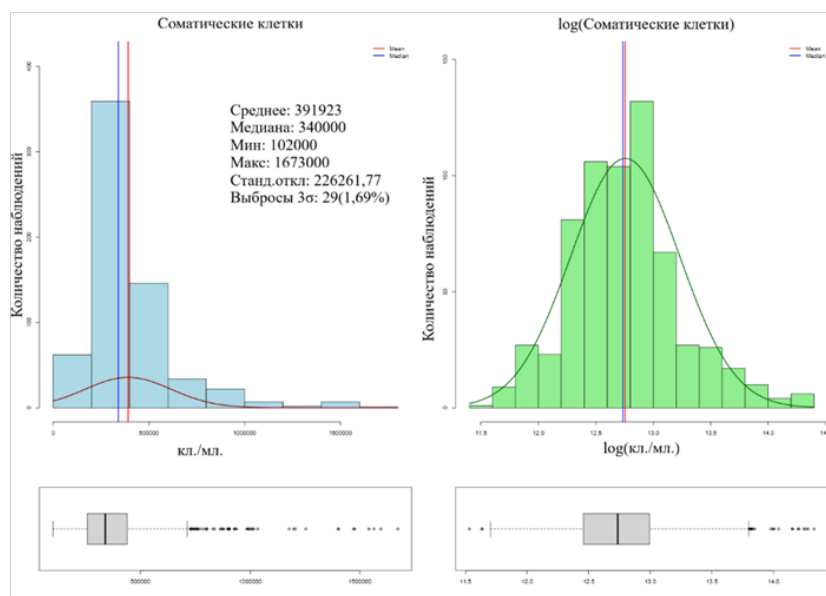


Рис. 3. Распределение признака содержание соматических клеток до и после логарифмирования

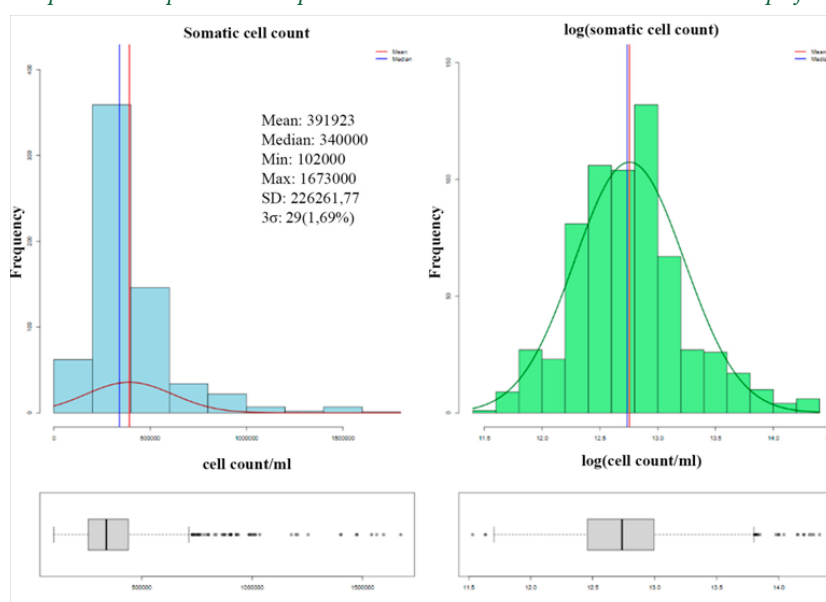


Fig. 3. Distribution of somatic cell count before and after log-transformation

Удой тесно связан с выходом молочного жира ($r = 0,956$) и выходом молочного белка ($r = 0,956$). Показатели выхода молочного жира и молочного белка сильно коррелируют между собой: $r = 0,936$.

Связь между продуктивными и воспроизводственными признаками выражена слабее. Удой имеет умеренную положительную связь с сервис-периодом ($r = 0,271$) и межотельным интервалом ($r = 0,261$). Сравнимые значения получены для показателей выхода молочного жира и молочного белка с продолжительностью сервис-периода и межотельного интервала ($r \approx 0,23...0,25$), что означает, что высокая продуктивность приводит к удлинению межотельного периода.

Между сервис-периодом и межотельным интервалом установлена линейная связь ($r = 0,997$), отражающая прямую зависимость этих признаков.

Возраст первого плодотворного осеменения слабо связан с продуктивными признаками ($r \approx 0,18...0,23$) и умеренно – с индексом осеменения ($r = 0,414$), что приводит к увеличению возраста наступления стельности при увеличении числа осеменений.

Содержание соматических клеток в молоке слабо связано с продуктивностью ($r \approx 0,13...0,21$); с воспроизводственными признаками связь слабая отрицательная (с сервис-периодом $r = -0,104$; межотельным интервалом $r = -0,109$). Число осеменений на оплодотворение не связано с продуктивными признаками ($r < 0,08$). Наблюдается слабая положительная связь этого показателя с воспроизводительными качествами ($r \approx 0,12$) и умеренная – с возрастом первого плодотворного осеменения ($r = 0,414$).

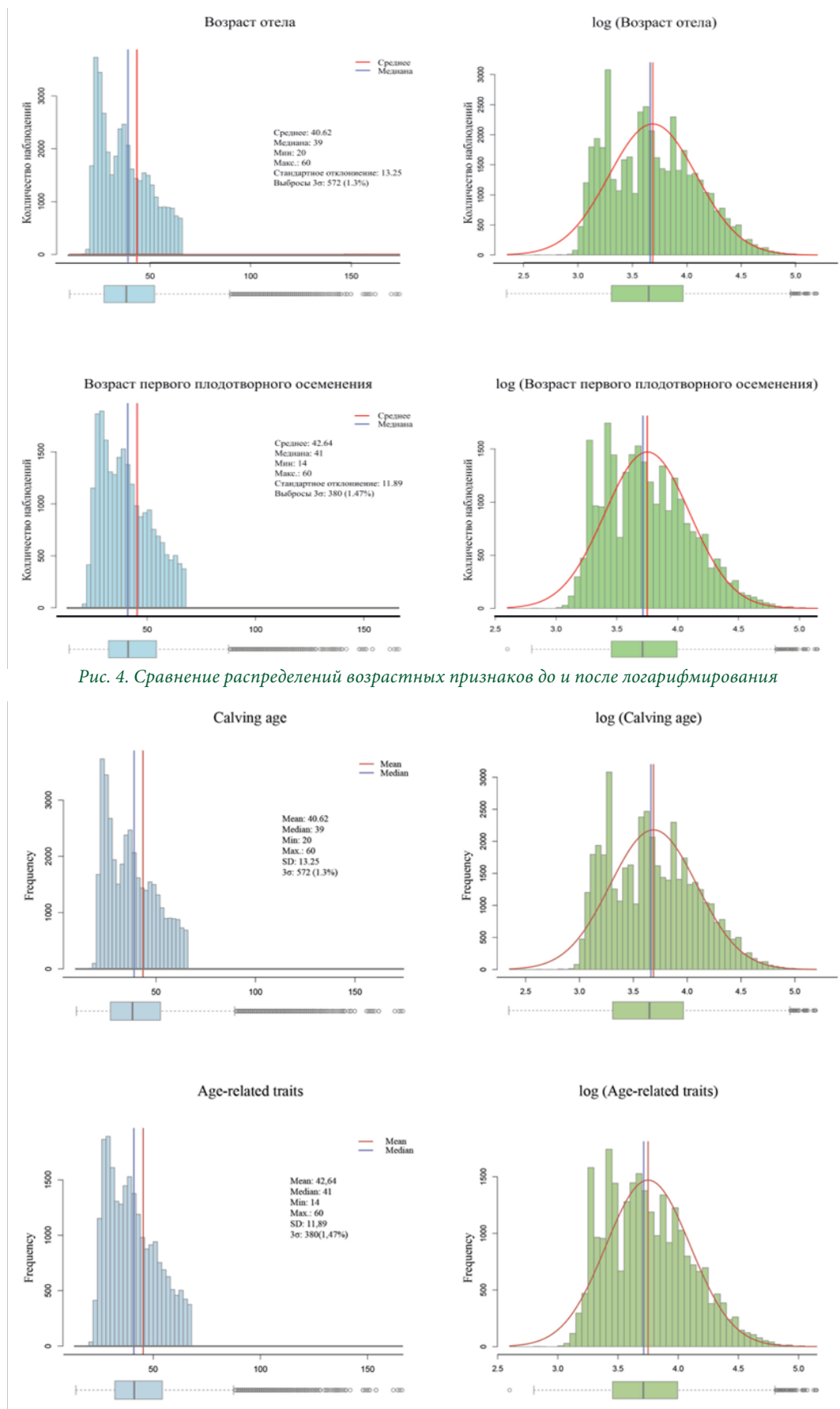


Рис. 4. Сравнение распределений возрастных признаков до и после логарифмирования

Fig. 4. Distribution of age-related traits before and after log-transformation

Таблица 4

Матрица парных корреляций признаков после биологической фильтрации

	1. Удой, кг	2. Выход жира, кг	3. Выход белка, кг	4. Сервис-период, дни	5. Межотельный интервал, дни	6. Возраст первого плодотворного осеменения, мес.	7. Соматические клетки, тыс. кл/мл	8. Кратность осеменения
1. Удой, кг	1	0,956	0,956	0,271	0,261	0,213	0,129	0,055
2. Выход жира, кг	0,956	1	0,936	0,253	0,247	0,176	0,128	0,018
3. Выход белка, кг	0,956	0,936	1	0,240	0,230	0,229	0,208	0,074
4. Сервис-период, дни	0,271	0,253	0,240	1	0,997	0,171	-0,104	0,117
5. Межотельный интервал, дни	0,261	0,247	0,230	0,997	1	0,173	-0,109	0,125
6. Возраст первого плодотворного осеменения, мес.	0,213	0,176	0,229	0,171	0,173	1	0,148	0,414
7. Соматические клетки, тыс. кл/мл	0,129	0,128	0,208	-0,104	-0,109	0,148	1	0,052
8. Кратность осеменения	0,055	0,018	0,074	0,117	0,125	0,414	0,052	1

Table 4

Matrix of pairwise trait correlations after biological filtering

	1. Milk yield, kg	2. Fat yield, kg	3. Protein yield, kg	4. Service period, days	5. Calving interval, days	6. Age at first conception, months	7. Somatic cell count, thousand cells/ml	8. Conception rate (services per conception)
1. Milk yield, kg	1	0.956	0.956	0.271	0.261	0.213	0.129	0.055
2. Fat yield, kg	0.956	1	0.936	0.253	0.247	0.176	0.128	0.018
3. Protein yield, kg	0.956	0.936	1	0.240	0.230	0.229	0.208	0.074
4. Service period, days	0.271	0.253	0.240	1	0.997	0.171	-0.104	0.117
5. Calving interval, days	0.261	0.247	0.230	0.997	1	0.173	-0.109	0.125
6. Age at first conception, months	0.213	0.176	0.229	0.171	0.173	1	0.148	0.414
7. Somatic cell count, thousand cells/ml	0.129	0.128	0.208	-0.104	-0.109	0.148	1	0.052
8. Conception rate (services per conception)	0.055	0.018	0.074	0.117	0.125	0.414	0.052	1

Результаты анализа распределений, доли выбросов и структуры взаимосвязи между признаками легли в основу оценки пригодности их показателей для построения селекционного индекса.

Распределение продуктивных признаков – удоя, выхода молочного жира и молочного белка – характеризуется как стабильное, с низкой долей выбросов и высокой согласованностью показателей между собой ($r = 0,94 \dots 0,96$). Отмечается как высокая информативность, так и высокая избыточность, а потому включение всех трех показателей в индекс дублирует информацию. Значит, при формировании индекса достаточно учитывать или удой, или один из компонентных показателей.

Между сервис-периодом и межотельным интервалом связь практически линейная ($r = 0,997$) – увеличение сервис-периода удлиняет межотельный интервал. Считаем, что одновременно их использо-

вать в индексе нецелесообразно, один из признаков можно взять как производный показатель.

Показатели воспроизводства (сервис-период, межотельный интервал, число дней от отела до первого осеменения) отличаются высокой вариабельностью и выраженной асимметрией исходных распределений. После фильтрации эти признаки сохраняют вариативность и могут быть использованы как характеристика воспроизводительной функции (при условии строгого контроля качества данных) [4; 6].

Содержание соматических клеток в молоке отличается устойчивой положительной асимметрией и сравнительно слабой связью с продуктивными и воспроизводственными признаками. Это указывает на независимый характер изменчивости показателей рассматриваемого признака, его избыточность по отношению к продуктивным и воспроизводительным признакам. Это делает содержание

соматических клеток потенциально ценным дополнительным компонентом индекса, вносящим самостоятельную информацию, не дублируемую другими показателями.

Признак «число осеменений» проявляет умеренную связь с возрастом плодотворного осеменения ($r = 0,41$) и слабую связь с остальными признаками, что позволяет рассматривать этот показатель как отдельный индикатор эффективности воспроизводства.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате проведенных исследований установлено, что качество первичных записей в базе данных красных молочных пород оказалось крайне неоднородным по группам признаков, и эту неоднородность нельзя игнорировать при построении индекса. Если по удою и компонентам молока доля недостоверных значений не достигает 1 %, то по возрасту первого осеменения исключается почти половина выборки. Два признака, одинаково важные для селекционной цели, имеют несопоставимую надежность исходных данных, что является проблемой, которую прежняя оценка только по удою позволяла не замечать.

Особенно показательны признаки воспроизводства. Их низкая наследуемость хорошо известна. Так, J. Seo и J. Lee для корейской популяции голштинской породы получили оценки наследуемости репродуктивных признаков в пределах 0,007–0,035, то есть почти вся фенотипическая изменчивость этих признаков формируется под влиянием среды [4].

В. J. Hayes и J. E. Pryce подчеркивают, что при низкой наследуемости селекционируемых признаков точность племенной оценки в первую очередь зависит не от модели, а от объема и корректности фенотипических записей [8]. Отсюда следует важный вывод: для признаков с низкой наследуемостью ошибки регистрации более влиятельны, чем для высоконаследуемых признаков.

Показатель наследуемости удою ($h^2 \approx 0,3$) означает, что большая доля фенотипической изменчивости признака имеет аддитивно-генетическую природу и ошибки учета нивелируются. Каждая некорректная дата осеменения напрямую искажает оценку, так как сервис-период и индекс осеменения имеют низкую генетическую компоненту в общей дисперсии.

Отмеченные нами 48 % выбросов по возрасту первого осеменения и 19 % по интервалу от отела до

первого осеменения – это не дефект записей базы, а фактор, способный обнулить и без того слабый генетический сигнал репродуктивных признаков.

Преимущественно односторонний характер выбросов (основная их часть для возраста первого осеменения и возраста при первом отеле – на верхней границе, для интервала от отела до первого осеменения – на нижней) указывает не на случайные технические ошибки, а на систематические искажения: запоздалую фиксацию событий в хозяйствах либо чрезмерно раннее осеменение. Это относится к практике ручного ввода репродуктивных данных операторами на местах, на уязвимость которой прямо указывают рекомендации ICAR и Interbull [5; 6]. Систематический сдвиг показателей не усредняется при увеличении выборки, а при попадании в модель направленно смещает оценку.

Что касается содержания количества соматических клеток в молоке, то, несмотря на ценные свойства этого признака (информационную независимость от продуктивности и показателей воспроизводства), выводы по нему основываются всего на 651 записи против почти 44 000 по остальным показателям. Это менее 1,5 % выборки. Переносить заключение о качестве данных по количеству соматических клеток на всю популяцию красных пород пока преждевременно. Скудость данных по количеству соматических клеток в молоке – отдельная проблема племенного учета в стадах молочного скота, где систематический контроль здоровья вымени еще не осуществляется. Прежде чем включать показатель количества соматических клеток в индекс, потребуется накопить репрезентативный массив измерений.

Таким образом, полученные результаты задают конкретный порядок действий при подготовке фенотипических данных красных пород к индексной оценке. Рекомендуем разнести признаки по уровню доверия: показатели продуктивности пригодны к расчетам почти без потерь; показатели воспроизводительных признаков требуют обязательной биологической фильтрации относительно с физиологическими границами; содержание соматических клеток в молоке требует накопления данных. Такой дифференцированный подход к качеству записей предпочтительнее, чем единообразная обработка показателей всех признаков, участвующих при формировании селекционного индекса.

Библиографический список

1. Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 22 августа 2023 г. № 125 «О внесении изменений в Методику оценки племенной ценности крупного рогатого скота молочного направления продуктивности» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.eaeunion.org/documents/414/7601> (дата обращения: 16.06.2026).
2. Cole J. B. Evolution of selection objectives in dairy cattle breeding // Journal of Dairy Science. 2023. Vol. 106, No. 4. Pp. 2345–2356. DOI: 10.3168/jds.2022-22381.

3. Miglior F., Muir B. L., Van Doormaal B. J. Modern total merit indices in dairy breeding // *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104, No. 2. Pp. 1476–1489. DOI: 10.3168/jds.2020-18769.
4. Seo J., Lee J. Estimation of genetic parameters for reproductive traits in Korean dairy cattle // *Animal Bioscience*. 2024. Vol. 38, No. 1. Pp. 12–22. DOI: 10.5713/ab.24.0432.
5. Guidelines for dairy cattle genetic evaluation: ICAR Technical Series. Rome: International Committee for Animal Recording, 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.icar.org/Guidelines/09-Dairy-Cattle-Genetic-Evaluation.pdf> (дата обращения: 05.06.2026).
6. Egger-Danner C., Simianer H., Cole J. B. International gaps in genomic evaluation of dairy cattle // *Interbull Bulletin*. 2022. No. 61. Pp. 15–28.
7. Weller J. I., Gershoni M., Ezra E. Breeding dairy cattle for female fertility and production in the age of genomics // *Veterinary Sciences*. 2022. Vol. 9, No. 8. Pp. 434. DOI: 10.3390/vetsci9080434.
8. Hayes B. J., Pryce J. E. Prediction accuracy under selection in dairy cattle // *Animal Genetics*. 2022. Vol. 53, No. 2. Pp. 165–176. DOI: 10.1111/age.13168.
9. Захарова Л. Н. Оценка коров-первотелок красной степной породы по показателям молочной продуктивности и живой массы в условиях Якутии // *Главный зоотехник*. 2021. № 6. С. 35–43. DOI: 10.33920/sel-03-2106-05.
10. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Разработка унифицированной программы расчета племенной ценности крупного рогатого скота молочного и мясного направлений продуктивности: отчет о НИР [Электронный ресурс]. Москва, 2023. URL: <https://eec.eaeunion.org/upload/iblock/64f/OTCHET.pdf> (дата обращения: 05.06.2026).
11. Сермягин А. А., Белоус А. А., Контэ А. Ф. [и др.]. Валидация геномного прогноза племенной ценности быков-производителей по признакам молочной продуктивности дочерей на примере популяции черно-пестрого и голштинского скота // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55, № 2. С. 257–268. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.2.257rus.
12. Pralle R. S., White H. M. Symposium review: Big data, machine learning, and digital phenotyping in dairy cattle research and management // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103, No. 4. Pp. 3702–3713. DOI: 10.3168/jds.2019-17228.
13. Тусупов О. К., Алтухова Н. С., Харитонов С. Н. Племенная ценность [Электронный ресурс] // *Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал*. 2023. URL: <https://bigenc.ru/c/plemennaia-tsennost-9baee2> (дата обращения: 05.06.2026).
14. Berry D. P. Invited review: Incorporating resilience traits in dairy cattle selection // *Animal*. 2022. Vol. 16, Suppl. 2. Article number 100395. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100395.
15. Сермягин А. А. Племенная оценка скота как основа животноводства [Электронный ресурс] // *Аграрные новости*. 2024. № 3. URL: <https://agri-news.ru/zhurnal/2024/3-2024/voprosy-plemennoy-otsenki/> (дата обращения: 05.06.2026).

Об авторах:

Арсений Павлович Шевчук, научный сотрудник лаборатории разведения отечественных и зарубежных пород скота, Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, п. Лесные Поляны, Московская область, Россия; ORCID 0009-0002-7257-3097, AuthorID 1197315.

E-mail: vniiplem.kras@outlook.com

Татьяна Александровна Князева, ведущий научный сотрудник лаборатории разведения отечественных и зарубежных пород скота, Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела, п. Лесные Поляны, Московская область, Россия; ORCID 0000-0003-3022-9538, AuthorID 626830.

E-mail: red-step@mail.ru

References

1. *Decision of the Board of the Eurasian Economic Commission of 22 August 2023 No. 125 “On amendments to the Methodology for assessing the breeding value of dairy cattle”* [Internet]. Available from: <https://docs.eaeunion.org/documents/414/7601> (cited 2026 Jun 16). (In Russ.)
2. Cole J. B. Evolution of selection objectives in dairy cattle breeding. *Journal of Dairy Science*. 2023; 106 (4): 2345–2356. DOI: 10.3168/jds.2022-22381.
3. Miglior F., Muir B. L., Van Doormaal B. J. Modern total merit indices in dairy breeding. *Journal of Dairy Science*. 2021; 104 (2): 1476–1489. DOI: 10.3168/jds.2020-18769.
4. Seo J., Lee J. Estimation of genetic parameters for reproductive traits in Korean dairy cattle. *Animal Bioscience*. 2024; 38 (1): 12–22. DOI: 10.5713/ab.24.0432.

5. *Guidelines for dairy cattle genetic evaluation: ICAR Technical Series* [Internet]. Rome: International Committee for Animal Recording, 2023 [cited 2026 Jun 05]. Available from: <https://www.icar.org/Guidelines/09-Dairy-Cattle-Genetic-Evaluation.pdf>.
6. Egger-Danner C., Simianer H., Cole J. B. International gaps in genomic evaluation of dairy cattle. *Interbull Bulletin*. 2022; 61: 15–28.
7. Weller J. I., Gershoni M., Ezra E. Breeding dairy cattle for female fertility and production in the age of genomics. *Veterinary Sciences*. 2022; 9 (8): 434. DOI: 10.3390/vetsci9080434.
8. Hayes B. J., Pryce J. E. Prediction accuracy under selection in dairy cattle. *Animal Genetics*. 2022; 53 (2): 165–176. DOI: 10.1111/age.13168.
9. Zakharova L. N. Evaluation of first-calf heifers of Red Steppe breed by indicators of milk productivity and live weight under the environments of Yakutia. *Head of Animal Breeding*. 2021; 6: 35–43. DOI: 10.33920/sel-03-2106-05. (In Russ.)
10. *Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Development of a unified program for calculating the breeding value of dairy and beef cattle: research report* [Internet]. Moscow, 2023 [cited 2026 Jun 05]. Available from: <https://eccc.eaunion.org/upload/iblock/64f/OTCHET.pdf>. (In Russ.)
11. Sermyagin A. A., Belous A. A., Konte A. F., et al. Validation of genomic prediction of breeding value of sires for daughters' milk production traits in the population of Black-and-White and Holstein cattle. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2020; 55 (2): 257–268. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.2.257eng. (In Russ.)
12. Pralle R. S., White H. M. Symposium review: Big data, machine learning, and digital phenotyping in dairy cattle research and management. *Journal of Dairy Science*. 2020; 103 (4): 3702–3713. DOI: 10.3168/jds.2019-17228.
13. Tusupov O. K., Altukhova N. S., Kharitonov S. N. Breeding value. *Great Russian Encyclopedia: scientific and educational portal* [Internet]. 2023 [cited 2026 Jun 05]. Available from: <https://bigenc.ru/c/plemennaia-tsennost-9baee2>. (In Russ.)
14. Berry D. P. Invited review: Incorporating resilience traits in dairy cattle selection. *Animal*. 2022; 16 (2): 100395. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100395.
15. Sermyagin A. A. Breeding evaluation of cattle as the basis of animal husbandry. *Agrarnye Novosti* [Internet]. 2024 [cited 2026 Jun 05]; 3. Available from: <https://agri-news.ru/zhurnal/2024/3-2024/voprosy-plemennoy-otsenki>. (In Russ.)

Authors' information:

Arseniy P. Shevchuk, researcher of the laboratory for breeding red breeds of cattle, All-Russian Scientific Research Institute of Breeding, Lesnye Polyany settlement, Moscow region, Russia;
ORCID 0009-0002-7257-3097, AuthorID 1197315. *E-mail*: vniiplem.kras@outlook.com

Tatyana A. Knyazeva, leading researcher of the laboratory for breeding red breeds of cattle, All-Russian Scientific Research Institute of Breeding, Lesnye Polyany settlement, Moscow region, Russia;
ORCID 0000-0003-3022-9538, AuthorID 626830. *E-mail*: red-step@mail.ru

Интеллектуальные технологии в аграрном секторе стран БРИКС+: факторы влияния и прогноз развития

О. Т. Ергунова[✉], Е. Г. Киселева, А. Г. Сомов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

[✉]E-mail: ergunova_ot@spbstu.ru

Аннотация. В статье исследуются особенности цифровой трансформации аграрного сектора в странах БРИКС с акцентом на внедрение автоматизации, интеллектуальных систем и технологий искусственного интеллекта. **Цель** исследования – выявление ключевых факторов, определяющих цифровое технологическое развитие аграрного хозяйства в странах БРИКС, а также прогнозирование уровня цифровизации сельского хозяйства. **Методы.** Методологической основой научной работы послужил сравнительный анализ статистических данных, метод многокритериальной оценки показателей CRITIC, метод линейной экстраполяции. **Результаты.** В ходе исследования установлено, что уровень цифрового развития сельского хозяйства стран БРИКС более всего зависит от степени проникновения ИКТ, уровня инвестиций в исследования и разработки, а также уровня цифровой грамотности работников. Выявлены существенные различия в уровне технологической готовности стран: Китай и Бразилия опережают другие страны по внедрению точного земледелия (15,3 % и 13,5 % сельскохозяйственных площадей соответственно), тогда как Эфиопия (менее 1 %) значительно отстает. Результаты прогноза свидетельствуют об устойчивом росте инвестиций в цифровую инфраструктуру, усилении зависимости продуктивности сельского хозяйства от уровня технологического развития и формировании негативных предпосылок на углубление цифрового неравенства. **Научная новизна** исследования заключается в эмпирическом обосновании специфики влияния структурных, инвестиционных и образовательных факторов на цифровизацию сельскохозяйственной отрасли стран БРИКС+, в обосновании неоднородности механизмов цифровой трансформации аграрного сектора в условиях различий в уровне технологической готовности и институционального развития стран стратегического альянса. Результаты исследования могут быть использованы при разработке государственной политики в сфере агротехнологий, а также в формировании международных программ научно-технического сотрудничества стратегического альянса стран БРИКС+. В перспективе целесообразно исследование социально-экономических последствий цифровизации в сельском хозяйстве за счет расширения базы статистических показателей и моделирования адаптивных стратегий преодоления цифровых дисбалансов.

Ключевые слова: цифровые технологии, интеллектуальные технологии, сельское хозяйство, прогнозирование, аграрный сектор, страны БРИКС, инновации

Для цитирования: Ергунова О. Т., Киселева Е. Г., Сомов А. Г. Интеллектуальные технологии в аграрном секторе стран БРИКС+: факторы влияния и прогноз развития // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1783–1803. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1783-1803>.

Дата поступления статьи: 07.08.2025, **дата рецензирования:** 22.04.2026, **дата принятия:** 05.06.2026.

Adoption of intelligent technologies in the BRICS+ agricultural sector: determinants and forecasts

O. T. Ergunova✉, E. G. Kiseleva, A. G. Somov

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

✉E-mail: ergunova_ot@spbstu.ru

Abstract. Paper examines the digital transformation of the agricultural sector in BRICS+ countries, focusing on the adoption of automation, intelligent systems, and artificial intelligence technologies. **The purpose** of the study is to identify the key determinants of agricultural digitalization in BRICS+ economies and to assess future development trends. **Methods.** The research methodology integrates comparative analysis of cross-country statistical data, the CRITIC multi-criteria weighting method, and trend-based linear extrapolation. This approach enables the identification of dominant drivers of digital transformation and the evaluation of their prospective dynamics.

Results. The findings demonstrate that the level of agricultural digital development in BRICS+ countries is primarily influenced by ICT penetration, investment in research and development, and the digital literacy of the agricultural workforce. Significant heterogeneity in technological readiness is observed: China and Brazil lead in the adoption of precision agriculture, covering 15.3 % and 13.5 % of agricultural land, respectively, while Ethiopia remains substantially behind, with adoption rates below 1 %. Forecast results indicate a sustained increase in investments in digital infrastructure, a growing dependence of agricultural productivity on technological advancement, and the emergence of structural conditions that may intensify digital inequality across BRICS+ countries. **The scientific novelty** of the study lies in the empirical identification of differentiated structural, investment, and human capital drivers of agricultural digitalization, as well as in revealing heterogeneous transformation mechanisms under varying levels of technological readiness and institutional development within the BRICS+ framework. The results may inform public policy design in agrotechnology and support international scientific and technological cooperation initiatives.

Keywords: digital technologies, intelligent technologies, agriculture, forecasting, agricultural sector, BRICS countries, innovations

For citation: Ergunova O. T., Kiseleva E. G., Somov A. G. Adoption of intelligent technologies in the BRICS+ agricultural sector: determinants and forecasts. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1783–1803. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1783-1803>. (In Russ.)

Date of paper submission: 07.08.2025, **date of review:** 22.04.2026 **date of acceptance:** 05.06.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Цифровизация и интеллектуальные технологии становятся неотъемлемой частью трансформации агропромышленного комплекса в странах БРИКС+. Инновационные решения, включающие искусственный интеллект, анализ больших данных, автоматизированные системы управления и роботизированные технологии существенно меняют структуру сельскохозяйственного производства. Эти изменения направлены на повышение продуктивности, оптимизацию ресурсов и снижение негативного влияния на окружающую среду. Однако уровень внедрения передовых технологий среди стран БРИКС+ остается неравномерным, что обусловлено различиями в инфраструктуре, инвестиционной активности и государственной поддержке. Несмотря на активное развитие цифровых решений в сельском хозяйстве, остаются пробелы в понимании долгосрочных последствий их внедрения и факторов, влияющих на эффективность цифро-

вой трансформации аграрного сектора. Различия в уровнях механизации, доступе к цифровой инфраструктуре и инвестициях в исследования и разработки формируют неоднородную картину развития, требующую детального анализа. К примеру, Китай и Бразилия демонстрируют высокий уровень точного земледелия, тогда как Индия, Южная Африка и Эфиопия значительно отстают по внедрению автоматизированных и цифровых технологий.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью определения ключевых факторов, влияющих на цифровую трансформацию сельского хозяйства стран БРИКС+, а также разработки прогноза их дальнейшего развития с учетом глобальных технологических тенденций. Вопрос о влиянии цифровизации на устойчивое развитие аграрного сектора остается открытым, так как цифровые технологии могут не только повысить эффективность производства, но и привести к росту цифрового неравенства между регионами. В этом контексте воз-

никает необходимость в моделировании сценариев развития и оценке возможных рисков и возможностей. Исследование направлено на изучение взаимосвязи между цифровыми и интеллектуальными технологиями и их влиянием на производственные процессы в сельском хозяйстве стран БРИКС+. В качестве основы используются анализ текущего уровня цифровизации, выявление факторов, способствующих внедрению новых технологий или сдерживающих их, а также прогнозирование динамики технологического развития на основе статистических данных и эконометрических моделей. Ожидается, что полученные результаты позволят определить перспективные направления для государственной политики и частных инвестиций, способствующие ускоренной цифровой трансформации аграрного сектора.

Основной исследовательский вопрос заключается в том, какие факторы определяют уровень цифровизации сельского хозяйства в странах БРИКС и каким образом они будут влиять на дальнейшую трансформацию отрасли. Гипотеза исследования предполагает, что цифровые и интеллектуальные технологии способствуют повышению эффективности агропромышленного комплекса, однако степень их влияния зависит от уровня государственной поддержки, доступности инфраструктуры и готовности кадрового потенциала к работе с инновационными решениями.

В литературе выделяется несколько ключевых направлений анализа, включая влияние инновационных технологий, инвестиции в устойчивое развитие, роль цифровой трансформации и влияние геополитических факторов на сельское хозяйство стран БРИКС. Одним из важнейших аспектов исследования является анализ применения инновационных технологий в аграрном секторе. Согласно О. В. Сальниковой и Л. В. Рожковой, развитие цифровых решений и автоматизированных систем в сельском хозяйстве способствует повышению производительности и снижению затрат [1]. Исследование подчеркивает, что среди стран БРИКС наблюдаются различия в уровнях технологического внедрения, что обусловлено разной степенью государственной поддержки и финансирования инноваций.

Так, авторы статьи [2] указывают, что внедрение роботизации позволит повысить производительность труда, снизить затраты, улучшить качество продукции и сделать сельскохозяйственный труд более привлекательным. Помимо этого, не вызывает сомнений, что переход к роботизации и искусственному интеллекту (ИИ) является частью глобального тренда развития цифровой роботизации в большинстве стран БРИКС, а скорость перехода к индустриализации 5.0 в этих странах будет существенно зависеть от государственной поддержки. Говоря о неоспоримых преимуществах цифрови-

зации и ИИ, важно отметить, что российские ученые считают, что применение, например, умных беспилотных комбайнов в аграрной деятельности способно минимизировать ошибки операторов и сократить затраты на топливо и техническое обслуживание [3; 4].

Важную роль в формировании прогнозов играют вопрос международного сотрудничества и торговли, а также влияние устойчивого развития на аграрный сектор. А. К. Морозкина и В. Ю. Скрыбина рассматривают перспективы расширения торговых отношений стран БРИКС с наименее развитыми странами, подчеркивая значимость координации аграрной политики в рамках международных организаций [5]. В этом контексте стратегические инициативы БРИКС могут способствовать углублению интеграции цифровых технологий в агропромышленный комплекс. Роль биотехнологий в условиях декарбонизации экономики рассматривается в исследовании С. В. Ратнера и А. В. Синельниковой [6]. Они отмечают, что развитие сельского хозяйства в странах БРИКС тесно связано с экологическими инициативами, что требует внедрения передовых методов точного земледелия и управления природными ресурсами. В свою очередь, Н. А. Шеламова подчеркивает важность стратегического управления продовольственной безопасностью, где цифровые технологии могут играть ключевую роль в прогнозировании урожайности и оптимизации логистических цепочек [7].

О. А. Кубасова и Н. А. Лавров анализируют динамику вклада стран БРИКС в мировое сельскохозяйственное производство, подчеркивая значительное влияние технологического прогресса на конкурентоспособность агропромышленного сектора [8]. Их выводы подтверждаются исследованием Н. П. Ворониной, в котором цифровая трансформация рассматривается как ключевой драйвер развития сельскохозяйственной кооперации, способствующий повышению эффективности сельхозпроизводства и минимизации рисков [9]. Аспекты устойчивого развития и барьеры для внедрения цифровых технологий в сельском хозяйстве стран БРИКС детально рассматриваются в работе Н. Ю. Нестеренко [10]. Автор выделяет основные препятствия, включая низкую степень цифровой инфраструктуры в ряде регионов, нехватку квалифицированных кадров и финансовые ограничения на внедрение интеллектуальных решений. Исследование В. А. Лаврентьева, Л. В. Лаврентьевой и Ч. А. Сахедовой анализирует влияние геополитического кризиса на экономическое развитие стран БРИКС, в том числе на их аграрный сектор [11]. В этой связи цифровизация сельского хозяйства рассматривается как стратегический механизм для повышения экономической устойчивости.

Зарубежные авторы, исследуя преимущества цифровизации и искусственного интеллекта в сельском хозяйстве стран БРИКС, акцентируют внимание на их влиянии на продовольственную безопасность, повышение качества продуктов питания и снижение загрязнения окружающей среды. Так, в работе F. Pallottino с соавторами рассматриваются перспективы применения генеративного искусственного интеллекта в сельском хозяйстве [12]. Авторы подчеркивают, что высокоточные технологии позволяют контролировать состояние почвы, оптимизировать внесение удобрений и предсказывать урожайность, что ведет к улучшению качества сельскохозяйственной продукции и снижению потерь. Исследование T. Alka с коллегами анализирует уровень внедрения технологий точного земледелия среди сельскохозяйственных предпринимателей [13]. Подчеркивается, что цифровой контроль на всех этапах агропроизводства способствует более эффективному использованию природных ресурсов, минимизации потерь и сокращению воздействия сельского хозяйства на окружающую среду. В работе E. Jiaduo с соавторами изучается влияние технологических инноваций на агроэкологию и устойчивое развитие [14]. Авторы делают вывод о необходимости баланса между технологическим прогрессом и сохранением окружающей среды, указывая на важность регуляторных механизмов и стимулирования экологически чистого производства. Исследование T. Dutta с коллегами посвящено анализу проблем продовольственного самообеспечения и борьбы с голодом в странах БРИКС [15]. Авторы рассматривают взаимосвязь между развитием устойчивого сельского хозяйства и внедрением цифровых решений для оптимизации агропроизводства, указывая на потенциал цифровых технологий в снижении неравенства в доступе к продовольствию.

В работе T. M. Vorozheykina с соавторами рассматривается концепция умного сельского хозяйства как элемента современной экономической и экологической системы [16]. Авторы анализируют влияние цифровых технологий на сельскохозяйственную кооперацию, повышение производительности и снижение экологической нагрузки, делая акцент на необходимости государственной поддержки цифровой трансформации аграрного сектора.

Прогнозирование уровня развития цифровых и интеллектуальных технологий в сельском хозяйстве стран БРИКС+ является ключевой задачей для оценки перспектив аграрного сектора в условиях глобальной цифровой трансформации. Современные исследования указывают на растущую роль искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения (МО) и интернета вещей (IoT) в повышении эффективности сельскохозяйственного производства,

снижении издержек и минимизации воздействия на окружающую среду [17,18]. Актуальные тенденции цифровизации включают развитие точного земледелия, автоматизированного мониторинга почвы, прогнозирования урожайности и управления водными ресурсами с использованием ИИ. Исследования M. Wang с коллегами подтверждают, что применение искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяет анализировать большие массивы данных, полученных с датчиков, спутниковых снимков и дронов, что ведет к повышению точности прогнозов и снижению потерь урожая [19]. Аналогичные выводы сделаны M. Zhu с соавторами, которые исследовали влияние МО и ИНС на улучшение механизмов выявления заболеваний растений, автоматизацию контроля над фитосанитарным состоянием и прогнозирование климатических изменений [20].

В последние годы значительное внимание уделяется прогнозированию урожайности и анализу качества почвы с использованием ИИ. H. Li с коллегами показали, что алгоритмы глубокого обучения повышают точность моделей предсказания урожайности более чем на 20 % по сравнению с традиционными методами [21]. В свою очередь, H. Jiang с соавторами изучили потенциал МО в борьбе с вредителями и разработке адаптивных к климату методов ведения сельского хозяйства, отмечая значительное снижение затрат на пестициды благодаря предсказательному анализу [22].

Цифровизация аграрного сектора в странах БРИКС+ идет неравномерно, что во многом связано с уровнем развития инфраструктуры и государственной поддержкой. Исследования J. Tang с коллегами демонстрируют, что Китай и Бразилия являются лидерами в применении ИИ для управления водными ресурсами и оптимизации ирригационных систем, что позволяет значительно сократить расход воды в сельском хозяйстве [23]. Китайские программы, направленные на развитие умного сельского хозяйства, такие как проект «Цифровое сельское хозяйство», уже включают масштабное внедрение IoT-устройств и машинного обучения для мониторинга состояния почвы и сельскохозяйственных культур [24]. В то же время в Индии и России цифровая трансформация сельского хозяйства развивается с меньшей скоростью, что обусловлено нехваткой инвестиций и недостаточной цифровой грамотностью сельского населения [25]. Помимо растениеводства, технологии ИИ активно внедряются в животноводстве, однако их распространение происходит медленнее. Несмотря на активное внедрение цифровых технологий, остается ряд вызовов, ограничивающих их распространение. Проблемы конфиденциальности данных, нехватка специалистов в области ИИ и высокий уровень первоначальных инвестиций являются ключевыми барьерами для цифровизации сельского хозяйства в

странах БРИКС [26]. Однако, согласно прогнозам, к 2035 году ожидается значительное увеличение доли точного земледелия, расширение использования ИИ в аграрных процессах и внедрение автоматизированных систем управления сельхозпредприятиями, что обеспечит устойчивое развитие сельского хозяйства в долгосрочной перспективе [27; 28].

Таким образом, зарубежные исследования подтверждают ключевую роль цифровых и интеллектуальных технологий в развитии сельского хозяйства стран БРИКС, подчеркивая их значимость для обеспечения продовольственной безопасности, повышения качества продукции, минимизации экологических рисков и формирования устойчивых агропромышленных систем.

Тренд на развитие цифровых и роботизированных технологий в странах БРИКС можно наблюдать, основываясь на статистических данных Всемирного банка. Как видно из рис. 1, постоянный темп роста добавленной стоимости в сельском хозяйстве имеют Китай, Россия и Бразилия. В Индии, Эфиопии и ЮАР в 2023 году при продолжительной положительной динамике наблюдалось небольшое

снижение. Приведенный в диаграмме показатель добавленной стоимости косвенно отражает уровень технологического развития в сельском хозяйстве, поскольку рост производительности через увеличение добавленной стоимости может свидетельствовать о внедрении новых технологий и улучшении методов производства.

С учетом всего вышеперечисленного интересным представляется исследование долгосрочности технологических трендов в сельском хозяйстве посредством построения моделей прогнозирования на основе исторических данных статистических показателей, которые позволят не только выявить основные факторы и условия, влияющие на устойчивость инновационных решений, но и принять обоснованные стратегические решения, направленные на повышение конкурентоспособности и эффективности аграрного сектора в долгосрочной перспективе.

Методология и методы исследования (Methods)

Основная цель разработки методики – создание системы показателей, позволяющей проводить анализ текущего состояния технологического развития аграрного сектора и прогнозировать его динамику.

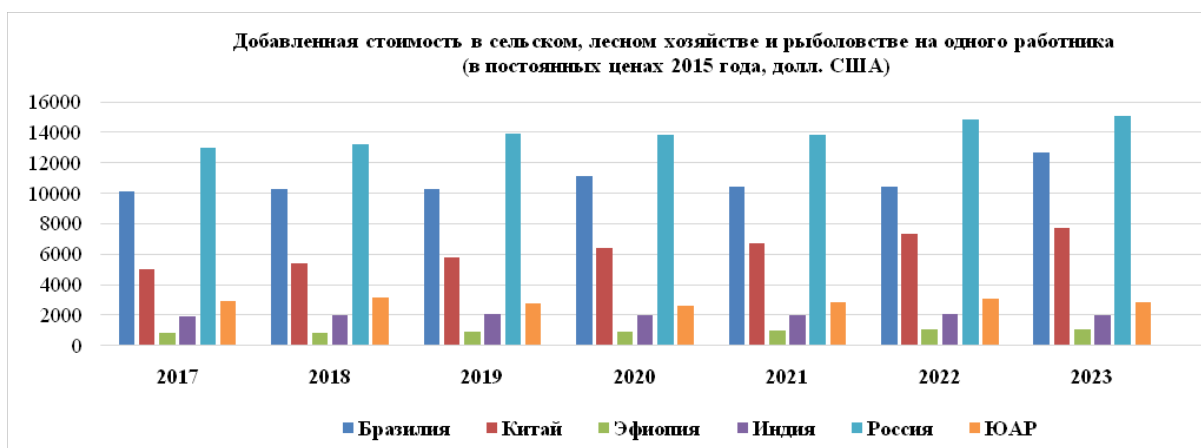


Рис. 1. Динамика добавленной стоимости в сельском, лесном хозяйстве и рыболовстве на одного работника по странам БРИКС
Источник: составлено авторами на основе [29; 30]

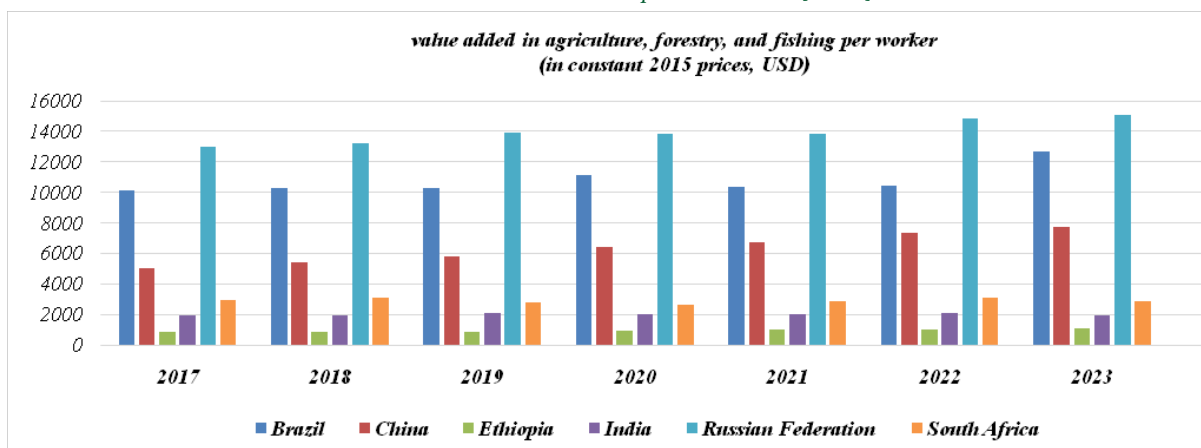


Fig. 1. Dynamics of value added in agriculture, forestry, and fishing per worker in BRICS countries
Source: compiled by the authors based on [29; 30]

Отбор параметров в систему показателей основывается на следующих принципах:

- комплексность – учет различных аспектов цифровизации (инфраструктура, механизация, инновационная активность, социальные и экономические факторы);
- актуальность – использование показателей, которые наиболее полно отражают уровень технологического развития сельского хозяйства на этапе Индустрии 5.0;
- доступность данных – предпочтение параметров, доступных в открытых источниках;
- сравнительная применимость – возможность использования параметров для анализа и прогнозирования на уровне стран, регионов и в сравнении между государствами БРИКС;
- прогностическая ценность – учет показателей, обладающих высокой степенью корреляции с цифровыми, интеллектуальными, роботизированными технологиями.

С учетом вышеперечисленных принципов выбор параметров для построения прогнозной модели осуществляется в несколько этапов (рис. 2).

При этом авторы выделяют два основных ограничения методики: во-первых, ограниченность данных, т. к. в ряде случаев открытые данные могут иметь пробелы или не соответствовать последним изменениям, во-вторых, возможность влияния технологических скачков в результате появления новых революционных технологий.

Первоначально исследуемые параметры сгруппированы по четырем категориям, отражающим развитие аграрного сектора:

- 1) экономические показатели;
- 2) технологическое развитие;
- 3) кадровый и образовательный потенциал;
- 4) экологическая и инфраструктурная составляющая (таблица 1).



Рис. 2. Схема отбора и проверки показателей для прогнозной модели цифрового развития сельского хозяйства
Источник: составлено авторами

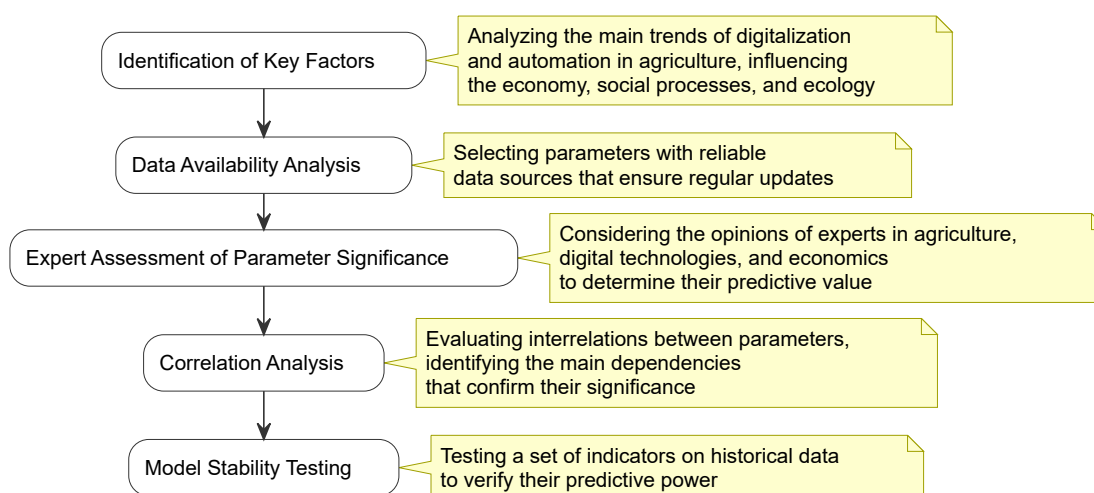


Fig. 2. Scheme for selecting and verifying indicators for a predictive model of digital agricultural development
Source: compiled by the authors

**Перечень показателей для оценки уровня цифровизации и передовых технологий
в сельском хозяйстве**

Показатель	Описание важности
Экономические показатели	
Доля аграрного сектора в ВВП, %	Показывает значимость сельского хозяйства в экономике страны и его вклад в ВВП
Индекс ориентированности на сельское хозяйство, коэффициент	Отражает приоритетность сельского хозяйства в государственной политике, что влияет на развитие технологий
Инвестиции в исследования и разработки в сельском хозяйстве, % от ВВП	Инвестиции в исследования и разработки обеспечивают внедрение инноваций и конкурентоспособность сельского хозяйства
Технологическое развитие	
Уровень механизации сельского хозяйства, ед/га	Определяет уровень автоматизации и механизации сельского хозяйства, что снижает затраты и повышает производительность
Проникновение ИКТ в сельское хозяйство, %	Показывает, насколько аграрный сектор использует цифровые технологии для повышения эффективности
Использование систем управления фермами, % от числа хозяйств	Отражает уровень цифровизации фермерских хозяйств, что повышает контроль и эффективность управления
Использование точного земледелия, % от с/х земель	Оценивает уровень использования передовых технологий, таких как GPS-навигация, датчики и дроны
Образование и кадровый потенциал	
Уровень образования и подготовки кадров, % работников с профильным образованием	Определяет квалификацию работников, что влияет на эффективность внедрения технологий
Занятость мужчин и женщин в сельском хозяйстве, %	Помогает оценить распределение трудовых ресурсов и потенциал автоматизации и цифровизации процессов
Занятость мужчин в сельском хозяйстве, %	Указывает на гендерные особенности занятости и возможные диспропорции в использовании цифровых решений
Экологическая и инфраструктурная составляющая	
Объем производства органической продукции, тыс. т	Демонстрирует внедрение экологически чистых и инновационных методов производства
Уровень цифровой инфраструктуры в сельских районах, % населения	Определяет доступность интернета и цифровых сервисов, необходимых для цифровизации традиционного сельского хозяйства
Доступ к электроэнергии, % населения	Является ключевым фактором для внедрения цифровых технологий и автоматизированных систем в аграрном секторе
Потребление электроэнергии, кВт·ч на 1 человека	Показывает уровень энергопотребления, что важно для оценки возможностей внедрения энергоемких цифровых технологий
Потребление возобновляемой энергии, % от общего конечного энергопотребления	Демонстрирует устойчивость энергетической базы агропромышленного комплекса и его готовность к переходу на умные технологии

Table 1

Indicators for digital and advanced technology implementation in the agricultural sector

Indicator	Meaning
Economic Capacity	
Agriculture value added as % of GDP	Demonstrates the significance of the agricultural sector for the national economy and its contribution to the GDP
Agriculture Orientation Index	Reflects the priority given to agriculture from state policy
Agricultural Research & Development expenditure as % of GDP	Reflects the level of investment in research and development (R&D), which is a fundamental driver of innovation adoption and enhanced competitiveness in agriculture
Technological Capacity	
Agricultural machinery per hectare	Determines the level of automation and mechanization in agriculture, which reduces costs and enhances productivity
ICT Penetration in Agriculture	Indicates the extent to which the agricultural sector employs digital technologies to improve efficiency
Farm management systems adoption	Reflects the degree of digitalization within farming operations, thereby improving control and management efficiency
Precision agriculture usage, %	Assesses the adoption rate of advanced technologies, such as GPS navigation, sensors, and drones

<i>Education Capacity</i>	
<i>Education level in agriculture, %</i>	<i>Determines the workforce's qualification level, which directly impacts the effectiveness of technology adoption</i>
<i>Employment in agriculture, female and male, %</i>	<i>Helps assess the distribution of labor resources and the potential for process automation and digitalization</i>
<i>Employment in agriculture, male, %</i>	<i>Highlights gender-specific employment patterns and potential disparities in the adoption of digital solutions</i>
<i>Environmental and Infrastructure Capacity</i>	
<i>Organic agricultural production, thous. tonnes</i>	<i>Demonstrates the adoption of environmentally friendly and innovative production methods</i>
<i>Rural digital infrastructure coverage, % of total population</i>	<i>Determines the availability of internet and digital services, which are essential for the digitalization of traditional agriculture</i>
<i>Access to electricity, % of total population</i>	<i>Serves as a key enabler for the implementation of digital technologies and automated systems in the agricultural sector</i>
<i>Electric power consumption, kWh per capita</i>	<i>Indicates the level of energy consumption, which is crucial for assessing the feasibility of deploying energy-intensive digital technologies</i>
<i>Renewable energy consumption, % of total final energy consumption</i>	<i>Reflects the resilience of the agro-industrial complex's energy base and its readiness for the transition to smart technologies</i>

После отбора показателей проводится корреляционный анализ с целью определения факторов, наиболее существенно влияющих на цифровое технологическое развитие сельского хозяйства стран БРИКС+. Затем для объективного взвешивания значимости каждого параметра применяется метод CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation). Он позволяет определить веса показателей на основе их информационной насыщенности и степени конфликтности между ними, минимизируя субъективность оценок [31]. Далее на основе полученных весов, а также с учетом исторических трендов, существенности выявленных факторов и вклада каждого ключевого параметра в цифровое развитие строится прогнозная модель ключевых параметров стран на 2035 год. Она учитывает как текущие технологические тренды, так и стратегические программы развития сельского хозяйства в странах БРИКС+.

Методика прогнозирования основана на методе экстраполяции исторических трендов, а также сценарном подходе. Прогнозы итеративно корректируются для обеспечения внутренней согласованности. Метод имеет ограничения: не учитывает возможные резкие изменения и опирается на предположение о продолжении существующих трендов. Модель построена на основе открытой статистики Всемирного банка (World Bank Open Data) и Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO).

Результаты (Results)

В целях выявления взаимосвязей между уровнем цифровой зрелости и экономико-технологическими характеристиками аграрного сектора был проведен корреляционный анализ показателей в таблице 2 по данным за 2023 год. В качестве интегрального показателя цифровой зрелости использован **индекс сетевой готовности** (Network Readiness Index, NRI), отражающий институциональные, инфраструктурные и технологические условия цифровой трансформации [32].

Комплексная природа NRI, охватывающего технологическую инфраструктуру, человеческий капитал, уровень использования цифровых технологий и институциональную среду, позволяет применять его как обобщенный аналитический показатель при исследовании взаимосвязей цифровизации и развития аграрного сектора стран БРИКС+.

Результаты анализа показывают наличие выраженной положительной взаимосвязи между уровнем цифровой готовности (NRI) и показателями использования цифровых технологий в сельском хозяйстве, уровне образования занятых в аграрном секторе, а также масштабами применения точного и органического земледелия. Это подтверждает гипотезу о том, что на развитие сельскохозяйственного производства в странах БРИКС+ существенно влияет общий уровень цифровой готовности отрасли: с одной стороны, технологическая оснащенность (например, использование умных тракторов и систем точного земледелия), с другой – цифровая грамотность занятых в сельском хозяйстве, включая навыки работы с высокотехнологичным оборудованием, искусственным интеллектом, интернетом вещей и другими цифровыми инструментами.

Исследование выявляет отрицательную корреляцию между индексом сетевой готовности и долей сельского хозяйства в ВВП, что объясняется **закономерностью структурной трансформации экономики**, когда в странах с развитой экономикой сокращение доли сельского хозяйства в ВВП компенсируется ростом его производительности и технологической оснащенности благодаря внедрению интеллектуальных систем и автоматизации. Также выявлены обратные корреляции между значениями NRI и долей занятости в сельском хозяйстве, что подтверждает предыдущий вывод. Это согласуется с глобальными трендами в развитых странах, где цифровизация сопровождается снижением доли первичного сектора в ВВП и занятости, но ростом его эффективности и устойчивости.

Таблица 2
Результаты корреляционного анализа
Table 2
Results of the correlation analysis

	NRI	AGR_GDP	AGRO_ORI	AGRO_TECH	RURAL_NET	AGRO_RD	AGRO_EDU	PREC_AGR	ORG_AREA	DIGI_FARM	AGRO_MEN	AGRO_WOM	ORG_PROD	ELEC_CONS	REN_EN	ELEC_ACC
NRI	1,00															
AGR_GDP	-0,42	1,00														
AGRO_ORI	0,07	0,79	1,00													
AGRO_TECH	0,49	-0,35	-0,27	1,00												
RURAL_NET	0,36	-0,89	-0,84	0,51	1,00											
AGRO_RD	0,03	-0,53	-0,46	0,25	0,53	1,00										
AGRO_EDU	0,79	-0,75	-0,47	0,52	0,82	0,21	1,00									
PREC_AGR	0,71	-0,60	-0,38	0,72	0,72	0,54	0,81	1,00								
ORG_AREA	0,73	0,04	0,57	0,28	-0,23	-0,15	0,21	0,20	1,00							
DIGI_FARM	0,83	-0,70	-0,38	0,67	0,74	0,47	0,89	0,97	0,33	1,00						
AGRO_MEN	-0,24	0,97	0,88	-0,32	-0,92	-0,53	-0,66	-0,51	0,22	-0,58	1,00					
AGRO_WOM	-0,24	0,94	0,83	-0,18	-0,91	-0,56	-0,68	-0,55	0,29	-0,61	0,96	1,00				
ORG_PROD	0,74	0,03	0,57	0,28	-0,23	-0,15	0,22	0,21	1,00	0,34	0,21	0,28	1,00			
ELEC_CONS	-0,29	0,81	0,52	-0,33	-0,57	-0,32	-0,42	-0,27	-0,20	-0,40	0,79	0,66	-0,21	1,00		
REN_EN	-0,32	0,86	0,72	-0,17	-0,66	-0,10	-0,59	-0,29	0,06	-0,43	0,84	0,77	0,04	0,82	1,00	
ELEC_ACC	0,40	-0,85	-0,54	0,40	0,66	0,23	0,58	0,38	0,20	0,51	-0,83	-0,72	0,20	-0,97	-0,86	1,00

Условные обозначения: NRI – индекс сетевой готовности; AGR_GDP – доля аграрного сектора в ВВП; AGRO_ORI – индекс ориентированности на сельское хозяйство; AGRO_TECH – сельскохозяйственная техника; RURAL_NET – доступ к интернету в сельской местности; AGRO_RD – расходы на сельскохозяйственные исследования и разработки; AGRO_EDU – занятые в сельском хозяйстве с высшим образованием; PREC_AGR – площадь под точным земледелием; ORG_AREA – площадь органического земледелия, тыс. га; DIGI_FARM – использование цифровых технологий в фермерских хозяйствах; AGRO_MEN – занятость в сельском хозяйстве (мужчины); AGRO_WOM – занятость в сельском хозяйстве (женщины); ORG_PROD – объем производства органической продукции; ELEC_CONS – Потребление электроэнергии; REN_EN – потребление возобновляемой энергии; ELEC_ACC – доступ к электроэнергии.

Notation: NRI – Network Readiness Index; AGR_GDP – agricultural value added as a percentage of GDP; AGRO_ORI – Agriculture Orientation Index; AGRO_TECH – agricultural machinery availability; RURAL_NET – rural internet access; AGRO_RD – agricultural research and development expenditures; AGRO_EDU – share of agricultural employment with higher education; PREC_AGR – area under precision agriculture; ORG_AREA – organic farming area; DIGI_FARM – use of digital technologies in farming, %; AGRO_MEN – male employment in agriculture; AGRO_WOM – female employment in agriculture; ORG_PROD – organic agricultural production; ELEC_CONS – electric power consumption per capita; REN_EN – renewable energy consumption; ELEC_ACC – access to electricity.



Рис. 3. Процентный вклад каждого параметра в оценку уровня цифровизации и передовых технологий в сельском хозяйстве
Источник: составлено авторами на основе [29; 30; 33]

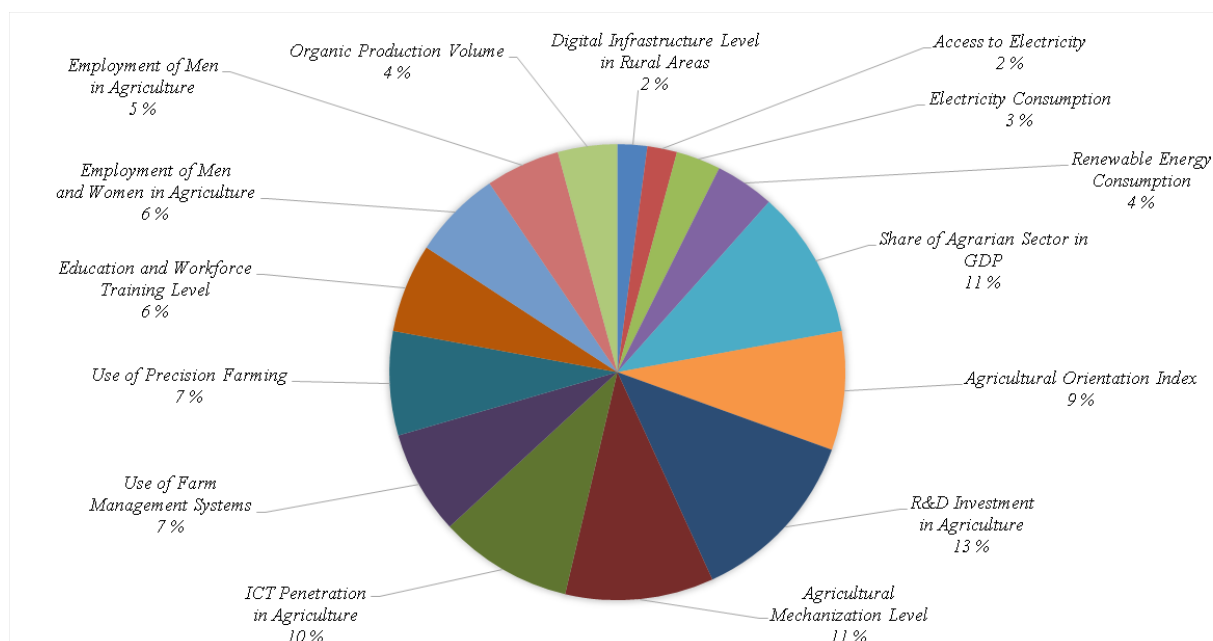


Fig. 3. The percentage contribution of each parameter to the assessment of the level of digitalization and advanced technologies in agriculture
Source: compiled by the authors based on [29; 30; 33]

Далее на основе статистических данных за 2023 год была составлена круговая диаграмма (рис. 3), которая демонстрирует процентный вклад исследуемых параметров в оценку уровня цифровизации и передовых технологий в сельском хозяйстве, включая механизацию, проникновение ИКТ, инвестиции в R&D и уровень цифровой инфраструктуры. Диаграмма показывает факторы, определяющие развитие аграрного сектора под влиянием технологического прогресса и цифровых решений.

При построении диаграммы использовалась методика CRITIC с предварительным нормированием исходных данных [31]. Она направлена на минимизацию субъективности при определении значимости параметров.

На первом шаге мы нормируем данные, приводя все показатели к сопоставимому масштабу с помощью min-max-нормирования, чтобы устранить влияние различий в единицах измерения и диапазонах значений. На втором шаге оцениваем инфор-

мативность показателей, рассчитывая для каждого стандартное отклонение по странам: чем выше вариативность, тем показатель более дифференцирует страны и потенциально информативнее. На третьем шаге учитываем дублируемость показателей: на основе матрицы корреляций уменьшаем удельные веса тех показателей, которые сильно коррелируют с другими, чтобы избежать дублирования вклада. На четвертом шаге рассчитываем объективные веса методом CRITIC, определяя вес каждого показателя пропорционально произведению его стандартного отклонения и суммы факторов конфликтности показателей между собой, что позволяет выделить те из них, которые хорошо различают страны и не дублируют другие параметры. На пятом шаге нормируем полученные веса до суммы 100 % и визуализируем их с помощью круговой диаграммы, где каждый сектор отражает процентный вклад показателя в интегральную оценку уровня цифровизации и внедрения передовых технологий в сельском хозяйстве.

На круговой диаграмме видно, что наибольший вклад в формирование уровня цифровизации и внедрения передовых технологий в сельском хозяйстве вносят инвестиции в исследования и разработки в аграрном секторе (13 %), а также уровень механизации сельского хозяйства и доля аграрного сектора в ВВП (по 11 %). Это свидетельствует о том, что цифровая трансформация аграрного производства в первую очередь определяется структурными и технологическими факторами, отражающими как капиталоемкость отрасли, так и ее макроэкономическую значимость. Существенную роль также играют проникновение ИКТ в сельском хозяйстве (10 %) и индекс ориентированности экономики на сельское хозяйство (9 %), что подчеркивает зависимость цифровизации от степени приоритетности аграрного сектора в национальной экономике и уровня его технологической включенности.

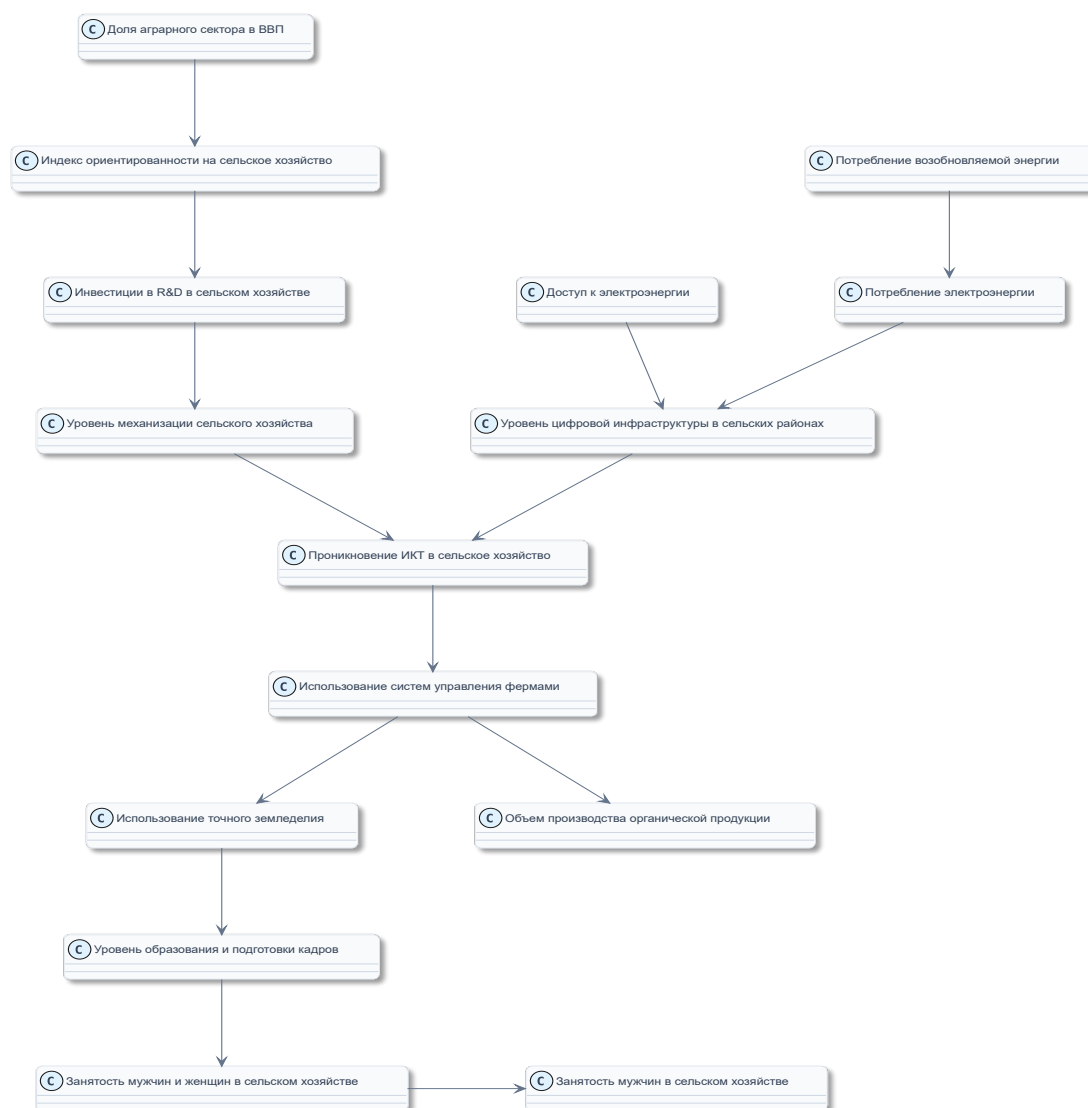


Рис. 4. Схема, отображающая взаимные зависимости параметров, оценивающих уровень цифровизации и ИИ в сельском хозяйстве
Источник: составлено авторами

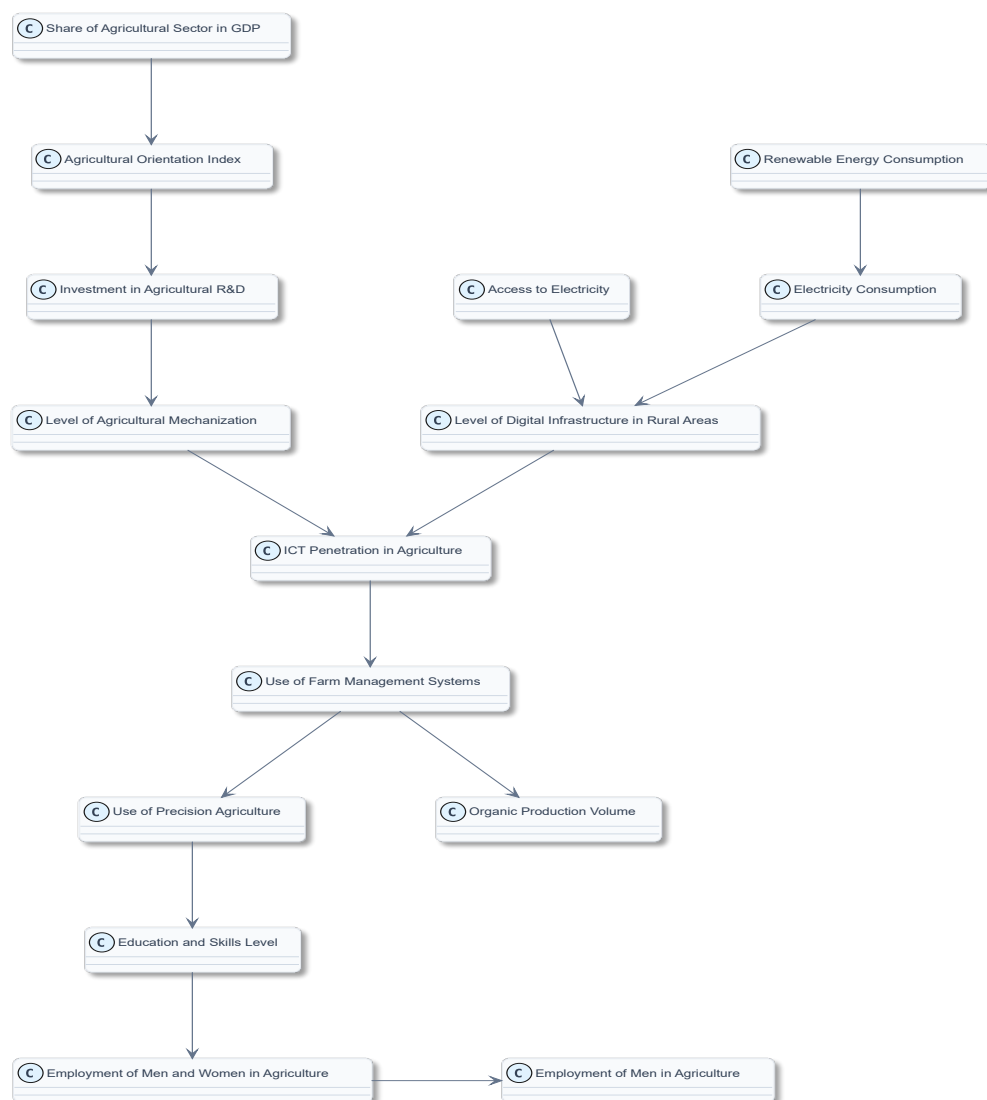


Fig. 4. Diagram showing the mutual dependencies of parameters that assess the level of digitalization and AI in agriculture

Source: compiled by the authors

В целом распределение долей на круговой диаграмме отражает комплексный характер цифровой зрелости сельского хозяйства, формируемой на пересечении инфраструктурных, технологических, инвестиционных и человеческих факторов. Это подтверждает необходимость системного подхода к цифровизации аграрного сектора, особенно для стран БРИКС+, характеризующихся высокой неоднородностью уровня развития данных компонентов.

Отметим также, что взаимосвязь и взаимное влияние анализируемых показателей важны для понимания уровня цифровизации и использования ИИ в сельском хозяйстве. В целях наглядной визуализации указанных взаимосвязей и демонстрации их роли в формировании цифровой зрелости сельского хозяйства была разработана концептуальная схема, представленная на рис. 4.

Также представляется интересным сравнение стран БРИКС по отобранным параметрам за 2023 год (таблица 3).

Таблица 3 демонстрирует значительные различия в уровне развития сельского хозяйства, цифровизации и инноваций, устойчивости технологий в странах БРИКС. Индия имеет самую высокую долю аграрного сектора в ВВП (18,3 %) среди изначальных стран БРИКС, в то время как ЮАР демонстрирует наименьший показатель (2,4 %). Китай обладает самым высоким индексом ориентированности на сельское хозяйство (0,67) среди оригинальных членов БРИКС, значительно опережая ЮАР с показателем 0,21. Бразилия лидирует среди стран оригинального БРИКС по количеству сельскохозяйственной техники (132 трактора на 100 кв. км пахотных земель), тогда как Россия имеет наименьший показатель (27). Россия демонстрирует наилучший доступ к интернету в сельской местности (77,3 %) среди первоначальных стран БРИКС, что более чем в два раза превышает показатель Индии (38,5 %). ЮАР выделяется наибольшими расходами на сельскохозяйственные исследования и раз-

работки (2,02 % от сельскохозяйственной валовой добавленной стоимости) среди изначальных членов БРИКС. Китай лидирует среди оригинальных стран БРИКС по проценту занятых в сельском хозяйстве с высшим образованием (19,6 %), что почти в четыре раза выше показателя Индии (5,4 %). По площади точного земледелия лидирует Китай (15,3 % от общей сельскохозяйственной площади) среди первоначальных стран БРИКС. Китай также обладает крупнейшей площадью органического земледелия (4139,1 тыс. га) среди оригинальных членов

БРИКС, что в 50 раз превышает показатель ЮАР (82,2 тыс. га). По использованию цифровых технологий в фермерских хозяйствах Китай занимает первое место (35,3 %) среди стран оригинального БРИКС, что в три раза выше показателя Индии (10,2 %). Среди новых членов БРИКС выделяются ОАЭ с почти полным доступом к интернету в сельской местности (98,5 %) и высоким уровнем цифровизации сельского хозяйства, а Эфиопия демонстрирует самую высокую долю аграрного сектора в ВВП (35,2 %) среди всех представленных стран.

Таблица 3

Перечень численных значений параметров, оценивающих уровень развития сельского хозяйства, цифровизации и передовых технологий стран БРИКС за 2023 год

Параметр	Бразилия	Россия	Индия	Китай	ЮАР	Египет	Эфиопия	Иран	ОАЭ
Доля аграрного сектора в ВВП, %	7,8	4,1	18,3	7,3	2,4	11,5	35,2	9,8	0,9
Индекс ориентированности на сельское хозяйство	0,48	0,32	0,58	0,67	0,21	0,44	0,77	0,35	0,12
Сельскохозяйственная техника, тракторы на 100 кв. км пахотных земель	132	27	159	96	43	39	4	16	226
Доступ к интернету в сельской местности, %	73,9	77,3	38,5	54,6	68,4	52,4	19,2	54,3	98,5
Расходы на сельскохозяйственные исследования и разработки, % от с/х ВДС	1,82	0,37	0,28	0,62	2,02	0,44	0,19	0,37	н/д
Занятые в сельском хозяйстве с высшим образованием, %	12,5	17,7	5,4	19,6	9,1	8,2	1,7	7,5	22,8
Площадь под точным земледелием, % от общей с/х площади	13,5	3,8	2,1	15,3	8,7	2,9	< 1	2,2	21,4
Площадь органического земледелия, тыс. га	1 282,1	674,4	2 657,9	4 139,1	82,2	121,0	359,2	50,1	4,7
Использование цифровых технологий в фермерских хозяйствах, %	25,7	16,4	10,2	35,3	19,8	8,3	2,6	11,4	38,5
Занятость в сельском хозяйстве, мужчины, %	15,3	8,2	38,7	29,5	7,9	25,1	72,6	17,4	3,1
Занятость в сельском хозяйстве, женщины, %	9,4	6,1	55,8	24,3	5,2	21,9	68,4	12,6	0,4
Объем производства органической продукции, тыс. т	879,4	412,6	1 918,3	3 126,5	55,7	89,3	215,8	42,9	2,8
Потребление электроэнергии, кВт·ч на 1 человека	2 485	6 943	1 208	5 312	3 880	1 671	76	3 165	11 573
Потребление возобновляемой энергии, % от общего конечного энергопотребления	43,8	3,2	31,4	12,4	10,7	5,6	88,4	1,3	0,7
Доступ к электроэнергии, % от численности населения	99,8	100	96,7	100	91,2	100	48,3	100	100

Источник: составлено авторами на основе [10].

Table 3
The set of quantitative indicators for evaluating agricultural development, digitalization, and advanced technology adoption in BRICS countries, 2023

Indicator	Brazil	Russia	India	China	South Africa	Egypt	Ethiopia	Iran	UAE
Share of agricultural sector in GDP, %	7.8	4.1	18.3	7.3	2.4	11.5	35.2	9.8	0.9
Agriculture Orientation Index	0.48	0.32	0.58	0.67	0.21	0.44	0.77	0.35	0.12
Agricultural machinery, tractors per 100 sq km of arable land	132	27	159	96	43	39	4	16	226
Rural internet access, %	73.9	77.3	38.5	54.6	68.4	52.4	19.2	54.3	98.5
Agricultural R&D expenditure, % of Agricultural GVA	1.82	0.37	0.28	0.62	2.02	0.44	0.19	0.37	No data
Employment in agriculture with higher education, %	12.5	17.7	5.4	19.6	9.1	8.2	1.7	7.5	22.8
Precision farming area, % of total agricultural area	13.5	3.8	2.1	15.3	8.7	2.9	< 1	2.2	21.4
Organic farming area, thousand hectares	1 282.1	674.4	2 657.9	4 139.1	82.2	121.0	359.2	50.1	4.7
Use of digital technologies on farms, %	25.7	16.4	10.2	35.3	19.8	8.3	2.6	11.4	38.5
Employment in agriculture, male, %	15.3	8.2	38.7	29.5	7.9	25.1	72.6	17.4	3.1
Employment in agriculture, female, %	9.4	6.1	55.8	24.3	5.2	21.9	68.4	12.6	0.4
Organic production output, thousand tons	879.4	412.6	1 918.3	3 126.5	55.7	89.3	215.8	42.9	2.8
Electric power consumption, kWh per capita	2 485	6 943	1 208	5 312	3 880	1 671	76	3 165	11 573
Renewable energy consumption, % of total final energy consumption	43.8	3.2	31.4	12.4	10.7	5.6	88.4	1.3	0.7
Electricity access, % of population	99.8	100	96.7	100	91.2	100	48.3	100	100

Source: compiled by the authors based on [33].

Выполним прогноз выбранных параметров на 2035 год для стран БРИКС. Отметим ключевые тенденции, которые повлияли на результат прогноза:

1. Структурные экономические изменения:
 - снижение доли аграрного сектора в ВВП в большинстве развивающихся стран при одновременном повышении его эффективности;
 - изменение индекса ориентированности в соответствии с национальными стратегиями продовольственной безопасности
2. Технологический прогресс:
 - значительный рост механизации сельского хозяйства, особенно в странах с низким начальным уровнем;
 - повсеместное распространение интернета в сельской местности, наиболее заметное в развивающихся странах;
 - увеличение инвестиций в R&D как часть стратегии повышения конкурентоспособности.
3. Трансформация аграрных практик:
 - рост образовательного уровня занятых в сельском хозяйстве;
 - экспоненциальное увеличение площадей точного земледелия в связи с развитием технологий и политикой устойчивого развития;

– расширение органического земледелия в ответ на растущий спрос на экологически чистую продукцию;

– ускоренная цифровизация фермерских хозяйств как результат технологической революции и государственных программ поддержки.

Повторим, что в исследовании использован комбинированный трендово-сценарный подход, сочетающий элементы статистической экстраполяции и качественной интерпретации институциональных условий развития. Данный подход широко применяется в исследованиях социально-экономических систем с высокой степенью инерционности и ограниченной наблюдаемостью резких структурных сдвигов, к которым относится аграрный сектор.

Прогноз построен на предположении относительной устойчивости выявленных технологических и инвестиционных трендов при сохранении текущих стратегических ориентиров стран БРИКС в области продовольственной безопасности, цифровизации и устойчивого развития.

Этапы прогнозирования:

1. Анализ исторических трендов исследуемых показателей. Изучается динамика каждого показателя за предшествующий период для выявления

направления и темпов изменений. Например, для добавленной стоимости в сельском хозяйстве анализируется период 2010–2023 гг.

2. Экстраполяция с учетом ограничений. Выявленные тренды продлеваются на горизонт прогноза.

Этап 3. Качественные корректировки. Экстраполированные значения корректируются на основе национальных стратегий развития сельского хозяйства каждой страны; заявленных государственных программ цифровизации АПК; глобальных прогнозов развития агротехнологий.

Этап 4. Обеспечение внутренней согласованности. Итеративная проверка и корректировка прогнозных значений для устранения противоречий между показателями (например, рост цифровизации фермерских хозяйств должен коррелировать с ростом доступа к интернету в сельской местности).

Отметим также, что прогноз построен на предположениях о продолжении текущих тенденций и может не учитывать непредвиденные события или радикальные изменения в политике стран. Результаты прогнозирования представлены в таблице 4.

Таблица 4
Прогноз на 2035 год, основанный на текущих трендах, численных значений параметров, оценивающих уровень цифровизации и ИИ в сельском хозяйстве стран БРИКС

Параметр	Бразилия	Россия	Индия	Китай	ЮАР	Египет	Эфиопия	Иран	ОАЭ
Доля аграрного сектора в ВВП, %	5,9	3,2	12,5	5,1	2,0	9,7	26,8	7,9	0,7
Индекс ориентированности на сельское хозяйство	0,42	0,35	0,52	0,58	0,19	0,48	0,70	0,38	0,15
С/х техника, тракторы на 100 кв. км пахотных земель	198	65	238	175	82	78	15	42	295
Доступ к интернету в сельской Местности, %	95,4	96,2	74,3	89,5	89,7	85,6	48,5	81,2	99,8
Расходы на с/х R&D, % от с/х ВДС	2,45	0,98	0,75	1,45	2,65	0,82	0,42	0,76	1,85
Занятые в сельском хозяйстве с высшим образованием, %	21,8	28,4	14,7	32,5	17,6	16,5	5,2	14,8	35,6
Площадь под точным земледелием, % от общей с/х площади	32,6	18,5	12,7	38,4	22,3	14,6	4,8	11,5	45,2
Площадь органического земледелия, тыс. га	2154	1523	4875	7261	248	352	725	178	15
Использование цифровых технологий в фермерских Хозяйствах, %	58,4	42,7	35,6	67,2	45,3	27,6	12,4	32,8	72,3
Занятость в сельском хозяйстве, Мужчины, %	8,7	5,6	25,3	18,7	6,2	19,8	58,4	13,5	1,8
Занятость в сельском хозяйстве, Женщины, %	5,2	4,0	36,4	15,8	3,9	16,5	54,2	9,4	0,2
Объем производства органической продукции, тыс. тонн	1 524,6	982,5	3 642,7	5 487,2	176,3	264,8	458,9	152,4	9,5
Потребление электроэнергии, кВт·ч на человека	3 540	8 250	2 580	7 840	5 120	2 850	320	4 250	14 250
Потребление возобновляемой энергии, % от общего конечного энергопотребления	65,2	12,8	48,6	28,3	25,4	18,7	92,5	8,4	12,6
Доступ к электроэнергии, % населения	100	100	99,5	100	98,7	100	78,6	100	100

Источник: составлено авторами.

Table 4
Forecast for 2035 based on current trends and numerical values of indicators assessing the level of digitalization and AI in agriculture in BRICS countries

Indicator	Brazil	Russia	India	China	South Africa	Egypt	Ethiopia	Iran	UAE
Share of agricultural sector in GDP, %	5.9	3.2	12.5	5.1	2.0	9.7	26.8	7.9	0.7
Agricultural orientation index	0.42	0.35	0.52	0.58	0.19	0.48	0.70	0.38	0.15

<i>Agricultural Machinery, tractors per 100 sq. km of arable land</i>	198	65	238	175	82	78	15	42	295
<i>Internet access in rural areas, %</i>	95.4	96.2	74.3	89.5	89.7	85.6	48.5	81.2	99.8
<i>Agricultural R&D expenditure, % of agricultural GVA</i>	2.45	0.98	0.75	1.45	2.65	0.82	0.42	0.76	1.85
<i>Agricultural workers with higher education, %</i>	21.8	28.4	14.7	32.5	17.6	16.5	5.2	14.8	35.6
<i>Area under precision agriculture, % of total agricultural area</i>	32.6	18.5	12.7	38.4	22.3	14.6	4.8	11.5	45.2
<i>Organic farming area, thousand ha</i>	2154	1523	4875	7261	248	352	725	178	15
<i>Use of digital technologies in farming, %</i>	58.4	42.7	35.6	67.2	45.3	27.6	12.4	32.8	72.3
<i>Employment in agriculture, men, %</i>	8.7	5.6	25.3	18.7	6.2	19.8	58.4	13.5	1.8
<i>Employment in agriculture, women, %</i>	5.2	4.0	36.4	15.8	3.9	16.5	54.2	9.4	0.2
<i>Organic production volume, thousand tons</i>	1 524.6	982.5	3 642.7	5 487.2	176.3	264.8	458.9	152.4	9.5
<i>Electricity consumption, kWh per capita</i>	3 540	8 250	2 580	7 840	5 120	2 850	320	4 250	14 250
<i>Renewable energy consumption, % of total final energy consumption</i>	65.2	12.8	48.6	28.3	25.4	18.7	92.5	8.4	12.6
<i>Access to electricity, % of population</i>	100	100	99.5	100	98.7	100	78.6	100	100

Source: compiled by the authors.

Сравнительный анализ текущего состояния и прогноза развития сельского хозяйства стран БРИКС+ до 2035 года выявляет устойчивую тенденцию к модернизации и цифровизации аграрного сектора при одновременном снижении его доли в структуре ВВП всех рассматриваемых стран. Наиболее динамичное развитие прогнозируется в области технологического оснащения, где ожидается существенный рост количества сельскохозяйственной техники, особенно заметный в странах с изначально низким уровнем механизации – России (с 27 до 65 тракторов на 100 кв. км) и Эфиопии (с 4 до 15). Цифровая трансформация продолжит активно проникать в сельские территории, что особенно отразится на показателях Индии и Эфиопии, где доступ к интернету в сельской местности увеличится почти вдвое, создавая основу для внедрения современных аграрных технологий. Значительный прорыв ожидается в области точного земледелия, площадь которого в среднем по странам БРИКС+ вырастет в 2,5–3 раза, что свидетельствует о переходе к ресурсосберегающим и высокоэффективным методам ведения сельского хозяйства. Сильнейший рост прогнозируется в сфере цифровизации фермерских хозяйств, где показатели использования цифровых технологий увеличатся в 2–3 раза во всех странах с наибольшей динамикой в Бразилии, России и Индии. Органическое земледелие продолжит расширяться, отражая глобальный тренд на экологизацию сельскохозяйственного производства, наиболее заметным прогресс будет в Китае, Индии и

Бразилии, где площади под органическим земледелием увеличатся почти вдвое. Уровень образования в аграрном секторе значительно возрастет, что проявится в увеличении доли занятых с высшим образованием, особенно в Индии (с 5,4 % до 14,7 %) и Эфиопии (с 1,7 % до 5,2 %), демонстрируя тенденцию к интеллектуализации сельскохозяйственного труда. Расходы на сельскохозяйственные исследования и разработки существенно вырастут во всех странах БРИКС+, что отражает стратегическую переориентацию на инновационное развитие отрасли, при этом наиболее заметный прогресс ожидается в России (с 0,37 % до 0,98 %) и Китае (с 0,62 % до 1,45 %). Несмотря на относительное снижение индекса ориентированности на сельское хозяйство в некоторых странах, абсолютная эффективность аграрного сектора вырастет благодаря синергетическому эффекту от внедрения передовых технологий, цифровизации и повышения квалификации рабочей силы. Таким образом, к 2035 году страны БРИКС+ преобразуют свой сельскохозяйственный сектор от преимущественно экстенсивной модели к высокотехнологичной, интенсивной и устойчивой системе.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенный корреляционный анализ и объективное взвешивание показателей методом CRITIC позволили выявить ключевые детерминанты цифровой трансформации аграрного сектора стран БРИКС. Установлена сильная положительная связь между общим уровнем цифровой готовности эко-

номики и конкретными показателями технологического развития сельского хозяйства: использованием цифровых технологий в фермерских хозяйствах, площадями точного и органического земледелия, а также уровнем образования занятых в секторе. Одновременно выявлены отрицательные корреляции, которые отражают глобальный тренд структурной трансформации: снижение доли аграрного сектора в экономике компенсируется ростом его производительности за счет внедрения интеллектуальных технологий и автоматизации. Результаты многокритериального анализа показали, что наибольший вклад в формирование уровня цифровизации сельского хозяйства вносят инвестиции в исследования и разработки в аграрном секторе, уровень механизации сельского хозяйства и макроэкономическая значимость отрасли, выраженная через долю аграрного сектора в ВВП. Существенную роль также играют проникновение ИКТ в сельском хозяйстве и степень ориентированности национальной экономики на аграрный сектор, что подчеркивает зависимость цифровой трансформации от приоритетов государственной политики и уровня технологической интеграции отрасли.

В совокупности это позволяет сделать вывод о том, что цифровая трансформация аграрного сектора стран БРИКС носит системный характер и определяется взаимодействием технологической оснащенности, инвестиционной активности, институциональной поддержки и готовности кадрового потенциала к работе с цифровыми и интеллектуальными технологиями. В целом полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу исследования. Авторы также пришли к выводу, что недостаточное развитие хотя бы одного из указанных компонентов способно существенно замедлять процессы цифровизации и усиливать межстрановые различия в уровне технологического развития сельского хозяйства.

Анализ результатов прогнозного тренда показывает, что цифровизация и внедрение интеллектуальных технологий являются ключевыми драйверами развития аграрного сектора стран БРИКС. Различия в темпах цифровизации стран обусловлены уровнем государственной поддержки, инфраструктурными возможностями и существенными различиями в уровне экономического, технологического, кадрового развития. В 2023 году ЮАР лидировала по доле инвестиций в сельскохозяйственные исследования (2,02 % от ВВП агросектора), в то время как Индия (0,28 %) и Эфиопия (0,19 %) демонстрировали более низкие показатели. Внедрение точного земледелия остается неравномерным: если в Китае и Бразилии этот показатель составляет 15,3 % и 13,5 % сельскохозяйственных площадей соответственно, то в Эфиопии он не превышает 1 %. Ожидается, что к 2035 году Китай достигнет

уровня использования точного земледелия 38,4 %, а Бразилия – 32,6 %, что свидетельствует о переходе к более технологически интенсивным методам ведения сельского хозяйства. Важной тенденцией является рост механизации сельского хозяйства, особенно в странах с низкими текущими показателями. Так, в Эфиопии ожидается увеличение количества тракторов с 4 до 15 на 100 кв. км, в России – с 27 до 65, а в Китае – с 96 до 175. Доступ к интернету в сельской местности также продолжит расти: в Индии прогнозируется увеличение с 38,5 % в 2023 году до 74,3 % в 2035 году, что создаст основу для масштабной цифровизации фермерских хозяйств. Существенные изменения затронут и уровень образования кадров: ожидается рост доли работников с высшим образованием в сельском хозяйстве, особенно в Индии (с 5,4 % до 14,7 %) и Эфиопии (с 1,7 % до 5,2 %), что свидетельствует о постепенной интеллектуализации сельскохозяйственного труда. Прогнозируемое развитие технологий также приведет к увеличению расходов на исследования и разработки, что обеспечит рост конкурентоспособности агросектора в этих странах. В России инвестиции в R&D увеличатся с 0,37 % до 0,98 % ВВП агросектора, а в Китае – с 0,62 % до 1,45 %, что свидетельствует о стратегической переориентации на инновационное развитие отрасли. Ожидается значительное расширение использования цифровых технологий в фермерских хозяйствах, особенно в Китае и Бразилии, где показатель достигнет 67,2 % и 58,4 % соответственно.

Таким образом, к 2035 году страны БРИКС пройдут трансформационный путь от преимущественно традиционного сельского хозяйства к высокотехнологичной и устойчивой модели агропромышленного комплекса. Внедрение цифровых и интеллектуальных технологий, активное использование точного земледелия и автоматизированных систем управления сельскохозяйственным производством, а также повышение уровня образования кадров позволят значительно повысить производительность, устойчивость и конкурентоспособность аграрного сектора в долгосрочной перспективе.

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации в сельском хозяйстве, исследование выявило ряд проблемных областей, требующих дальнейшего изучения. В частности, остается открытым вопрос о дифференциации цифровизации среди регионов внутри отдельных стран, где разрыв между технологически развитыми и слабо развитыми аграрными зонами продолжает углубляться. Доступность цифровых решений, особенно для малых и средних фермерских хозяйств, также остается нерешенной проблемой, требующей разработки финансовых механизмов поддержки и программ обучения. Кроме того, влияние цифровых технологий на рынок труда в сельском хозяйстве требует

дополнительного анализа, поскольку автоматизация и внедрение ИИ могут привести к структурным изменениям в занятости.

Перспективными направлениями дальнейших исследований могут стать разработка и внедрение новых бизнес-моделей для цифрового сельского хозяйства, оценка влияния искусственного интеллекта на устойчивость аграрных экосистем, а также изучение факторов, определяющих успеш-

ность государственной поддержки цифровизации в сельском хозяйстве. Включение в будущее исследования комплексных методов прогнозирования и машинного обучения позволит повысить точность предсказания технологических тенденций и разработать адаптивные стратегии для стран БРИКС, способствующие устойчивому развитию их агропромышленного комплекса.

Библиографический список

1. Сальникова О. В., Рожкова Л. В. Применение инновационных технологий в сельском хозяйстве стран БРИКС // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2021. № 1 (57). С. 115–126. DOI: 10.21685/2072-3016-2021-1-10.
2. Скорцов Е. А., Скорцова Е. Г., Санду И. С., Иовлев Г. А. Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям // Экономика региона. 2018. Т. 14, вып. 3. С. 1014–1028. DOI: 10.17059/2018-3-23.
3. Sokolov A., Shashnov S., Kotsemir M. From BRICS to BRICS plus: selecting promising areas of S&T cooperation with developing countries // Scientometrics. 2021. Vol. 126. Pp. 8815–8859. DOI: 10.1007/s11192-021-04142-3.
4. Запорожцева Л. А., Измайлов М. К., Арбенина Е. А., Леонова Н. В. Использование цифровых инструментов и технологий для повышения эффективности деятельности субъектов аграрного сектора ЦФО России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 2 (81). С. 168–175. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_168
5. Морозкина А. К., Скрыбина В. Ю. БРИКС и партнерство в интересах устойчивого развития: перспективы расширения торговли с наименее развитыми странами // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2021. Т. 16, № 1. С. 85–106. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-01-04.
6. Ратнер С. В., Синельникова А. В. Сравнительный анализ развития рынков биотехнологий в странах БРИКС в условиях декарбонизации мировой экономики // Экономический анализ: теория и практика. 2022. Т. 21, № 7 (526). С. 1265–1290. DOI: 10.24891/ea.21.7.1265.
7. Шеламова Н. А. Стратегические направления укрепления продовольственной безопасности стран БРИКС на современном этапе // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2023. № 9. С. 10–15. DOI: 10.31442/0235-2494-2023-0-9-10-15.
8. Кубасова О. А., Лавров Л. А. Динамика вклада стран БРИКС в мировое производство сельскохозяйственной продукции // Социально-экономическая география: теория, методология и практика преподавания: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Москва, 2022. С. 91–98.
9. Воронина Н. П. Цифровая трансформация сельского хозяйства как драйвер развития сельскохозяйственной кооперации: правовое обеспечение и стратегическое планирование // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 4 (142). DOI: 10.23670/IRJ.2024.142.23.
10. Нестеренко Н. Ю. Возможности и барьеры устойчивого развития сельского хозяйства в странах БРИКС // АПК: экономика, управление. 2023. № 12. С. 110–121. DOI: 10.33305/2312-110.
11. Лаврентьев В. А., Лаврентьева Л. В., Сахедова Ч. А. Страны БРИКС и их влияние на мировую экономику в условиях геополитического кризиса [Электронный ресурс] // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2022. № 6 (64). С. 51–57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strany-briks-i-ih-vliyanie-na-mirovuyu-ekonomiku-v-usloviyah-geopoliticheskogo-krizisa> (дата обращения: 20.09.2025).
12. Pallottino F., Violino S., Figorilli S., et al. Applications and perspectives of Generative Artificial Intelligence in agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. 2025. Vol. 230. Article number 109919. DOI: 10.1016/j.compag.2025.109919.
13. Alka T., Sreenivasan A., Suresh M. Seeds of change: mapping the landscape of precision farming technology adoption among agricultural entrepreneurs // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2024. Article number 101238. DOI: 10.1016/j.jssas.2024.09.001.
14. Jiaduo E., Kibria M. G., Aspy N. N., Ullah E., Hossain M. E. The impact of agricultural employment and technological innovation on the environment: evidence from BRICS nations considering a novel environmental sustainability indicator // Sustainability. 2023. Vol. 15. Article number 15083. DOI: 10.3390/su152015083.

15. Dutta T., Sharma N. R., Bohn R., et al. The parallels of food self-sufficiency and hunger in light of sustainable agriculture: a case of the BRICS countries // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 494. Article number 04043. DOI: 10.1051/e3sconf/202449404043.
16. Vorozheykina T. M., Osipov V. S., Krishtaleva T. I., et al. Smart agriculture as a component of modern economic and environmental systems // In: Popkova E. G., Sergi B. S. (eds.) Smart Innovation in Agriculture. Smart Innovation, Systems and Technologies. Singapore: Springer, 2022. Pp. 47–53. DOI: 10.1007/978-981-16-7633-8_6. DOI: 10.1007/s11356-024-33479-4.
17. Saba C. S., Djemo C. R. T., Ngepah N. The crucial roles of ICT, renewable energy sources, industrialization, and institutional quality in achieving environmental sustainability in BRICS // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31. Pp. 35083–35114. DOI: 10.1007/s11356-024-33479-4.
18. Shah M. I., Usman M., Obekp H. O., et al. Nexus between environmental vulnerability and agricultural productivity in BRICS: what are the roles of renewable energy, environmental policy stringency, and technology? // Environmental Science and Pollution Research. 2023. Vol. 30. Pp. 15756–15774. DOI: 10.1007/s11356-022-23179-2.
19. Wang M., Wang J., Chen L. Mapping paddy rice using weakly supervised long short-term memory network with time series sentinel optical and SAR images // Agriculture. 2020. Vol. 10, No. 10. Article number 483. DOI: 10.3390/agriculture10100483.
20. Zhu M., Liu S., Xia Z., et al. Crop growth stage GPP-driven spectral model for evaluation of cultivated land quality using GA-BPNN // Agriculture. 2020. Vol. 10, No. 8. Article number 318. DOI: 10.3390/agriculture10080318.
21. Li H., Li Z., Dong W., et al. An automatic approach for detecting seedlings per hill of machine-transplanted hybrid rice utilizing machine vision // Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 185. Article number 106178. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106178.
22. Jiang H., Zhang C., Qiao Y., et al. CNN feature based graph convolutional network for weed and crop recognition in smart farming // Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 174. Article number 105450. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105450.
23. Tang J., Wang D., Zhang Z., et al. Weed identification based on K-means feature learning combined with convolutional neural network // Computers and Electronics in Agriculture. 2017. Vol. 135. Pp. 63–70. DOI: 10.1016/j.compag.2017.01.001.
24. Chen H., Ding Y., Gu S., Geng C., Sheng W. Experiential investigation of cluster velocity and slip velocity in the CFB riser // Powder Technology. 2020. Vol. 370. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.05.034.
25. Liu L.-W., Ma X., Wang Y.-M., et al. Using artificial intelligence algorithms to predict rice (*Oryza sativa* L.) growth rate for precision agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 187. Article number 106286. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106286.
26. Mao J., Yu Y., Rao X., Wang J. Firmness prediction and modeling by optimizing acoustic device for watermelons // Journal of Food Engineering. 2016. Vol. 168. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.07.009.
27. Chatterjee M., Naka I. Twenty years of BRICS: political and economic transformations through the lens of land // Oxford Development Studies. 2022. Vol. 50, No. 1. Pp. 2–13. DOI: 10.1080/13600818.2022.2033191.
28. Mujumdar A., Shadrin A. Impact investment for BRICS cooperation on sustainable development // Asia-Pacific Social Science Review. 2021. Vol. 21, No. 4. Article number 26. DOI: 10.59588/2350-8329.1452.
29. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. Показатели ЦУР. 2022–2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/sdg-progress/en/> (дата обращения: 04.03.2025).
30. Статистические индикаторы мирового развития в открытых источниках World Bank Open Data [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (дата обращения: 06.03.2025).
31. Соловьев Д. С. Метод объективизации значений весовых коэффициентов для принятия решений в многокритериальных задачах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. № 23 (1). С. 161–168. DOI: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168.
32. INSEAD & World Economic Forum. Network Readiness Index [Электронный ресурс]. URL: <https://networkreadinessindex.org/countries> (дата обращения: 09.12.2025).
33. Цифровые технологии в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oecd.org/agriculture/topics/digital-agriculture> (дата обращения: 02.03.2025).

Об авторах:

Ольга Титовна Ергунова, кандидат экономических наук, доцент, доцент Высшей школы производственного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-1714-7784, AuthorID 768185. E-mail: ergunova_ot@spbstu.ru

Елена Григорьевна Киселева, кандидат экономических наук, доцент, доцент Высшей школы производственного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-6334-5562, AuthorID 471025. *E-mail: chachina_eg@spbstu.ru*

Андрей Геннадьевич Сомов, кандидат экономических наук, старший преподаватель Высшей школы производственного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0009-0004-2592-9198, AuthorID 1199740. *E-mail: somov_ag@spbstu.ru*

References

1. Salnikova O. V., Rozhkova L. V. Application of innovative technologies in agriculture of BRICS countries. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Volga Region*. 2021; 1 (57): 115–126. DOI: 10.21685/2072-3016-2021-1-10. (In Russ.)
2. Skvortsov E. A., Skvortsova E. G., Sandu I. S., Iovlev G. A. Transition of Agriculture to Digital, Intellectual and Robotics Technologies. *Economy of Region*. 2018; 14 (3): 1014–1028. DOI: 10.17059/2018-3-23. (In Russ.)
3. Sokolov A., Shashnov S., Kotsemir M. From BRICS to BRICS plus: selecting promising areas of S&T co-operation with developing countries. *Scientometrics*. 2021; 126: 8815–8859. DOI: 10.1007/s11192-021-04142-3.
4. Zaporozhtseva L. A., Izmailov M. K., Arbenina E. A., Leonova N. V. Using digital tools and technologies to improve the efficiency of the subjects of agrarian sector of the Central Federal District of Russia. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2024; Vol. 17, 2(81): 168–175. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_168 (In Russ.)
5. Morozkina A. K., Skryabina V. Yu. BRICS and partnership for sustainable development: prospects for trade with least developed countries. *Bulletin of International Organizations: Education, Science, New Economy*. 2021; 16 (1): 85–106. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-01-04. (In Russ.)
6. Ratner S. V., Sinelnikova A. V. Comparative analysis of biotechnology market development in the BRICS countries under the world economy decarbonization. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2022; 21 (7): 1265–1290. DOI: 10.24891/ea.21.7.1265. (In Russ.)
7. Shelamova N. A. Strategic directions for strengthening food security of BRICS countries at the present stage. *Economics of Agricultural and Processing Enterprises*. 2023; 9: 10–15. DOI: 10.31442/0235-2494-2023-0-9-10-15. (In Russ.)
8. Kubasova O. A., Lavrov L. A. Dynamics of the BRICS countries' contribution to global agricultural production. In: *Socio-economic geography: theory, methodology, and teaching practice: proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation*. Moscow, 2022. Pp. 91–98. (In Russ.)
9. Voronina N. P. Digital transformation of agriculture as a driver for the development of agricultural co-operation: legal support and strategic planning. *International Research Journal*. 2024; 4 (142). DOI: 10.23670/IRJ.2024.142.23. (In Russ.)
10. Nesterenko N. Yu. Opportunities and barriers to sustainable agricultural development of agriculture in the BRICS countries. *Agro-Industrial Complex: Economics, Management*. 2023; 12: 110–121. DOI: 10.33305/2312-110. (In Russ.)
11. Lavrentyev V. A., Lavrentyeva L. V., Sakhedova Ch. A. BRICS countries and their impact on the global economy in the context of the geopolitical crisis. *Innovative Economy: Development Prospects and Improvement* [Internet]. 2022 [cited 2025 Sep 20]; 6 (64): 51–57. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/strany-briks-i-ih-vliyanie-na-mirovuyu-ekonomiku-v-usloviyah-geopoliticheskogo-krizisa>. (In Russ.)
12. Pallottino F., Violino S., Figorilli S., et al. Applications and perspectives of generative artificial intelligence in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025; 230: 109919. DOI: 10.1016/j.compag.2025.109919.
13. Alka T., Sreenivasan A., Suresh M. Seeds of change: mapping the landscape of precision-farming technology adoption among agricultural entrepreneurs. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2024; 101238. DOI: 10.1016/j.jssas.2024.09.001.
14. Jiaduo E., Kibria M. G., Aspy N. N., Ullah E., Hossain M. E. The impact of agricultural employment and technological innovation on the environment: evidence from BRICS nations considering a novel environmental sustainability indicator. *Sustainability*. 2023; 15: 15083 DOI: 10.3390/su152015083.
15. Dutta T., Sharma N. R., Bohn R., et al. The parallels of food self-sufficiency and hunger in light of sustainable agriculture: a case of the BRICS countries. *E3S Web of Conferences*. 2024; 494: 04043. DOI: 10.1051/e3sconf/202449404043.
16. Vorozheykina T. M., Osipov V. S., Krishtaleva T. I., et al. Smart agriculture as a component of modern economic and environmental systems. In: Popkova E. G., Sergi B. S. (eds.) *Smart Innovation in Agriculture. Smart Innovation, Systems and Technologies*. Vol. 264. Singapore: Springer, 2022. Pp. 47–53. DOI: 10.1007/978-981-16-7633-8_6.

17. Saba C. S., Djemo C. R. T., Ngepah N. The crucial roles of ICT, renewable energy sources, industrialization and institutional quality in achieving environmental sustainability in BRICS. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024; 31: 35083–35114. DOI: 10.1007/s11356-024-33479-4.
18. Shah M. I., Usman M., Obekp H. O., et al. Nexus between environmental vulnerability and agricultural productivity in BRICS: what are the roles of renewable energy, environmental policy stringency, and technology? *Environmental Science and Pollution Research*. 2023; 30: 15756–15774. DOI: 10.1007/s11356-022-23179-2.
19. Wang M., Wang J., Chen L. Mapping paddy rice using a weakly supervised long short-term memory network with time series Sentinel optical and SAR images. *Agriculture*. 2020; 10 (10): 483. DOI: 10.3390/agriculture10100483.
20. Zhu M., Liu S., Xia Z., et al. Crop growth stage GPP-driven spectral model for evaluation of cultivated-land quality using GA-BPNN. *Agriculture*. 2020; 10 (8): 318. DOI: 10.3390/agriculture10080318.
21. Li H., Li Z., Dong W., et al. An automatic approach for detecting seedlings per hill of machine-transplanted hybrid rice utilizing machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 185: 106178. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106178.
22. Jiang H., Zhang C., Qiao Y., Zhang Z., Zhang W., Song C. CNN feature-based graph convolutional network for weed and crop recognition in smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 174: 105450. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105450.
23. Tang J., Wang D., Zhang Z., et al. Weed identification based on K-means feature learning combined with a convolutional neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017; 135: 63–70. DOI: 10.1016/j.compag.2017.01.001.
24. Chen H., Ding Y., Gu S., Geng C., Sheng W. Experiential investigation of cluster velocity and slip velocity in the CFB riser. *Powder Technology*. 2020; 370. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.05.034.
25. Liu L.-W., Ma X., Wang Y.-M., et al. Using artificial-intelligence algorithms to predict rice (*Oryza sativa* L.) growth rate for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 187: 106286. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106286.
26. Mao J., Yu Y., Rao X., Wang J. Firmness prediction and modeling by optimizing an acoustic device for watermelons. *Journal of Food Engineering*. 2016; 168. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.07.009.
27. Chatterjee M., Naka I. Twenty years of BRICS: political and economic transformations through the lens of land. *Oxford Development Studies*. 2022; 50 (1): 2–13. DOI: 10.1080/13600818.2022.2033191.
28. Mujumdar A., Shadrin A. Impact investment for BRICS cooperation on sustainable development. *Asia-Pacific Social Science Review*. 2021; 21 (4): 26. DOI: 10.59588/2350-8329.1452.
29. Food and agriculture organization of the United Nations. *SDG Indicators* [Internet]. 2022–2023 [cited 2025 Sep 04]. Available from: <https://www.fao.org/sdg-progress/en>.
30. World Bank. *World Development Indicators* [Internet]. 2023 [cited 2025 Mar 06]. Available from: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.
31. Solovyev D. S. The objectification method of the weight coefficients for decision-making in multicriteria problems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2023; 23 (1): 161–168. DOI: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168. (In Russ.)
32. INSEAD and World Economic Forum. *Network Readiness Index* [Internet]. 2023 [cited 2025 Oct 09]. Available from: <https://networkreadinessindex.org/countries>.
33. Organisation for economic co-operation and development. *Digital technologies in agriculture* [Internet]. 2022 [cited 2025 Mar 02]. Available from: <https://www.oecd.org/agriculture/topics/digital-agriculture>.

Authors' information:

Olga T. Ergunova, candidate of economic sciences, associate professor at the Graduate School of Industrial Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-1714-7784, AuthorID 768185. E-mail: ergunova_ot@spbstu.ru

Elena G. Kiseleva, candidate of economic sciences, associate professor at the Graduate School of Industrial Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-6334-5562, AuthorID 471025. E-mail: chachina_eg@spbstu.ru

Andrey G. Somov, candidate of economic sciences, senior lecturer at the Graduate School of Industrial Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0009-0004-2592-9198, AuthorID 1199740. E-mail: somov_ag@spbstu.ru

Инструменты государственной кадровой политики по привлечению молодежи в сельское хозяйство: зарубежный опыт

О. А. Еремченко

Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

E-mail: tatrics@mail.ru

Аннотация. Актуальность статьи обусловлена устойчивым снижением кадрового обеспечения сельскохозяйственной отрасли в России. Так, доля молодежи в возрасте до 35 лет, занятой в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве за период 2018–2024 гг., сократилась с 30,7 до 24,2 %, что усиливает кадровые ограничения устойчивого развития аграрного сектора и внедрения инновационных технологий. **Целью** настоящего исследования является анализ инструментов государственной кадровой политики по привлечению и закреплению молодежи в сельском хозяйстве, применяемых в зарубежных странах, а также разработка предложений по усилению кадрового потенциала российского аграрного сектора. **Методологическую основу** исследования составили анализ отечественных и зарубежных научных публикаций, стратегических и нормативно-правовых документов, а также сравнительный анализ практик кадрового прогнозирования, дуального обучения и цифровизации образования в аграрной сфере. Ключевыми **результатами** исследования являются обоснование целесообразности внедрения в России регионально ориентированной системы прогнозирования кадровых потребностей по примеру чешской системы КОМРАС; разработка предложений по интеграции дуальных форм обучения в систему целевой подготовки аграрных кадров с увеличением доли производственной практики до 70 %; выявление роли цифровых образовательных инструментов (цифровые фермы, виртуальные лаборатории, AgTech-курсы) в сокращении цифрового неравенства и повышении привлекательности сельского хозяйства для молодежи. **Научная новизна** исследования заключается в систематизации зарубежных инструментов привлечения и закрепления молодежи в сельском хозяйстве и обосновании возможностей их адаптации к российским условиям. **Практическая значимость** исследования заключается в возможности использования полученных результатов органами государственной власти, образовательными организациями и компаниями агросектора при разработке и корректировке региональных программ кадрового обеспечения агропромышленного комплекса. Сделан вывод о необходимости реализации комплексного подхода, закрепленного в стратегических документах, для повышения эффективности государственной кадровой политики в аграрном секторе.

Ключевые слова: государственная кадровая политика, сельское хозяйство, кадровый потенциал, молодежь, меры государственной поддержки, дуальное образование, кадровое прогнозирование, цифровизация, зарубежный опыт

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания РАНХиГС при Президенте РФ.

Для цитирования: Еремченко О. А. Инструменты государственной кадровой политики по привлечению молодежи в сельское хозяйство: зарубежный опыт // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1804–1813. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1804-1813>.

Дата поступления статьи: 10.01.2026, **дата рецензирования:** 30.06.2026, **дата принятия:** 01.07.2026.

Instruments of state human resources policy for attracting young people to agriculture: international experience

O. A. Eremchenko

Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia

E-mail: tatrics@mail.ru

Economy

Abstract. The relevance of this study is determined by the persistent decline in human resources in the agricultural sector in Russia. In particular, the share of young people under the age of 35 employed in agriculture, forestry, hunting, fishing, and aquaculture decreased from 30.7 % to 24.2 % over the period 2018–2024, which intensifies labor constraints on the sustainable development of the agrarian sector and the implementation of innovative technologies. **The purpose** of this study is to analyze the instruments of public personnel policy used in foreign countries to attract and retain young people in agriculture, as well as to develop proposals for strengthening the human resource potential of the Russian agricultural sector. The **methodological framework** of the study includes an analysis of domestic and foreign scientific publications, strategic and regulatory documents, and a comparative analysis of practices in workforce forecasting, dual education, and the digitalization of education in the agricultural sector. The key **results** of the study include: substantiation of the feasibility of introducing a regionally oriented system for forecasting workforce needs in Russia, drawing on the example of the Czech KOMPAS system; the development of proposals for integrating dual forms of education into the system of targeted training of agricultural personnel with an increase in the share of practical training to 70 %; and identification of the role of digital educational tools (digital farms, virtual laboratories, AgTech courses) in reducing the digital divide and increasing the attractiveness of agriculture for young people. The **scientific novelty** of the study lies in the systematization of international instruments for attracting and retaining young people in agriculture and the substantiation of their potential adaptation to Russian conditions. The **practical significance** of the study lies in the possibility of using the obtained results by public authorities, educational institutions, and agribusiness companies in the development and adjustment of regional programs for human resource provision in the agro-industrial complex. The study concludes that the implementation of a comprehensive approach in strategic policy documents is necessary to enhance the effectiveness of state human resources policy in the agricultural sector.

Keywords: state human resources policy, agriculture, human resources potential, youth, state support measures, human resources forecasting, dual education, digitalization, international experience

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of the state assignment of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration.

For citation: Eremchenko O. A. Instruments of state human resources policy for attracting young people to agriculture: international experience. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1804–1813. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1804-1813>. (In Russ.)

Date of paper submission: 10.01.2026, **date of review:** 30.06.2026, **date of acceptance:** 01.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В современных условиях одним из ключевых факторов экономической и социальной стабильности государства выступает продовольственная безопасность, устойчивость которой напрямую зависит от уровня кадровой обеспеченности аграрного сектора. Актуальная для многих стран проблема дефицита рабочей силы в сельском хозяйстве и поиска путей его преодоления регулярно становится предметом научных исследований, обсуждений в экспертном сообществе и внимания со стороны органов государственного управления. Причиной повышенного внимания к данной проблеме как в России, так и за рубежом являются демографиче-

ские изменения, старение сельского населения, миграция молодежи в крупные города, а также снижение привлекательности сельскохозяйственных профессий для абитуриентов и специалистов на рынке труда, что формирует долгосрочные риски для развития сельских и отдаленных территорий.

В России сокращение численности молодежи, занятой в аграрном секторе, носит устойчивый характер. По данным Росстата, за период с 2018 по 2024 год доля молодежи в возрасте до 35 лет, занятой в сельском, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве (раздел А Общероссийского классификатора видов экономической деятельности ОКВЭД 2), снизилась с 30,7 до 24,2 % [1], что

© Eremchenko O. A., 2026

свидетельствует о сохраняющихся сложностях привлечения и удержания молодежи в отрасли. Нарастающий дефицит кадров ограничивает возможности устойчивого развития сельской экономики как напрямую (вследствие нехватки специалистов), так и опосредовано (за счет снижения способности отрасли к восприятию и внедрению инноваций, включая цифровое земледелие, рациональное землепользование и иные технологии). Одновременно с этим данные федерального статистического учета за 2024 год фиксируют потребность в 97,1 тыс. работниках для замещения вакантных рабочих мест в сельском, лесном хозяйстве, рыболовстве и рыбоводстве [2].

Реализуемый в России комплекс мер, направленных на формирование трудового потенциала сельского хозяйства, в том числе через привлечение и закрепление в отрасли молодежи, в определенной степени способствует смягчению проблемы кадрового голода в агросекторе. Однако структурные и демографические ограничения не позволяют в полной мере компенсировать нарастающий дефицит трудовых ресурсов в сельской местности. Одним из ответов на этот вызов стал запуск федерального проекта «Кадры в АПК», входящего в состав национального проекта «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности». Объем финансирования проекта «Кадры в АПК» на 2025–2027 годы запланирован в объеме 28,1 млрд руб., а целевым показателем проекта является достижение уровня укомплектованности аграрных предприятий кадрами не ниже 95 % [3].

Учитывая масштаб и сложность проблемы кадрового дефицита, целесообразно обратиться к зарубежному опыту, позволяющему выявить и проанализировать эффективные инструменты государственной политики по привлечению, подготовке и удержанию трудовых ресурсов. В последующих разделах статьи рассматриваются эти практики с акцентом на те инструменты, которые могут быть адаптированы и успешно применены в России для дополнения существующих мер и повышения их эффективности.

Методология и методы исследования (Methods)

В исследованиях российских ученых неоднократно поднимались вопросы обеспеченности сельского хозяйства трудовыми ресурсами, в том числе в контексте демографических ограничений и роли государственной кадровой политики [4; 5]. В некоторых работах также рассматриваются отдельные элементы опыта регулирования занятости в аграрном секторе в других странах [6; 7]. Вместе с тем, несмотря на наличие значительного массива научных публикаций, недостаточно исследованными остаются вопросы анализа зарубежных инструментов государственной кадровой политики, ориентированных именно на привлечение и закрепление молодежи в сельском хозяйстве.

В связи с этим целью настоящей статьи является анализ инструментов государственной кадровой политики по привлечению и закреплению молодежи в сельском хозяйстве, применяемых в зарубежных странах, а также разработка предложений по усилению кадрового потенциала сельскохозяйственной отрасли России на основе адаптации зарубежных инструментов государственной кадровой политики.

Зарубежные работы по проблематике кадрового обеспечения сельского хозяйства охватывают широкий спектр научных и аналитических документов, поскольку дефицит рабочей силы и компетенций признается одной из ключевых проблем развития агропромышленного комплекса в развитых и развивающихся странах. Библиометрический анализ научных публикаций по направлению «занятость в сельском хозяйстве» за 2008–2018 годы, выполненный P. D. Malanski с соавторами, показал, что максимальное внимание ученых по всему миру сосредоточено на вопросах изучения рынка труда, сельской занятости и организации труда наряду с проблемами охраны труда, сельскохозяйственной политикой и развитием семейных ферм [8].

Многочисленные зарубежные исследования посвящены анализу факторов, влияющих на нехватку кадров [9], прогнозированию потребности в рабочей силе (см., например, обзор A. Safarishahrbiari [10]), а также институциональным и организационным особенностям трудоустройства в сельскохозяйственном секторе [11]. В странах Европы особое внимание уделяется вопросам использования труда мигрантов [12; 13]. Так, обзор ключевых проблем занятости в агропродовольственном секторе развивающихся стран, выполненный в 2025 году T. Mizik с соавторами на основе данных 129 научных статей, подчеркнул необходимость сосредоточить усилия на изучении влияния внутренней и внешней миграции на динамику рабочей силы [14]. Отдельный пул работ посвящен анализу инструментов государственной политики, применяемых для регулирования дефицита кадров в агропромышленном секторе [15].

В стратегических документах зарубежных стран среди ключевых направлений повышения эффективности кадровой политики упоминаются развитие социальной и транспортной инфраструктуры, создание благоприятных условий для предпринимательства и поддержки молодых фермеров, реализация экологических инициатив и другие меры. Так, актуальность поиска оптимальной стратегии привлечения и удержания молодежи в сельском хозяйстве в очередной раз манифестирована в рамках конгресса «Будущее молодежи в сельской местности: обязанности местных и региональных властей», прошедшего в 2022 году под эгидой Совета Европы [16]. В число основных рекомендаций конгресса для органов власти были включены:

- развитие инфраструктуры сельских территорий, включая улучшение доступа к качественному образованию, здравоохранению и базовым услугам;
- содействие участия молодежи в политической жизни;
- создание и поддержка молодежных организаций для преодоления социальной изоляции и активизации изменений в сельских районах;
- обеспечение равного доступа к образовательным, трудовым и социальным программам;
- вовлечение молодежи в проекты по защите окружающей среды, развитие сельского туризма и предпринимательства;
- улучшение имиджа сельских территорий и сохранение культурного наследия, включая программы культурного обмена, поддержку ремесел и проведение фестивалей.

В целом как российский, так и зарубежный опыт свидетельствует о том, что привлечение молодежи в аграрный сектор требует комплексного подхода, закрепленного в стратегических документах национального и регионального уровней. Такой подход должен включать образовательные и профессиональные меры, направленные на сокращение цифрового неравенства, расширение программ профессиональной переподготовки и практико-ориентированных стажировок, а также активное вовлечение молодежи в управление аграрным сектором, что обусловило выбор методического инструментария настоящего исследования.

Выполненный в рамках настоящего исследования анализ зарубежного опыта включал изучение инструментов государственной кадровой политики, применяемых в странах ЕС, БРИКС, США и Канады, с акцентом на меры, направленные на привлечение и долгосрочное закрепление молодежи в сельскохозяйственном секторе. Информационную базу исследования составили документы стратегического планирования и программные документы национального и регионального уровней, материалы профильных министерств и ведомств (национальных проектов и государственных программ), а также результаты эмпирических и аналитических исследований, представленных в научных публикациях и отчетах международных организаций за период с 2006 года по настоящее время. В работе использовались методы анализа и синтеза, контент-анализ, а также элементы статистического анализа официальных данных, характеризующих динамику занятости в сельском хозяйстве.

Применение описанного выше методического инструментария и сравнительного анализа зарубежных практик позволило выделить три инструмента государственной кадровой политики, которые могли бы быть успешно адаптированы к российским социально-экономическим условиям:

- 1) внедрение регионально ориентированной системы прогнозирования кадровых потребностей по примеру чешской системы КОМПАС;
- 2) интеграция дуальных форм обучения в систему целевой подготовки аграрных кадров;
- 3) сокращение цифрового неравенства и повышение привлекательности сельского хозяйства для молодежи за счет распространения цифровых образовательных инструментов.

Описание каждого из них представлено в следующем разделе.

Результаты (Results)

Разработка системы прогнозирования кадров как элемента системы принятия решений в государственной кадровой политике

Анализ зарубежного опыта показал, что одним из наиболее развитых инструментов поддержки принятия решений в государственной кадровой политике является система мониторинга рынка труда КОМПАС, разработанная в 2021 году в Чехии в рамках проекта «Labour Market Forecasting – Kompas». Система ориентирована на формирование среднесрочных прогнозов с горизонтом планирования в пять лет и охватывает три ключевых направления: прогнозирование занятости по секторам экономики (41 кластер), по профессиям (131 кластер) и по уровню образования (31 кластер). Прогнозы строятся как на национальном уровне, так и для каждого из 14 регионов страны, что обеспечивает высокий уровень территориальной детализации [17]. Данные обновляются ежегодно и доступны на онлайн-платформе <https://www.predikcetrhuprace.cz>.

Отличительной особенностью системы КОМПАС является интеграция количественных и качественных методов анализа [18]. В основе расчетов лежит модель LEON, позволяющая оценивать перспективное соотношение спроса и предложения рабочей силы с использованием индекса ситуации на рынке труда в будущем (Indicator of Future Labour Market Situation, IFLM). Данный показатель отражает потенциальный дефицит или избыток кадров в процентном выражении относительно ожидаемого предложения рабочей силы.

Информационной базой системы КОМПАС служат данные государственной статистики по занятости, сведения о вакансиях, результаты обследования рабочей силы, прогноз числа выпускников по регионам и направлениям, экспертные оценки по каждому из 14 регионов. Вместе с тем к числу ограничений модели следует отнести погрешность региональных прогнозов ввиду недостаточной детализации исходных данных, объединение ряда профессий и секторов, неполные сведения об уровне образования работников и миграции. Существенным элементом системы являются экспертные оценки, формируемые для каждого региона и используемые для корректировки расчетных прогнозов с учетом региональной специфики.

Пример визуализации прогноза для некоторых профессий представлен на рис. 1. Отметим, что не для всех профессий доступен прогноз из-за недостаточного количества данных (например, в области сельского хозяйства нет данных по таким профессиям, как заводчик товарных животных; фермер, ведущий натуральное хозяйство; ветеринары; производитель и селекционер в смешанном сельском хозяйстве, и другим).

KOMPAS является источником поддержки принятия стратегических решений органами власти для снижения диспропорций на рынке труда, восполнения недостатка региональной информации для анализа и моделирования рынка труда, внедрения результатов прогнозов в образовательную, инновационную и региональную политику. Проект завершен в 2022 году, но Министерство труда и социальных дел Чехии продолжает обновлять прогнозы, а Европейский центр развития профессионального образования и обучения Cedefop относит KOMPAS к лучшим инструментам прогнозирования кадровых потребностей, учитывающих региональный аспект.

Несмотря на наличие инструментов оценки потребности в специалистах с использованием данных Росстата и профильных министерств, существующая в России система прогнозирования кадров требует доработки и совершенствования, поскольку региональные прогнозы имеют низкую детализацию, данные из разных источников не всегда согласованы, а связь с реальными требованиями рынка труда недостаточна. В частности, для повышения точности прогнозов и их практической применимости на разных уровнях целесообразно развивать единый онлайн-ресурс, позволяющий визуализировать данные по отдельным регионам по примеру KOMPAS. Такой ресурс мог бы объединять актуальные данные о занятости, вакансиях и выпускниках, интегрировать прогнозы с образовательными программами, включая дуальное обучение и проекты программы «Профессионалитет», обеспечивать участие работодателей и отраслевых экспертов в корректировке. В качестве такой онлайн-платформы может выступать портал «Работа России».

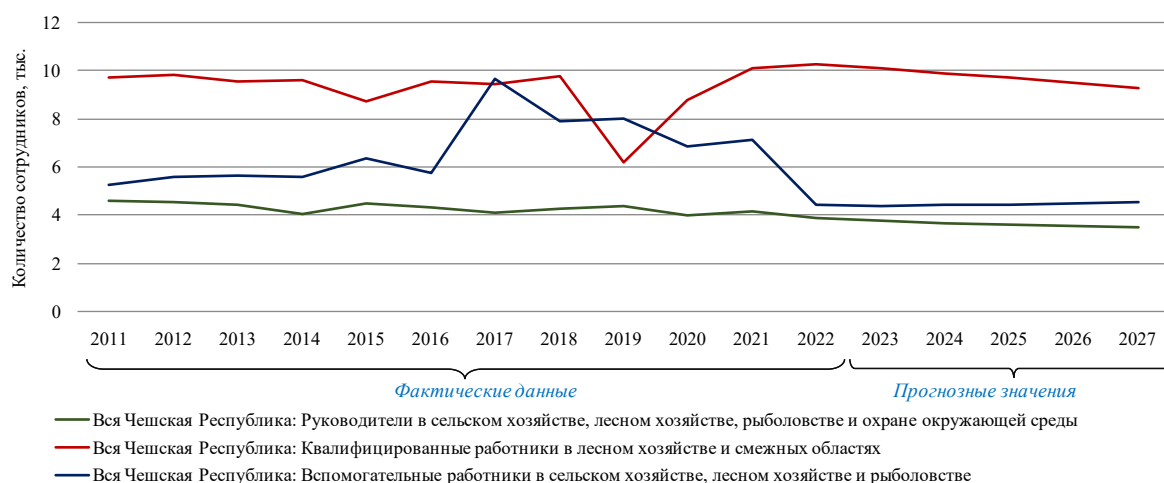


Рис. 1. Прогноз занятости по профессиям в системе KOMPAS

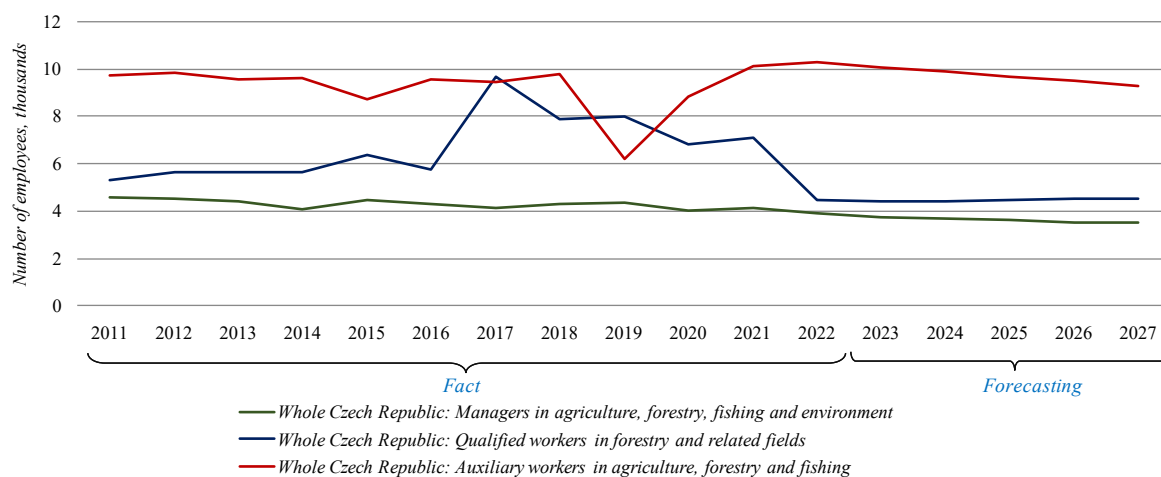


Fig. 1. Employment forecast by occupations in the KOMPAS system

Интеграция дуальных форм обучения в систему целевой подготовки кадров для аграрного сектора

В Германии для подготовки необходимых экономике специалистов используется такой формат целевой подготовки, как дуальная система обучения, предполагающая сочетание теоретического обучения (около 30 % времени) с практической подготовкой непосредственно на предприятиях (около 70 % времени) [19]. Студенты заключают трудовой договор с работодателем и получают заработную плату, что способствует выбору этой профессиональной траектории.

В рамках дуального обучения готовят широкий спектр специалистов для аграрного сектора, включая фермеров, агротехников, животноводов. Обучение по этим направлениям проходит преимущественно в сельской местности и длится в среднем 2,5–3 года. В формировании программ и контроле качества обучения активно принимают участие профессиональные палаты и региональные ассоциации фермеров. В Германии в дуальной системе подготовки кадров задействовано около 12 тысяч фермерских хозяйств и аграрных предприятий. На конец 2024 года по сельскохозяйственным направлениям в системе дуального образования в Германии обучалось 31 600 человек (2,6 % от общей численности дуальных обучающихся) [20]. При этом уровень трудоустройства выпускников аграрных программ составляет около 85 %, а более половины остаются работать в сельской местности [21].

В России подготовка кадров для сельскохозяйственного сектора экономики в рамках дуального образования уже реализуется в ряде регионов (Краснодарском крае, Ростовской области, Республике Татарстан и других) в формате прохождения производственной практики с выплатой стипендии. Целесообразно рассмотреть возможность расширения текущего формата практики до полноценного образовательного процесса и интеграции дуального обучения в систему целевой подготовки кадров на портале «Работа России». Дополнительно для повышения привлекательности программ дуального обучения по примеру зарубежных стран следует рассмотреть возможность субсидирования предприятий, участвующих в обучении, создания региональных аграрных кампусов и внедрения цифровых технологий в программы обучения. Особое внимание необходимо уделить решению проблем, ограничивающих развитие дуального обучения в России, таких как низкая мотивация работодателей к участию в таких программах, слабая инфраструктура в регионах и узкая практика цифровизации.

Внедрение цифровых инструментов в систему подготовки специалистов

Внедрение цифровых инструментов в образовательный процесс активно осуществляется во многих

зарубежных странах, решая задачи повышения практической значимости обучения, формирования у студентов навыков и компетенций работы с инновационными технологиями, а также индивидуализации их образовательных траекторий и повышения мотивации к выбору профессии в сельском хозяйстве.

В качестве примера цифровизации аграрного сектора, включая образование, приведем проект по развитию точного земледелия. В 2016 году в Нидерландах стартовал совместный проект умного земледелия Nationale Proeftuin Precisielandbouw (<https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/>), инициированный Министерством экономики, климата и сельского хозяйства и Университетом Вагенингена, в рамках которого демонстрировались преимущества применения технологий точного земледелия, такие как GPS-навигация, сенсоры, системы автоматического полива и роботизированные установки. Ведущие вузы активно используют цифровые фермы и виртуальные лаборатории, где студенты отрабатывают навыки управления агропроизводством с помощью цифровых симуляторов, программ для моделирования климатических условий, систем точного земледелия и автоматизированных установок для ухода за животными и растениями.

Согласно опросу преподавателей и студентов программы по управлению фермерскими хозяйствами, в Швейцарии 57 % учащихся узнали о цифровых технологиях во время обучения в профессионально-технических учебных заведениях [22]. В США активно внедряются технологии дистанционного мониторинга и анализа данных для аграрного образования. Студенты работают с дронами для оценки состояния посевов, программами GIS для планирования, а также с системами машинного обучения для прогнозирования урожайности.

Российские исследования также подтверждают значимость цифровой среды как одного из факторов привлекательности сельских территорий для молодежи [23], который обеспечивает доступ к информационным технологиям и онлайн-платформам и способствует расширению возможностей обучения и социализации в сельской местности, снижая ощущение территориальной изолированности и повышая качество жизни. Таким образом, в настоящее время для молодежи наряду с экономическими условиями выбора места проживания и работы важным фактором остается наличие устойчивого доступа к сети Интернет. В России с 2014 года реализуется проект по устранению цифрового неравенства, направленный на обеспечение высокоскоростным доступом в интернет малонаселенных пунктов [24]. Вместе с тем сохраняющиеся природно-климатические и инфраструктурные ограничения не позволяют обеспечить равномерное развитие цифровой среды на всей территории страны. По данным ИСИЭЗ НИУ ВШЭ, в 2022 году доступ

к сети Интернет имели 87 % российских домохозяйств [25], что свидетельствует о наличии цифровых разрывов, в том числе между городскими и сельскими территориями.

В условиях цифровизации аграрного производства ограниченный доступ к информационным технологиям снижает эффективность внедрения цифровых образовательных инструментов, дистанционных форм обучения и практико-ориентированных программ подготовки кадров. В этой связи развитие цифровой инфраструктуры в сельской местности целесообразно рассматривать как элемент государственной кадровой политики, направленной не только на подготовку, но и на долгосрочное закрепление молодежи в аграрном секторе.

В России уровень внедрения цифровых технологий в аграрном образовании растет, но все еще остается низким. Так, в ведущих сельскохозяйственных вузах создают цифровые фермы и виртуальные лаборатории, разрабатываются курсы по цифровому сельскому хозяйству, однако эти меры носят точечный характер, не охватывают все регионы и уровни образования. Создание цифровых кампусов, развитие программ AgTech и системная интеграция практической подготовки на предприятиях позволят формировать компетенции, востребованные в условиях цифровизации сельского хозяйства, и могут рассматриваться как один из факторов долгосрочного закрепления молодежи в аграрной сфере.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Выполненный в рамках настоящего исследования анализ зарубежного опыта государственной кадровой политики в сельском хозяйстве подтверждает высокую актуальность проблемы привлечения и закрепления молодежи в аграрном секторе, что обусловлено устойчивыми демографическими изменениями, внешней и внутренней миграцией населения, а также трансформацией рынков труда. Как в России, так и за рубежом кадровый дефицит в сельском хозяйстве носит долгосрочный характер и формирует ограничения для развития агропромышленного комплекса и сельских территорий, снижая их инвестиционную и инновационную привлекательность.

Зарубежная практика демонстрирует, что наиболее результативными являются комплексные модели кадровой политики, закрепленные в стратегических документах национального и регионального уровней. Такие модели сочетают меры социально-экономической поддержки, развитие инфраструктуры, расширение возможностей профессионального и карьерного роста, поддержку молодежного предпринимательства и фермерства, а также активное внедрение цифровых и экологических инициатив. Важной особенностью данных подходов является ориентация не только на подго-

товку кадров, но и на их долгосрочное закрепление в сельской местности.

Особое значение в зарубежных моделях придается развитию систем прогнозирования кадровых потребностей как элемента поддержки принятия управленческих решений. Регионально детализированные прогнозы, интегрированные с системой образования и рынком труда, позволяют корректировать образовательные программы и снижать структурные диспропорции. Подобный инструмент мог бы стать хорошим дополнением к уже реализуемым мерам и мероприятиям, поскольку в российской практике сохраняется необходимость повышения согласованности данных, детализации региональных прогнозов и их увязки с реальными потребностями работодателей.

Отдельного внимания заслуживает опыт внедрения дуальных форм обучения, которые в зарубежных странах выступают одним из ключевых механизмов подготовки и закрепления молодых специалистов в сельском хозяйстве. Преобладание практической подготовки, раннее включение обучающихся в производственную деятельность и участие работодателей в формировании образовательных программ способствуют росту трудоустройства выпускников и их ориентации на работу в сельской местности. В России дуальные элементы используются ограниченно и требуют институционального и нормативного закрепления.

Не менее значимым фактором привлекательности сельских территорий для молодежи является уровень развития цифровой инфраструктуры и доступ к современным образовательным и профессиональным цифровым инструментам. Зарубежный опыт показывает, что цифровые фермы, виртуальные лаборатории и AgTech-курсы не только повышают качество подготовки специалистов, но и формируют у молодежи представление о сельском хозяйстве как о технологически развитой и перспективной сфере деятельности. По мнению авторов настоящей статьи, ограниченный доступ к интернету и цифровым сервисам в ряде сельских территорий России выступает сдерживающим фактором выбора сельского образа жизни.

С учетом полученных результатов и их интерпретации в контексте зарубежного опыта сформулированы следующие выводы и рекомендации:

1. Для увеличения точности и практической применимости прогнозов кадровых потребностей целесообразно развивать единый онлайн-ресурс с визуализацией данных, объединяющий сведения о занятости, вакансиях и выпускниках, интегрирующий прогнозы с образовательными программами, включая дуальное обучение и проекты «Профессионалитет», а также обеспечивающий участие работодателей и отраслевых экспертов в корректировке прогнозов на платформе «Работа России».

2. Для повышения эффективности целевой подготовки аграрных кадров представляется целесообразным переход по ряду образовательных программ от традиционной производственной практики к дуальным формам обучения, предполагающим до 70 % времени, отводимого на практическую подготовку непосредственно на предприятиях аграрного сектора.

3. С целью институционализации дуальной модели профессиональной подготовки необходимо закрепить ее правовой статус в нормативно-правовых документах, включая внесение прямого упоминания дуального обучения в Федеральный закон № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», а также разработку федеральных стандартов дуальной модели в рамках подзаконных актов, регулирующих практическую подготовку обучающихся.

4. Для формирования устойчивых условий привлечения и закрепления молодежи в сельском хозяйстве требуется развитие цифровой инфраструктуры и системное внедрение цифровых образовательных инструментов – цифровых ферм, виртуальных лабораторий, AgTech-курсов – на всех уровнях аграрного образования и во всех регионах страны. Обеспечение устойчивого доступа к сети Интернет на сельских территориях должно рассматриваться как элемент государственной кадровой политики.

В целом результаты исследования подтверждают, что решение проблемы кадрового дефицита в сельском хозяйстве требует перехода от разрозненных мер к комплексной, межсекторальной модели государственной кадровой политики, ориентированной на долгосрочное развитие человеческого капитала и повышение привлекательности сельских территорий для молодежи.

Библиографический список

1. Микроданные выборочных обследований рабочей силы [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/labour_force (дата обращения: 19.10.2025).
2. Потребность в работниках для замещения вакантных рабочих мест с 2018 г. (человек, значение показателя за год) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/59086> (дата обращения: 09.08.2025).
3. Кадры в АПК [Электронный ресурс] // Национальные проекты. АНО «Национальные приоритеты», 2020–2025. URL: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/tekhnologicheskoe-obespechenie-prodovolstvennoy-bezopasnosti/kadry-v-apk> (дата обращения: 09.12.2025).
4. Вашаломидзе Е. В. Проблемы кадрового обеспечения в российском сельском хозяйстве // Экономика и социум: современные модели развития. 2022. Т. 12, № 1. С. 19–28.
5. Ермоленко О. Д. Проблемы и перспективы обеспеченности трудовыми ресурсами сельского хозяйства России // Аграрная Россия. 2021. № 1. С. 37–41. DOI: 10.30906/1999-5636-2021-1-37-41.
6. Коваль А. Л. Анализ кадрового обеспечения сельскохозяйственной отрасли России // Russian Journal of Management. 2023. Т. 11, № 4. С. 31–43. DOI: 10.29039/2409-6024-2023-11-4-31-43.
7. Ловчикова Е. И. Влияние государственного регулирования на кадровое обеспечение сельского хозяйства // Вестник Академии знаний. 2020. № 40 (5). С. 244–249. DOI: 10.24412/2304-6139-2020-10623.
8. Malanski P. D., Schiavi S., Dedieu B. Characteristics of “work in agriculture” scientific communities. A bibliometric review // Agronomy for Sustainable Development. 2019. Vol. 39, No 36. DOI: 10.1007/s13593-019-0582-2.
9. Dedieu B., Nettle R., Schiavi S., Sraïri M., Malanski P. Which perspectives for work in agriculture? Food for thought for a research agenda // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2022. No. 6. DOI: 10.3389/fsufs.2022.857887.
10. Safarishahrbiari A. Workforce forecasting models: a systematic review // Journal of Forecasting. 2018. Vol. 37, No. 7. Pp. 739–753. DOI: 10.1002/for.2541.
11. Williams C., Horodnic A. Tackling undeclared work in the agricultural sector [Электронный ресурс] // European Platform Undeclared Work. 2018. URL: <https://www.ela.europa.eu/sites/default/files/2021-09/%27Tackling%20undeclared%20work%20in%20the%20agricultural%20sector%27%20report.pdf> (дата обращения: 04.03.2025).
12. Bodescu D., et al. Relevant skills for employment and entrepreneurship in the agri-food sector // Sustainable Agricultural Economy. 2024. Vol. 16, No. 2. DOI: 10.3390/su16020787.
13. Martin P. L. Immigration and farm labor: challenges and opportunities [Электронный ресурс] // Giannini Foundation Information Series 017-1. 2017. Vol. 18. No. 1. URL: https://s.giannini.ucop.edu/uploads/giannini_public/dd/d9/ddd90bf0-2bf0-41ea-bc29-28c5e4e9b049/immigration_and_farm_labor_-_philip_martin.pdf (дата обращения: 04.03.2025).
14. Mizik T., Nagy J., Molnar E.M., Maro Z.M. Challenges of employment in the agrifood sector of developing countries – a systematic literature review // Humanities and Social Sciences Communications. 2025. No. 12. DOI: 10.1057/s41599-024-04308-3.

15. Ryan M. Labour and skills shortages in the agro-food sector // OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. 2023. Paper No. 189. 40 p. DOI: 10.1787/ed758aab-en.
16. The future of youth in rural areas: responsibilities of local and regional authorities: Report of the Congress of Local and Regional Authorities of the Council of Europe [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://rm.coe.int/cg-2022-42-15-en-the-future-of-youth-in-rural-areas-responsibilities-o/1680a5b14d> (дата обращения: 08.12.2025).
17. Skills anticipation in Czechia (2023 Update) [Электронный ресурс] // Cedefop. Publications and reports. URL: <https://www.cedefop.europa.eu/en/data-insights/skills-anticipation-czechia-2023-update> (дата обращения: 19.10.2025).
18. Czechia: Kompas pilot project: a skills needs forecast system [Электронный ресурс] // Cedefop. URL: <https://www.cedefop.europa.eu/en/news/czechia-kompas-pilot-project-skills-needs-forecast-system> (дата обращения: 09.10.2025).
19. Vocational training [Электронный ресурс] // EU-Gleichbehandlungsstelle. URL: <https://www.eu-gleichbehandlungsstelle.de/eugs-en/eu-citizens/information-center/vocational-training> (дата обращения: 09.10.2025).
20. Apprenticeship trends: Germany sees growth among foreign trainees [Электронный ресурс] // Newsworm. 28.08.2025. URL: <https://www.newsworm.de/news/apprenticeship-trends-2024-germany-sees-growth-among-foreign-trainees> (дата обращения: 09.10.2025).
21. Vocational education and training in Europe [Электронный ресурс] // Cedefop. URL: <https://www.cedefop.europa.eu/en/tools/vet-in-europe/systems/germany-u2> (дата обращения: 09.10.2025).
22. Ammann J., Walter A., El-Benni N. Adoption and perception of farm management information systems by future Swiss farm managers – an online study // Journal of Rural Studies. 2022. Vol. 89. Pp. 298–305.
23. Gataullina L. N., Tuktarova G. M., Nezhmetdinova F. T., Fassakhova G. R. Socialization of rural youth issues in the development of agricultural industry and society // International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2023). 2024. Vol. 103. DOI: 10.1051/bioconf/202410300068.
24. Универсальные услуги связи и проект устранения цифрового неравенства [Электронный ресурс] // Ростелеком. 2025. URL: <https://www.company.rt.ru/projects/uus> (дата обращения: 14.03.2025).
25. Кузина Л. С., Попов Е. В., Щербаков Р. А. Почти все домохозяйства в России выходят в сеть на высоких скоростях [Электронный ресурс] // ИСИЭЗ НИУ ВШЭ. 2023. URL: <https://issek.hse.ru/news/828416272.html> (дата обращения: 18.04.2025).

Об авторе:

Ольга Андреевна Еремченко, старший научный сотрудник, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия; ORCID 0000-0001-5964-9080, AuthorID 696830. E-mail: tatrics@mail.ru

References

1. *Microdata from the Labour Force Sample Surveys* [Internet] [cited 2025 Oct 19]. Available from: https://rosstat.gov.ru/labour_force. (In Russ.)
2. *Need for workers to fill vacant jobs from 2018* [Internet] [cited 2025 Aug 09]. Available from: <https://www.fedstat.ru/indicator/59086>. (In Russ.)
3. *Personnel in Agro-Industrial Complex (AIC)* [Internet]. National Projects. ANO “National Priorities”, 2020–2025 [cited 2025 Dec 09]. Available from: <https://xn--80aapampemcchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/tekhnologicheskoe-obespechenie-prodovolstvennoy-bezopasnosti/kadry-v-apk>. (In Russ.)
4. Vashalomidze E. V. Problems of staffing in Russian agriculture. *Economics and Society: Contemporary Models of Development*. 2022; 12 (1): 19–28. (In Russ.)
5. Ermolenko O. D. Problems and prospects of providing Russian agriculture with labor resources. *Agrarnaya Rossiya*. 2021; 1: 37–41. DOI: 10.30906/1999-5636-2021-1-37-41. (In Russ.)
6. Koval A. L. Analysis of staff support in the agricultural industry of Russia. *Russian Journal of Management*. 2023; 11 (4): 31–43. DOI: 10.29039/2409-6024-2023-11-4-31-43.
7. Lovchikova E. I. The impact of state regulation on the staffing of agriculture. *Vestnik Akademii Znanij*. 2020; 40 (5): 244–249. DOI: 10.24412/2304-6139-2020-10623. (In Russ.)
8. Malanski P. D., Schiavi S., Dedieu B. Characteristics of “work in agriculture” scientific communities: a bibliometric review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2019; 39: 36. DOI: 10.1007/s13593-019-0582-2
9. Dedieu B., Nettle R., Schiavi S., Sraïri M., Malanski P. Which perspectives for work in agriculture? Food for thought for a research agenda. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022; 6: 857887. DOI: 10.3389/fsufs.2022.857887.

10. Safarishahrbiari A. Workforce forecasting models: a systematic review. *Journal of Forecasting*. 2018; 37 (7): 739–753. DOI: 10.1002/for.2541.
11. Williams C., Horodnic A. Tackling undeclared work in the agricultural sector *European Platform Undeclared Work* [Internet]; 2018 [cited 2025 Mar 04]. Available from: <https://www.ela.europa.eu/sites/default/files/2021-09/%27Tackling%20undeclared%20work%20in%20the%20agricultural%20sector%27%20report.pdf>.
12. Bodescu D., Sirghea A., Rațu R. N., Chiruță C., Mălăncuș R.-N., Donosă D., Robu A.-D. Relevant skills for employment and entrepreneurship in the agri-food sector. *Sustainability*. 2024; 16 (2): 787. DOI: 10.3390/su16020787.
13. Martin P. L. Immigration and farm labor: challenges and opportunities *Giannini Foundation Information Series 017-1* [Internet]. 2017 [cited 2025 Mar 04]; 18 (1). Available from: https://s.giannini.ucop.edu/uploads/giannini_public/dd/d9/ddd90bf0-2bf0-41ea-bc29-28c5e4e9b049/immigration_and_farm_labor_-_philip_martin.pdf.
14. Mizik T., Nagy J., Molnar E. M., Maro Z. M. Challenges of employment in the agrifood sector of developing countries – a systematic literature review. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2025; 12: 62. DOI: 10.1057/s41599-024-04308-3.
15. Ryan M. Labour and skills shortages in the agro-food sector. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*. 2023. DOI: 10.1787/ed758aab-en.
16. *The future of youth in rural areas: responsibilities of local and regional authorities: Report of the Congress of Local and Regional Authorities of the Council of Europe* [Internet]. 2022 [cited 2025 Dec 08]. Available from: <https://rm.coe.int/cg-2022-42-15-en-the-future-of-youth-in-rural-areas-responsibilities-o/1680a5b14d>.
17. Skills anticipation in Czechia (2023 Update) *Cedefop Publications and Reports* [Internet] [cited 2025 Oct 19]. Available from: <https://www.cedefop.europa.eu/en/data-insights/skills-anticipation-czechia-2023-update>.
18. Czechia: Kompas pilot project – a skills needs forecast system. *Cedefop* [Internet] [cited 2025 Oct 09]. Available from: <https://www.cedefop.europa.eu/en/news/czechia-kompas-pilot-project-skills-needs-forecast-system>.
19. Vocational training *EU-Gleichbehandlungsstelle* [Internet] [cited 2025 Oct 09]. Available from: <https://www.eu-gleichbehandlungsstelle.de/eugs-en/eu-citizens/information-center/vocational-training>.
20. Apprenticeship trends: Germany sees growth among foreign trainees. *Newsworm* [Internet]. 2025 [cited 2025 Oct 09]. Available from: <https://www.newsworm.de/news/apprenticeship-trends-2024-germany-sees-growth-among-foreign-trainees>.
21. Vocational education and training in Europe. *Cedefop* [Internet] [cited 2025 Oct 09]. Available from: <https://www.cedefop.europa.eu/en/tools/vet-in-europe/systems/germany-u2>.
22. Ammann J., Walter A., El-Benni N. Adoption and perception of farm management information systems by future Swiss farm managers – an online study. *Journal of Rural Studies*. 2022; 89: 298–305.
23. Gataullina L. N., Tuktarova G. M., Nezhmetdinova F. T., Fassakhova G. R. Socialization of rural youth issues in the development of agricultural industry and society. *International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2023)*. 2024; 103. DOI: 10.1051/bioconf/202410300068. (In Russ.)
24. Universal communication services and the project of eliminating digital inequality. *Rostelecom* [Internet]. 2025 [cited 2025 Mar 14]. Available from: <https://www.company.rt.ru/projects/uus>. (In Russ.)
25. Kuzina L. S., Popov E. V., Shcherbakov R. A. Nearly all households in Russia access high-speed internet *ISSEK HSE* [Internet]. 2023 [cited 2025 Apr 18]. Available from: <https://issek.hse.ru/news/828416272.html>. (In Russ.)

Author's information:

Olga A. Eremchenko, senior researcher, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia; ORCID 0000-0001-5964-9080, AuthorID 696830. E-mail: tatrics@mail.ru

Трансформация системы управления аграрными вузами в цифровом пространстве

Н. Ю. Зубарев¹, А. А. Урасова², И. В. Царенко^{2✉}, Ю. Н. Зубарев³

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

² Пермский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия

³ Пермский государственный аграрнотехнологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

✉ E-mail: tsarenko.iv@uiec.ru

Аннотация. Быстрая цифровизация агропромышленного комплекса и развертывание отраслевых платформ заметно меняют положение аграрных вузов, ориентированных не только на подготовку кадров, но и на разработку решений, которые базируются на системном анализе внутренних данных как основы для совершенствования бизнес-процессов. В этих условиях цифровые изменения затрагивают уже не только учебный процесс и материальную базу, но и то, как устроено управление университетом, какие контуры считаются ключевыми и как в них используются цифровые инструменты. **Цель** статьи – выявить особенности цифровой трансформации системы управления аграрным вузом и предложить интегральный подход к оценке цифровой зрелости управленческих процессов в логике цифровизации АПК. **Методы.** Исследование строится на сочетании системного и сетевого подходов, которые включают сравнительный анализ, базирующийся на уникальных кейсах по ряду ведущих аграрных университетов, а также концептуальное представление индекса цифровой зрелости управления. **Научная новизна.** В работе подчеркнута необходимость учета отдельных цифровых проектов и инфраструктурных решений как элемента комплексного анализа цифровизации системы управления аграрным вузом. Для этого вводится индекс цифровой зрелости управления как инструмент, позволяющий зафиксировать движение от набора разрозненных цифровых инициатив к более целостной, платформенно организованной модели; описывается трехмерная рамка интерпретации цифровой зрелости, которая задает основу для типологии конфигураций цифровой трансформации аграрных университетов и для постановки дальнейших эмпирических задач. **Результаты.** Показано, что в большинстве случаев цифровые инициативы в аграрных вузах складываются в картину фрагментарной цифровизации: цифровые кафедры, LMS и отраслевые платформы развиваются быстрее, чем меняется управленческая архитектура и практики data-driven-управления. Статья адресована исследователям управления образованием, руководителям аграрных вузов, а также тем, кто занимается разработкой цифровой политики и проектированием инициатив по цифровизации АПК.

Ключевые слова: аграрный вуз, цифровая трансформация, цифровая зрелость, система управления, цифровые кафедры, LMS, платформенная модель, human capital 4.0, data-driven-управление, агропромышленный комплекс

Благодарности. Исследование выполнено в соответствии с Планом НИР Института экономики УрО РАН.

Для цитирования: Зубарев Н. Ю., Урасова А. А., Царенко И. В., Зубарев Ю. Н. Трансформация системы управления аграрными вузами в цифровом пространстве // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1814–1826. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1814-1826>.

Дата поступления статьи: 11.02.2026, **дата рецензирования:** 29.06.2026, **дата принятия:** 08.07.2026.

Transforming the management system of agricultural universities in the digital space

N. Yu. Zubarev¹, A. A. Urasova², I. V. Tsarenko^{2✉}, Yu. N. Zubarev³

¹ Perm State University, Perm, Russia

² Perm Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

³ Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

✉ E-mail: tsarenko.iv@uiec.ru

Abstract. The rapid digitalization of the agro-industrial complex and the deployment of industry platforms are significantly changing the situation for agricultural universities, which are focused not only on training personnel but also on developing solutions based on the systematic analysis of internal data as a foundation for improving business processes. In this context, digital changes are affecting not only the educational process and facilities but also the university's governance structure, which areas are considered key, and how digital tools are used within them. **The purpose** of this article is to identify the specific features of the digital transformation of an agricultural university's management system and to propose an integrated approach to assessing the digital maturity of management processes within the context of digitalization in the agro-industrial complex. **Methods.** The study is based on a combination of systemic and network approaches, including a comparative analysis based on unique case studies from several leading agricultural universities, as well as a conceptual representation of a digital management maturity index. **Scientific novelty.** This paper emphasizes the need to consider individual digital projects and infrastructure solutions as part of a comprehensive analysis of the digitalization of agricultural university management systems. To this end, a digital management maturity index is introduced as a tool for capturing the movement from a set of disparate digital initiatives to a more holistic, platform-based model. A three-dimensional framework for interpreting digital maturity is described, which provides the basis for a typology of digital transformation configurations at agricultural universities and for setting further empirical objectives. **Results.** It is shown that, in most cases, digital initiatives at agricultural universities constitute a picture of fragmented digitalization: digital departments, LMS, and industry platforms are developing faster than the management architecture and data-driven management practices. This article is addressed to researchers in education management, heads of agricultural universities, as well as those involved in developing digital policy and designing initiatives for the digitalization of the agro-industrial complex.

Keywords: agricultural university, digital transformation, digital maturity, management system, digital departments, LMS, platform model, human capital 4.0, data-driven management, agro-industrial complex

Acknowledgements. The research was carried out in accordance with the Research Plan of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

For citation: Zubarev N. Yu., Urasova A. A., Tsarenko I. V., Zubarev N. Yu. Transforming the management system of agricultural universities in the digital space. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1814–1826. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1814-1826>. (In Russ.)

Date of paper submission: 11.02.2026, **date of review:** 29.06.2026, **date of acceptance:** 08.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В условиях ускоряющейся цифровизации аграрного сектора в России вопрос трансформации управления в агропромышленных вузах перестает быть второстепенной задачей и становится одним из приоритетных направлений формирования конкурентоспособного человеческого капитала для агропромышленного комплекса (АПК)¹. При этом

¹ Щедрина Е. В. Цифровые инновации в аграрном образовании [Электронный ресурс]. URL: <https://phsreda.com/e-articles/10521/Action10521-107641.pdf> (дата обращения: 02.02.2026).

речь идет уже не только об обновлении имеющихся учебных планов и материально-технической базы, но и о рекомбинации управленческих приоритетов, а именно логики принятия решений и форм взаимодействия вуза с внешними участниками на рынке образовательных услуг.

Как правило, современные вызовы аграрной отрасли во многом задаются крупными национальными проектами. Так, инициатива «Цифровое сельское хозяйство» ориентирована на создание

единой цифровой платформы АПК с интеграцией в нее различных данных, использованием инструментов искусственного интеллекта и сервисной модели управления. Все это принципиально может менять требования к университетам как к поставщикам кадров и компетенций. Кроме того, к этому же относится и планируемое наращивание сети агротехнических классов до 1300 единиц к началу 2026/2027 учебного года, что также увеличит нагрузку на аграрные образовательные организации. Ведь в связи с этим они становятся центрами методической и организационной деятельности². Таким образом, традиционное сетевое взаимодействие в меньшей степени соответствует быстрому технологическому развитию и требует перехода к более гибким, экосистемным форматам организации образовательных сетей³.

В новой складывающейся системе только аграрные вузы могут выступать специализированными опорными точками, ориентированными на подготовку кадров для АПК по таким направлениям, как агрономия, зоотехния, ветеринария, экономика АПК, а в последние годы – и по программам, связанным с цифровыми агротехнологиями. Так, в 2025 году в ведении Министерства сельского хозяйства РФ находилось несколько десятков агропромышленных вузов (РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, Башкирский ГАУ, Белгородский ГАУ, Бурятская ГСХА, Дальневосточный ГАУ, Кубанский ГАУ, Ставропольский ГАУ и др.), которые, в свою очередь, обеспечивают значительную часть выпуска специалистов для данной отрасли, составляющего более 25 тысяч человек ежегодно⁴. Необходимо отметить, что немаловажной особенностью этих образовательных организаций является наличие масштабной материально-технической базы, включающей опытные поля, лаборатории точного земледелия, учебно-опытные фермы с IoT-датчиками, симуляторы агротехники и др. [1]. И во всех случаях эта инфраструктура постепенно внедряется в систему реализуемых и планируемых цифровых проектов, например, включая элементы платформы «Цифровое сельское хозяйство», что еще сильнее способствует необходимости принятия эффективных управленческих решений, связанных с цифровой трансформацией АПК [2].

Кроме того, за последние годы в управленческих практиках аграрных вузов заметно усилилось влияние цифровых проектов, связанных как с госу-

дарственной повесткой, так и с запросами агробизнеса. Существенную роль здесь играют цифровые кафедры, разворачиваемые в логике программы «Приоритет-2030», ориентированные на подготовку ИТ-специалистов для АПК, а также внедрение полнофункциональных LMS-платформ и расширение партнерств с крупными агрохолдингами («Мираторг», «Русагро» и др.)⁵. В совокупности эти инициативы стимулируют переход от классической факультетской модели к более гибким образовательным экосистемам, где образовательные программы и управленческие решения увязываются с целевыми показателями цифровизации агропромышленного комплекса [3].

Практическая повестка цифровых изменений опирается на уже сформировавшийся теоретико-методологический фундамент. В работах М. С. Петуховой и О. В. Агафоновой предложена развернутая схема цифровой трансформации сельского хозяйства России, в которой последовательно выделяются этапы информатизации, цифровизации, формирования цифровой экосистемы и перехода к «умному» сельскому хозяйству с существенным ростом рентабельности. Эта логика этапности может быть перенесена и на уровень аграрного вуза, где технологии IoT, элементы искусственного интеллекта и анализ больших данных используются для оптимизации учебных процессов, управления опытными полями и научно-производственной деятельностью [4].

Дальнейшее развитие теоретических подходов к цифровизации аграрного образования связано с исследованиями Н. В. Петраковой, смещающими фокус с отраслевого уровня на уровень конкретного вуза и организации образовательного процесса. Здесь переход от общесистемных рассуждений к описанию практик преподавания и учебного дизайна осуществляется через анализ использования LMS, VR/AR-симуляторов агротехники, смешанного обучения, что позволяет говорить о формировании у студентов компетенций в области data-driven-управления АПК. Тем самым конкретизируется методическая составляющая пятикомпонентной модели, предложенной И. Б. Манжосовой, и создается связка между стратегическими установками проектов типа «Цифровое сельское хозяйство» и повседневной педагогической и управленческой практикой аграрных вузов [5; 6].

В свою очередь, коллектив авторов концептуализирует «умное» сельское хозяйство как результат последовательных технологических революций, в рамках которого аграрные вузы выступают ключевым связующим звеном между наукой, образовательной системой и практикой АПК [7]. Подход Н. С. Громовой, развивающей концепт human

² Цифровая трансформация сельского хозяйства России: модель, оценка, дорожные карты [Электронный ресурс]. URL: <https://rscf.ru/project/24-78-00028/> (дата обращения: 02.02.2026).

³ Количество агротехклассов в России вырастет до 1300 в 2026 году [Электронный ресурс]. URL: <https://поле.рф/journal/publication/kolichestvo-agrotekhklassov-v-rossii-vyrastet-do-1300-v-2026-godu-lut> (дата обращения: 02.02.2026).

⁴ Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Подведомственные организации [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/subordinates/> (дата обращения: 02.02.2026).

⁵ Аграрные вузы Минсельхоза представили отчеты о реализации проектов в рамках программы «Приоритет-2030» [Электронный ресурс]. URL: <https://rosast.ru/482-2/> (дата обращения: 02.02.2026).

capital 4.0 на основе использования VR-моделей и цифровых тренажеров, усиливает акцент на формировании у будущих специалистов data-driven-компетенций и тем самым дополняет как отраслевые, так и институциональные модели цифровой трансформации [8; 9].

Одним из показательных направлений осмысления цифровой трансформации управления выступают исследования, посвященные изменению самой логики организации вуза как сложной социально-экономической системы. В этом контексте подходы А. В. Жергели и Н. С. Мрочковского демонстрируют, как переход к цифровым моделям управления требует не только внедрения технологий, но и глубокого пересмотра архитектуры управленческих решений, распределения ролей и форм взаимодействия участников [10; 11].

Кроме того, исследования цифровой трансформации университетов подчеркивают, что внедрение цифровых технологий без изменения управленческой архитектуры приводит к накоплению изолированных инициатив и не обеспечивает устойчивого эффекта [12; 13].

В совокупности рассмотренные исследования демонстрируют значительный прогресс в теоретическом осмыслении цифровой трансформации сельского хозяйства и аграрного образования, однако при этом выявляют и целый ряд методологических и практико-ориентированных пробелов. Проанализированные исследования подробно раскрывают отраслевые аспекты цифровизации АПК, модели «умного» сельского хозяйства, подходы к формированию цифровых компетенций студентов и общие принципы трансформации организационного управления, но, как правило, рассматривают эти элементы разрозненно: либо на уровне отрасли, либо на уровне учебного процесса, либо на уровне абстрактной организации.

В результате недостаточно проработанным остается именно интегральный взгляд на аграрный вуз как на узловое звено сети образовательных учреждений социальной сферы, включенное в реализацию проектов типа «Цифровое сельское хозяйство», а именно:

- целостные модели трансформации системы управления аграрным вузом на основе пятикомпонентной цифровой архитектуры (технической, программной, технологической, методической и организационно-правовой);
- механизмы увязки стратегий цифровизации вуза с сетевыми форматами взаимодействия (консорциумы, отраслевые партнерства, платформенные решения);
- инструменты оценки эффективности именно управленческих изменений (а не только цифровых практик обучения или отдельных технологических проектов).

Таким образом, возникает противоречие между высокой степенью теоретической и эмпирической проработанности отдельных аспектов цифровой трансформации (от отраслевого до аудиторального уровней) и недостаточной разработанностью комплексных теоретико-методологических оснований трансформации системы управления аграрным вузом как специфической сетевой организацией социальной сферы. Разрешение данного противоречия и обосновывает необходимость настоящего исследования, направленного на разработку целостной модели трансформации управления в вузе аграрного профиля в условиях цифровой трансформации АПК и социальной сферы.

Методология и методы исследования (Methods)

Методологическая основа исследования опирается на системный, сетевой и институциональный подходы, что позволяет рассматривать аграрный вуз одновременно как сложную социально-экономическую организацию и как узловой элемент сети образовательных учреждений социальной сферы. В рамках системного подхода университет анализируется как целостный организм, включающий учебный, научный, производственный и инфраструктурный контуры, взаимосвязанные через цифровые процессы управления. Сетевой подход используется для интерпретации взаимодействия вуза с агробизнесом, органами власти и другими образовательными организациями как элементами единой экосистемы, формируемой в логике проектов «Цифровое сельское хозяйство» и «Приоритет-2030». Институциональный подход акцентирует влияние нормативно-правовых рамок и стратегических документов, задающих вектор цифровой трансформации аграрного высшего образования.

Теоретическим каркасом исследования выступают концепции цифровой трансформации и цифровой экосистемы, модели поэтапного перехода от оцифровки к «умному» управлению, а также идеи human capital 4.0 и data-driven-управления образовательными процессами. На этой основе разрабатывается авторская пятикомпонентная модель цифровой трансформации системы управления аграрным вузом, включающая техническую, программную, технологическую, методическую и организационно-правовую компоненты, каждая из которых рассматривается как необходимое условие перехода от фрагментарной цифровизации отдельных процессов к платформенной модели управления.

Эмпирическую базу исследования составили пять ведущих аграрных вузов России: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, Кубанский ГАУ, Уральский ГАУ, Ставропольский ГАУ и Пермский ГАТУ. Выбор этих университетов обусловлен стремлением обеспечить региональное разнообразие (Центр, Юг, Урал, Северный Кавказ, Предуралье) и репрезентативность по ключевым параметрам: числен-

ности студентов, масштабу учебно-опытной базы, степени вовлеченности в проекты цифровой трансформации АПК и участию в консорциумах и программах типа «Приоритет-2030».

Информационной основой послужили официальные сайты вузов, статистическая отчетность, стратегические документы развития, материалы проектов цифровой трансформации, а также данные о внедрении цифровых кафедр, LMS-платформ и отраслевых цифровых решений. Для обобщения и интерпретации этих материалов применялись методы сравнительного анализа и case-study: отдельные практики конкретных вузов рассматривались как кейсы трансформации, используемые для эмпирического наполнения пятикомпонентной модели и выявления типовых сценариев цифровых изменений.

На заключительном этапе был предложен концептуальный индекс цифровой зрелости управления аграрным вузом, основанный на трех группах характеристик: охвате управленческих процессов цифровыми системами, уровне интеграции информационных решений и глубине использования данных при выработке управленческих решений. При построении индекса цифровой зрелости управления аграрным вузом учитываются методологические подходы к оценке цифровой зрелости организаций, разработанные в отечественных исследованиях [14; 15]. Индекс используется в работе как методический инструмент для интерпретации результатов и постановки повестки дальнейших эмпирических исследований, а его количественная апробация на расширенной выборке вузов рассматривается как задача последующих исследований.

Результаты (Results)

Результаты проведенного исследования выявили ряд ключевых тенденций и особенностей цифровой трансформации системы управления в аграрных вузах РФ, что позволяет перейти от констатации отдельных цифровых инициатив к их целостной интерпретации. На основе сопоставления теоретических подходов, статистических данных и эмпирических материалов по крупнейшим аграрным университетам была реконструирована реальная конфигурация цифровых изменений, включающая как достигнутый уровень цифровизации управленческих процессов, так и системные ограничения, сдерживающие переход к платформенной модели управления.

Для более детального выявления масштабов и специфики цифровой трансформации системы управления в аграрном высшем образовании на первом этапе были проанализированы несколько крупных аграрных университетов, отобранных в качестве репрезентативных кейсов (таблица 1). Это позволило зафиксировать как количественные параметры цифровизации (масштаб контингента, инфраструктурные характеристики, востребо-

ность выпускников), так и качественные особенности внедрения цифровых решений в управленческую практику.

Таким образом, представленные в таблице 1 университеты используются в работе как репрезентативные кейсы, позволяющие конкретизировать особенности цифровой трансформации управления в крупнейших центрах аграрного образования. Вместе с тем для оценки масштабов и направлений цифровых изменений на уровне всей системы аграрных вузов РФ необходимо обратиться к агрегированным показателям, отражающим динамику ключевых индикаторов в 2021–2025 годах (таблица 2).

Таблица 2 позволяет выйти за рамки отдельных институциональных примеров и зафиксировать общесистемные тренды цифровизации управления в аграрном высшем образовании. В таблице отражены изменения за пятилетний период по таким параметрам, как участие университетов в федеральных программах академического лидерства, развитие цифровых кафедр, рост контингента студентов, осваивающих ИТ-компетенции для АПК, и внедрение отраслевых цифровых платформ, что позволяет более полно охарактеризовать эволюцию цифровой трансформации управления.

Из представленной таблицы 2 можно видеть, что за период последних пяти лет статистика по развитию цифровых инициатив в аграрных вузах демонстрирует устойчивый количественный рост, однако этот рост имеет преимущественно экстенсивный и фрагментарный характер. Увеличивается число участников программ академического лидерства и цифровой трансформации, расширяется сеть цифровых кафедр, растет контингент студентов, осваивающих ИТ-компетенции для АПК, внедряются отраслевые образовательные платформы и локальные LMS-решения. При этом количественные показатели в большей степени отражают масштаб внедрения отдельных цифровых сервисов и программ, нежели уровень их интеграции в единую управленческую архитектуру вуза.

В то же время анализ доступной статистики и практики аграрных вузов показывает, что существующие показатели цифровизации в основном характеризуют количественные параметры развития цифровой инфраструктуры (число цифровых кафедр, контингент обучающихся на них, количество внедренных платформ, участие в федеральных программах и т. п.), но практически не отражают степень трансформации именно системы управления. В фокусе мониторинга оказываются отдельные цифровые сервисы и проекты, тогда как сквозные управленческие процессы (стратегическое и оперативное планирование, кадровое и финансово-экономическое управление, управление практиками и взаимодействием с агробизнесом) остаются слабо измеримыми с точки зрения цифровой зрелости.

Таблица 1
Репрезентативные аграрные вузы России:
маштаб контингента, инфраструктура и востребованность выпускников

Показатель	РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева	Кубанский ГАУ	Уральский ГАУ	Ставропольский ГАУ	Пермский ГАУ имени академика Д. Н. Прянишникова
Город, регион	Москва	Краснодар, Краснодарский край	Екатеринбург, Свердловская область	Ставрополь, Ставропольский край	Пермь, Пермский край
Примерная численность студентов, всего	Более 15 300 студентов	Около 18 000 студентов	Более 6 000 обучающихся	Около 18 500 студентов и слушателей (на 2023 г.)	Около 5 000–5 100 студентов
Очная форма обучения	~11 500–11 600 очных студентов	Основная часть студентов обучается очно	Большинство студентов обучается очно	В 2024 г. очно обучалось свыше 4 000 студентов	Большинство студентов (4 900–5 000) обучается очно
Год основания; статус	1865 г.; старейший аграрный вуз России	1922 г.; крупнейший аграрный вуз Юга России	1940 г.; ведущий аграрный вуз Урала	1930 г.; один из крупнейших вузов СКФО	1930 г.; первый аграрный вуз на Урале
Инфраструктура и база	27 научно-производственных подразделений, опытные поля, развитая научно-образовательная база	Более 20 корпусов, ботанический сад, площадью более 40 га, развитая кампусная инфраструктура	Учебно-опытное хозяйство, базы практик на предприятиях АПК	10 факультетов, 126 направлений, развитая инновационная инфраструктура	Учебно-опытное хозяйство, опытные поля, научно-образовательные центры и музеи
Трудоустройство и востребованность	Рекордный конкурс: свыше 110 000 заявлений в 2025 г.	Около 70 % выпускников трудоустроиваются по профилю	Ориентация на кадровое обеспечение АПК Урала	Устойчивый спрос на выпускников в регионе и СКФО	Ведущий поставщик кадров для АПК Пермского края

Источник: составлено авторами по данным РГАУ-МСХА <https://www.timacat.ru/>; Кубанского ГАУ <https://kubsau.ru/>; Уральского ГАУ <https://urgau.ru/>; Ставропольского ГАУ <https://sgau.ru/>; Пермского ГАУ имени академика Д. Н. Прянишникова <https://pgatu.ru/today/> (дата обращения 02.02.2026).

Table 1
Representative agricultural universities in Russia: enrollment size, infrastructure, and demand for graduates

Indicator	RSAU – Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev	Kuban State Agrarian University	Ural State Agrarian University	Stavropol State Agrarian University	Perm State Agro- Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov
City, region	Moscow	Krasnodar, Krasnodar Krai	Yekaterinburg, Sverdlovsk region	Stavropol, Stavropol Krai	Perm, Perm Krai
Approximate number of students in total	More than 15 300 students	About 18 000 students	More than 6 000 students	About 18 500 students and listeners (as of 2023)	About 5 000–5 100 students
Full-time education	~11 500–11 600 full-time students	The bulk of the contingent is full-time	Most students are full-time students	In 2024, over 4 000 students were studying full-time	About 4 900–5 000 students, mostly full-time
Year founded; status	1865; Russia's oldest agricultural university	1922; the largest agricultural university in the South of Russia	1940; leading agricultural university of the Urals	1930; one of the largest universities in the North Caucasus Federal District	1930; the first agricultural university in the Urals
Infrastructure and base	27 research and production units, experimental fields, and a developed scientific and educational base	More than 20 buildings, a botanical garden of over 40 ha, and extensive campus infrastructure	Training experimental farm, practical training bases at agricultural enterprises	10 faculties, 126 areas of study, and a developed innovative infrastructure	Educational experimental farm, experimental fields, scientific educational centers and museums
Employment and demand	Record competition: over 110 thousand applications in 2025	About 70 % of graduates find employment in their field	Focus on staffing the Ural agro-industrial complex	Steady demand for graduates in the region and the North Caucasus Federal District	A leading supplier of personnel for the agro-industrial complex of the Perm region

Source: compiled by the authors based on data from the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy <https://www.timacat.ru/>; Kuban State Agrarian University <https://kubsau.ru/>; Perm State Agro-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov <https://pgatu.ru/today/> (date accessed 02.02.2026).

Таблица 2

Динамика ключевых показателей цифровой трансформации аграрных вузов РФ (2021–2025 гг.)

Экономика

Год	Аграрные вузы – участники программы «Приоритет-2030» (шт.)	Вузы с цифровыми кафедрами (всего по РФ, часть аграрных)	Студенты на цифровых кафедрах (тыс. чел.)	Аграрные вузы, использующие платформу «АгроАкадемия» (шт.)
2021	4	0 – пилот	Данные отсутствуют, подсчет не производился	Не участвовали
2022	4	114	112	Пилоты в ряде вузов
2023	7	119	> 120***	Начало масштабного внедрения***
2024	11	Расширение программ**	Рост контингента***	Рост числа вузов-пользователей***
2025	20*	119+**	385 кумулятивно к концу года*	44 аграрных вуза используют «АгроАкадемию» (80 % аграрных вузов)*

Примечание. * Прогнозное значение, полученное на основе данных о темпах развития программ «Приоритет-2030» и стратегических документов Минобрнауки РФ; оценка доли аграрных вузов, использующих платформу «АгроАкадемия», выполнено на основе соотнесения числа подключенных вузов (44 организации) с общей численностью аграрных вузов РФ (около 54).

** Оценочное значение; точные статистические данные по общероссийским показателям цифровых кафедр в 2024–2025 гг. находятся в процессе актуализации.

*** Оценочные значения, основанные на выборочных данных аграрных вузов РФ и публичной информации о результатах программных инициатив.

Источник: составлено автором по данным Минобрнауки РФ <https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/46352/> (дата обращения: 03.02.2026).

Программа «Приоритет 2030»: создание современных аграрных университетов как ключ к развитию отрасли <https://ncz-russia.ru/press/news/programma-prioritet-2030-sozdanie-sovremennykh-agrarnykh-universitetov-kak-klyuch-k-razvitiyu-otrasl/ysclid=mt104x0euo854657404> (дата обращения: 03.02.2026).

Президентские «цифровые кафедры» до конца 2025 года выпустят свыше 385 тыс. специалистов https://ipatovo26.gosuslugi.ru/dlya-zhiteley/novosti-i-reportazhi/novosti_1280.html (дата обращения: 03.02.2026).

Более 100 российских вузов открыли «цифровые кафедры» в новом учебном году – ИА REGNUM <https://regnum.ru/news/3829534> (дата обращения 03.02.2026).

Образовательная платформа «Агроакадемия» – GlobalCIO|DigitalExperts <https://globalcio.ru/projects/53964/> (дата обращения: 03.02.2026).

Table 2
Dynamics of key indicators of digital transformation of agricultural universities in the Russian Federation (2021–2025)

Year	Agricultural universities – participants of “Priority-2030” (units)	Universities with digital departments (total in the Russian Federation, some agricultural)	Students in digital departments (thousands)	Agricultural universities using the “AgroAcademy” platform (number)
2021	4	0 – pilot	No data available, no calculations made	Did not participate
2022	4	114	112	Pilots at a number of universities
2023	7	119	> 120***	Start of large-scale implementation***
2024	11	Program expansion**	Growth of the contingent***	Growth in the number of user universities***
2025	20*	119+ **	385 cumulative by the end of the year*	44 agricultural universities use AgroAcademy (80% of agricultural universities)*

Note. * Estimated value obtained based on data on the development rates of the Priority 2030 programs and strategic documents of the Russian Ministry of Education and Science; the share of agricultural universities using the “AgroAcademy” platform is estimated based on the number of connected universities (44 organizations) compared to the total number of agricultural universities in the Russian Federation (approximately 54).

** Estimated value; precise statistics on the all-Russian indicators of digital departments in 2024–2025 are being updated.

*** Estimated values based on selected data from agricultural universities in the Russian Federation and publicly available information on the results of program initiatives.

Source: compiled by the author based on data from the Russian Ministry of Education and Science <https://www.minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/46352/> (date accessed 03.02.2026).

“Priority 2030” program: creation of modern agrarian universities as a key to the development of the industry <https://ncz-russia.ru/press/news/programma-prioritet-2030-sozdanie-sovremennykh-agrarnykh-universitetov-kak-klyuch-k-razvitiyu-otrasl/ysclid=mt104x0euo854657404> (date of access: 03.02.2026).

Presidential “digital departments” will graduate over 385 thousand specialists by the end of 2025 https://ipatovo26.gosuslugi.ru/dlya-zhiteley/novosti-i-reportazhi/novosti_1280.html (date of access: 03.02.2026).

More than 100 Russian universities opened “digital departments” in the new academic year – IA REGNUM <https://regnum.ru/news/3829534> (date of access: 03.02.2026).

Educational platform “AgroAcademy” – GlobalCIO|DigitalExperts <https://globalcio.ru/projects/53964/>.

Указанное несоответствие между насыщенностью цифровыми инструментами и недостаточной измеримостью управленческих изменений требует разработки специального инструмента оценки. В этих условиях представляется целесообразным ввести условный индекс цифровой зрелости управления аграрным вузом, который позволяет перейти от фиксации наличия/отсутствия отдельных цифровых решений к оценке степени их интеграции в единую управленческую архитектуру и реально-

го использования в процессе принятия решений. Концептуально такой индекс должен учитывать по меньшей мере три группы характеристик:

- 1) охват управленческих процессов цифровыми системами (какая доля ключевых процессов поддерживается цифровыми средствами);
- 2) уровень интеграции информационных систем (наличие единого информационного контура, сквозных данных и аналитики);



Рис. 1. Фрагментарная цифровизация аграрного вуза

Источник: составлено авторами

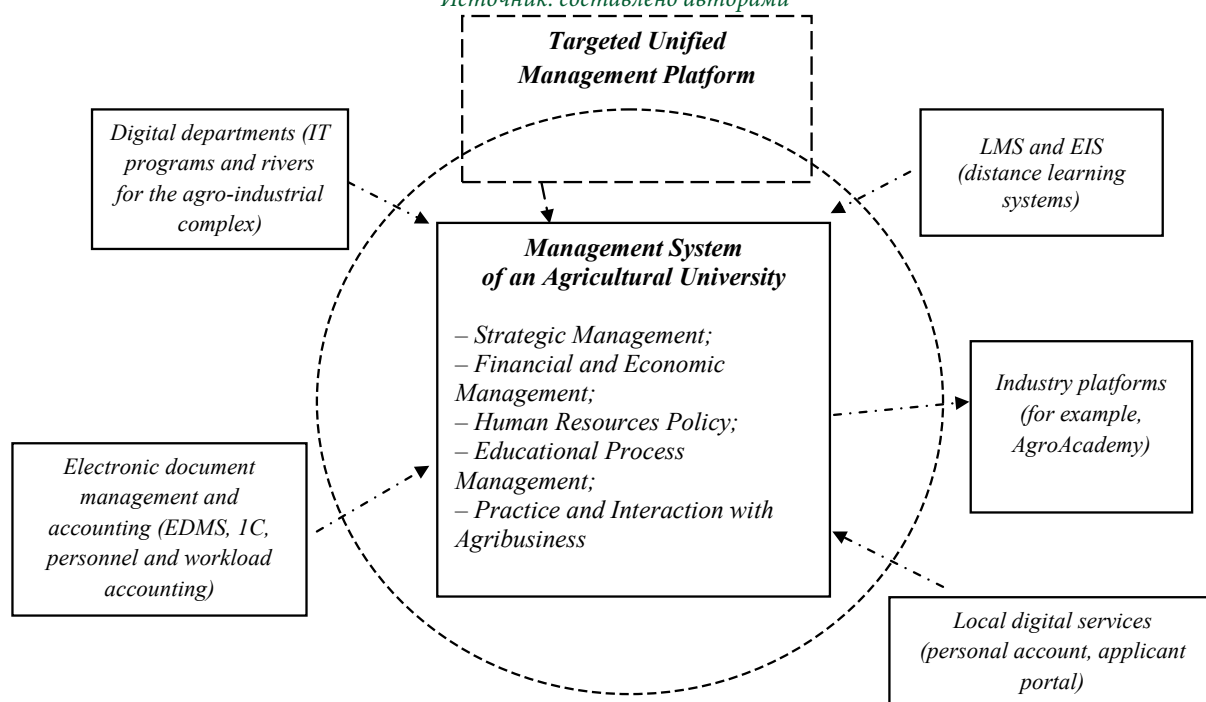


Fig. 1. Fragmented digitalization of an agricultural university

Source: compiled by the authors

3) глубину использования данных и аналитических инструментов при выработке управленческих решений (data-driven-управление, наличие цифровых дашбордов, регламентов работы с данными).

Тем самым индекс цифровой зрелости управления рассматривается в статье не как формальный количественный показатель, а как интегральная характеристика, позволяющая сопоставить темпы развития цифровых сервисов с реальным продвижением в сторону платформенной, экосистемной модели управления аграрным университетом. Это, в свою очередь, создает основу для сравнительного анализа аграрных вузов, выявления отстающих и лидирующих практик и обоснования приоритетных направлений управленческой трансформации.

С учетом вышеизложенного представляется необходимым представить типичную конфигурацию

фрагментарной цифровой трансформации аграрного вуза, когда развитие отдельных сервисов опережает изменения в управленческой архитектуре (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что цифровая трансформация в аграрном вузе реализуется преимущественно через набор разрозненных сервисов, которые лишь частично сопрягаются с базовыми контурами управления и не формируют целостный информационный контур. Целевая единая платформа управления в этой конфигурации выступает скорее как идеальная модель, к которой вуз только приближается, постепенно наращивая интеграцию цифровых решений в стратегическое, финансово-экономическое, кадровое и академическое управление.

Таблица 3

Структура индекса цифровой зрелости управления аграрным вузом

Группа характеристик	Содержание группы	Уровни проявленности
Охват управленческих процессов цифровыми системами	Доля ключевых процессов (стратегическое и оперативное планирование, финансово-экономическое управление, кадровая политика, управление образовательными программами, практика и взаимодействие с агробизнесом), для которых используются специализированные цифровые решения, обеспечивающие не только фиксацию информации, но и поддержку управленческих действий	Низкий уровень: цифровыми инструментами охвачена лишь незначительная часть базовых процессов
		Средний уровень: цифровые решения применяются в отдельных контурах управления, но не носят повсеместного характера
		Высокий уровень: большинство ключевых процессов опирается на институционализированные цифровые системы
Уровень интеграции информационных систем и сервисов	Наличие общего информационного пространства, единых справочников и идентификаторов, сквозных потоков данных между системами (LMS, кадровые и финансовые модули, отраслевые платформы и др.), степень централизации архитектурных решений	Низкий уровень: отдельные системы функционируют как изолированные островки, обмен данными эпизодический и преимущественно ручной
		Средний уровень: сформированы частично интегрированные контуры и базовые механизмы синхронизации данных
		Высокий уровень: единый информационный контур управления с настроенными интерфейсами обмена, сквозной аналитикой и устойчивыми регламентами взаимодействия
Глубина использования данных и аналитических инструментов (data-driven-управление)	Наличие регулярных аналитических отчетов и дашбордов для руководства, встроенность аналитики в контуры стратегического и оперативного планирования, наличие формализованных регламентов работы с данными (ответственность за качество, периодичность обновления, порядок использования в управленческих циклах)	Низкий уровень: цифровые системы используются главным образом как средства учета и отчетности, решения принимаются преимущественно на основе экспертных оценок
		Средний уровень: аналитические инструменты и дашборды используются эпизодически в отдельных сферах (например, управление набором, образовательным процессом)
		Высокий уровень: систематическая опора на показатели и аналитику при принятии ключевых управленческих решений

Источник: составлено авторами.

Table 3

Structure of the Digital Maturity Index for Agricultural University Management

<i>Group of characteristics</i>	<i>Group content</i>	<i>Levels of manifestation</i>
<i>Coverage of management processes by digital systems</i>	<i>The share of key processes (strategic and operational planning, financial and economic management, human resources policy, educational program management, and practice and interaction with agribusiness) for which specialized digital solutions are used, ensuring not only the recording of information but also the support of management actions</i>	<i>Low level: only a small part of the basic processes are covered by digital tools</i>
		<i>Medium level: digital solutions are used in individual control circuits, but are not widespread</i>
		<i>High level: most key processes rely on institutionalized digital systems</i>
<i>Level of integration of information systems and services</i>	<i>The presence of a common information space, unified directories and identifiers, end-to-end data flows between systems (LMS, HR and financial modules, industry platforms, etc.), and the degree of centralization of architectural solutions</i>	<i>Low level: individual systems function as isolated islands, data exchange is episodic and predominantly manual</i>
		<i>Medium level: partially integrated circuits and basic data synchronization mechanisms have been formed</i>
		<i>High level: a unified information management circuit with configured exchange interfaces, end-to-end analytics, and stable interaction regulations</i>
<i>Depth of use of data and analytical tools (data-driven management)</i>	<i>Availability of regular analytical reports and dashboards for management, integration of analytics into strategic and operational planning, and the presence of formalized regulations for working with data (responsibility for quality, frequency of updates, and procedures for use in management cycles)</i>	<i>Low level: digital systems are used primarily as accounting and reporting tools, decisions are made primarily on the basis of expert assessments</i>
		<i>Medium level: analytical tools and dashboards are used occasionally in certain areas (for example, recruitment management, educational process)</i>
		<i>High level: systematic reliance on indicators and analytics when making key management decisions</i>

Source: compiled by the authors.

В этих условиях предлагаемый индекс цифровой зрелости управления аграрным вузом призван количественно зафиксировать переход от фрагментарной конфигурации к интегрированной, платформенной модели, позволяя перейти от простого описания наличия отдельных цифровых сервисов к оценке степени их включенности в сквозные управленческие процессы и практику принятия решений. В операциональном плане индекс реализуется в форме интегрального балльного показателя и опирается на три группы характеристик: охват управленческих процессов цифровыми системами, уровень интеграции информационных решений в единый контур управления и глубину использования данных при выработке управленческих решений.

Для практического применения индекса цифровой зрелости управления аграрным вузом необходимо четко задать его компонентный состав и критерии интерпретации. В рамках данного исследования индекс структурируется по трем группам характеристик, каждая из которых оценивается по градациям низкого, среднего и высокого уровня проявленности (таблица 3).

Представленная структуризация индекса цифровой зрелости управления позволяет задать единые критерии оценки для различных аграрных вузов и интерпретировать полученные значения не только в абсолютном, но и в сопоставительном формате.

Следует подчеркнуть, что в рамках данной работы индекс цифровой зрелости управления аграрным вузом носит преимущественно концептуально-методический характер и задает рамку для последующих эмпирических исследований. Его подробная апробация на расширенной выборке аграрных университетов, а также калибровка весов и пороговых значений отдельных характеристик требуют специального исследования и выходят за пределы поставленных в статье задач.

В совокупности проведенный анализ позволяет зафиксировать противоречие между интенсивным наращиванием цифровой инфраструктуры аграрных вузов и ограниченной глубиной трансформации их управленческих контуров. Выявленные особенности фрагментарной цифровизации и предложенный концептуальный индекс цифровой зрелости управления задают основу для переосмысле-

ния стратегий цифровой трансформации аграрного высшего образования и формируют повестку дальнейших исследований.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенный анализ показывает, что цифровая трансформация в аграрных вузах развивается преимущественно по экстенсивной и фрагментарной траектории. Наращивание цифровой инфраструктуры – участие в федеральных программах, рост числа цифровых кафедр и контингента их студентов, внедрение отраслевых платформ и LMS – не сопровождается сопоставимой перестройкой управленческих контуров. Цифровые решения в значительной степени остаются надстройкой над традиционными практиками управления, а не ядром новой управленческой модели [16].

Ключевой вывод состоит в выявлении разрыва между насыщенностью цифровыми инструментами и глубиной трансформации системы управления. Доминирующие индикаторы цифровизации отражают главным образом наличие и масштаб отдельных сервисов, тогда как изменения в стратегическом, финансово-экономическом, кадровом управлении, в управлении образовательными программами и взаимодействием с агробизнесом остаются слабо измеримыми. В результате создается риск подмены управленческой трансформации количественным ростом цифровых инициатив без их интеграции в единую архитектуру принятия решений.

В этих условиях концепция индекса цифровой зрелости управления аграрным вузом выступает как попытка сместить фокус с простого учета цифровых сервисов на оценку интеграции и data-driven-характера управления. Индекс, основанный на трех блоках характеристик (охват управленческих процессов цифровыми системами, интеграция информационно-решений, глубина использования данных), задает рамку для сопоставления вузов и

диагностики узких мест цифровой трансформации. Его предназначение не сводится к формальному рейтингу, а связано с поддержкой управленческих решений и проектированием целевой платформенной модели управления.

В то же время предложенный индекс на данном этапе носит концептуально-методический характер и требует дальнейшей проработки. Необходимы эмпирическая апробация на расширенной выборке аграрных вузов, уточнение наборов индикаторов, весов и пороговых значений, а также увязка с развивающимися системами отраслевого мониторинга. Ограничения, связанные с доступностью и качеством статистических данных, задают важный контекст для интерпретации результатов и указывают на необходимость долгосрочного развития инструментов измерения цифровой трансформации управления.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что они позволяют по-новому выстроить повестку цифровой трансформации аграрных университетов.

Выделяются по крайней мере три приоритетных направления:

- 1) переход от разрозненного внедрения сервисов к проектированию целевой единой архитектуры управления;
- 2) развитие культуры и инструментов data-driven-управления;
- 3) институционализация взаимодействия ключевых стейкхолдеров (вузы, государственные органы, отраслевые партнеры, разработчики) вокруг согласованных требований к данным и цифровым платформам.

Переход от фрагментарной к платформенной, экосистемной модели управления в этой логике рассматривается не как побочный эффект цифровизации, а как ее центральная управленческая задача.

Библиографический список

1. Царенко И. В., Бочкарев А. М. Формирование и реализация стратегий управления сетью образовательных учреждений в условиях цифровой трансформации социальной сферы // Исследование проблем экономики и финансов. 2025. № 3. DOI: 10.31279/2782-6414-2025-3-6.
2. Полухин А. А. Краткая характеристика высших учебных заведений Минсельхоза России, как драйвера развития цифрового сельского хозяйства // Вестник сельского развития и социальной политики. 2019. Т. 24, № 4. С. 2–13.
3. Ашмарина Т. И., Бирюкова Т. В., Водяников В. Т. [и др.] Цифровая трансформация агропромышленного комплекса. Москва: ООО «Мегаполис», 2022. 160 с.
4. Петухова М. С., Агафонова О. В. Теоретико-методологический фундамент цифровой трансформации сельского хозяйства России: базовые понятия и этапы // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 4. С. 79–89. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-233-04-79-89.
5. Петракова Н. В. Цифровые технологии в высшем образовании: современный подход к обучению студентов в аграрном вузе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки. 2024. № 4. С. 96–98. DOI: 10.37882/2223-2982.2024.04.33.
6. Манжосова И. Б. Реализация проектного подхода в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2021. Т. 11, № 12-1. С. 64–70. DOI: 10.34670/AR.2021.81.66.005.

7. Ториков В. Е., Погонишев В. А., Погонишева Д. А., Дорных Г. Е. Состояние цифровой трансформации сельского хозяйства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 9. С. 6–13.
8. Римская О. Н., Анохов И. В., Кранбихлер В. С. Человеческий капитал в Индустрии 4.0. Настоящее и будущее // Экономика науки. 2021. Т. 7, № 4. С. 275–289. DOI: 10.22394/2410-132X-2021-7-4-275-289.
9. Bravo-Jaico J., et al. Model for assessing the maturity level of digital transformation in higher education institutions: a theoretical-methodological approach // Frontiers in Education. 2025. Vol. 10. Article number 1581648. DOI: 10.3389/educ.2025.1581648.
10. Жерегеля А. В. Управление бизнес-процессами организации в контексте цифровой трансформации // Управление. 2023. Т. 11, № 1. С. 105–112. DOI: 10.26425/2309-3633-2023-11-1-105-112.
11. Мрочковский Н. С., Ляндау Ю. В., Пушкин И. С., Федосимова М. А. Цифровая трансформация бизнес-моделей // Инновации и инвестиции. 2019. № 5. С. 69–72.
12. Fernández A., Gómez B., Binjaku K., Meçe E. K. Digital transformation initiatives in higher education institutions: a multivocal literature review // Education and Information Technologies. 2023. No. 3. DOI: 10.1007/s10639-022-11544-0.
13. Zakharov K., Komarova A., Baranova T., Gulk E. Information literacy and digital competence of teachers in the age of digital transformation // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. No. 247. Pp. 857–868. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_78.
14. Сагина О. А. Методологические основы оценки цифровой зрелости сельских аграрных территорий // Вестник НГИЭИ. 2025. Т. 167, № 4. С. 93–100. DOI: 10.24412/2227-9407-2025-4-93-100.
15. Аленина К. А., Курицына А. В. Разработка алгоритма оценки уровня цифровой зрелости компании // Экономика, предпринимательство и право. 2024. Т. 14, № 4. С. 1057–1078. DOI: 10.18334/epp.14.4.120726.
16. Bravo-Jaico J., Maquen-Niño GLE, Germán N., Valdivia C., Alarcón R., Aquino J., Serquén O. Assessing digital transformation maturity in higher education institutions: a correlational analysis by actors and dimensions // Frontiers in Computer Science. 2025. No. 7. Article number 1549262. DOI: 10.3389/fcomp.2025.1549262.

Об авторах:

Николай Юрьевич Зубарев, кандидат экономических наук, доцент кафедры государственного и муниципального управления, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-9021-4058, AuthorID 670224. E-mail: nu_zubarev@mail.ru

Анна Александровна Урасова, доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, директор, Пермский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-0598-5051, AuthorID 773894. E-mail: urasova.aa@uiiec.ru

Ирина Владимировна Царенко, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Пермский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-8115-9982, AuthorID 1030653. E-mail: tsarenko.iv@uiiec.ru

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

References

1. Tsarenko I. V., Bochkarev A. M. Formation and implementation of strategies for managing a network of educational institutions in the context of digital transformation of the social sphere. *Study of Problems of Economics and Finance*. 2025; 3. DOI: 10.31279/2782-6414-2025-3-6. (In Russ.)
2. Polukhin A. A. Brief characteristics of higher educational institutions of the Ministry of Agriculture of Russia as drivers of digital agriculture development. *Bulletin of Rural Development and Social Policy*. 2019; 4 (24): 2–13. (In Russ.)
3. Ashmarina T. I., Biryukova T. V., Vodyannikov V. T., et al. *Digital transformation of the agro-industrial complex*. Moscow: Megapolis LLC, 2022. 160 p. (In Russ.)
4. Petukhova M. S., Agafonova O. V. Theoretical and methodological foundation of the digital transformation of agriculture in Russia: basic concepts and stages. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 4 (23): 79–89. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-233-04-79-89. (In Russ.)
5. Petrakova N. V. Digital technologies in higher education: a modern approach to teaching students in an agricultural university. *Modern Science: Current Problems of Theory and Practice. Series: Humanities*. 2024; 4: 96–98. DOI: 10.37882/2223-2982.2024.04.33. (In Russ.)

6. Manzhosova I. B. Implementation of a project approach in the context of digital transformation of agriculture. *Economy: Yesterday, Today, Tomorrow*. 2021; 12-1 (11): 64–70. DOI: 10.34670/AR.2021.81.66.005. (In Russ.)
7. Torikov V. E., Pogonyshv V. A., Pogonysheva D. A., Dornych G. E. State of digital transformation of agriculture. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2020; 9: 6–13. (In Russ.)
8. Rimskaya O. N., Anokhov I. V., Kranbichler V. S. Human capital in Industry 4.0. Present and Future. *Economics of Science*. 2021; 4 (7): 275–289. DOI: 10.22394/2410-132X-2021-7-4-275-289. (In Russ.)
9. Bravo-Jaico J., et al. Model for assessing the maturity level of digital transformation in higher education institutions: a theoretical-methodological approach. *Frontiers in Education. Frontiers Media SA*. 2025; 10: 1581648. DOI: 10.3389/educ.2025.1581648.
10. Zheregelya A. V. Business process management in the context of digital transformation. *Management*. 2023; 1 (11): 105–112. DOI: 10.26425/2309-3633-2023-11-1-105-112. (In Russ.)
11. Mrochkovskiy N. S., Lyandau Yu. V., Pushkin I. S., Fedosimova M. A. Digital transformation of business models. *Innovations and Investments*. 2019; 5: 69–72. (In Russ.)
12. Fernández A., Gómez B., Binjaku K., Meçe E. K. Digital transformation initiatives in higher education institutions: a multivocal literature review. *Education and Information Technologies*. 2023; 3. DOI: 10.1007/s10639-022-11544-0.
13. Zakharov K., Komarova A., Baranova T., Gulk E. Information literacy and digital competence of teachers in the age of digital transformation. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022; 247: 857–868. DOI: 10.1007/978-3-030-80946-1_78 (In Russ.)
14. Sagina O. A. Methodological foundations for assessing the digital maturity of rural agricultural territories. *NGIEI Bulletin*. 2025; 4 (167): 93–100. DOI: 10.24412/2227-9407-2025-4-93-100. (In Russ.)
15. Alenina K. A., Kuritsyna A. V. Development of an algorithm for assessing the level of digital maturity of a company. *Economy, Entrepreneurship and Law*. 2024; 4 (14): 1057–1078. DOI: 10.18334/epp.14.4.120726. (In Russ.)
16. Bravo-Jaico J., Maquen-Niño G. L. E., Germán N., Valdivia C., Alarcón R., Aquino J., Serquén O. Assessing digital transformation maturity in higher education institutions: a correlational analysis by actors and dimensions. *Frontiers in Computer Science*. 2025; 7: 1549262. DOI: 10.3389/fcomp.2025.1549262.

Authors' information:

Nikolay Yu. Zubarev, candidate of economic sciences, senior lecturer of the department of world and regional economy, economic theory, Perm State University, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-9725-9187, AuthorID 670224. *E-mail: nu_zubarev@mail.ru*

Anna A. Urasova, doctor of economic sciences, associate professor, leading researcher, director, Perm Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-0598-5051, AuthorID 773894. *E-mail: urasova.aa@uiec.ru*

Irina V. Tsarenko, candidate of economic sciences, senior research fellow, Perm Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-8115-9982, AuthorID 1030653. *E-mail: tsarenko.iv@uiec.ru*

Yuriy N. Zubarev, doctor of agricultural sciences, professor of the department of agrobiotechnologies, chief researcher of the sector of organization and support of research and development management of scientific and innovative activities, Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-6049-3244, AuthorID 522714. *E-mail: yn-zubarev@mail.ru*

Влияние пространственной организации территорий на формирование сельского человеческого капитала

И. И. Новикова

Научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района – филиал Воронежского Федерального аграрного научного центра им. В. В. Докучаева, Воронеж, Россия

E-mail: irinichic@mail.ru

Аннотация. Важное место в развитии сельских территорий принадлежит человеческому капиталу – одному из основных ресурсов, необходимых для подъема сельской экономики. Именно сельские жители с их образованием, здоровьем, навыками, предпринимательской инициативой являются главным фактором развития сельской местности. Поэтому возрастает роль анализа состояния человеческого капитала сельских территорий с учетом их различий по экономическим, социально-демографическим и другим параметрам пространственной организации. **Целью** исследования является определение особенностей в формировании сельского человеческого капитала, проявляющихся через дифференциацию между муниципальными районами по их пространственной организации. **Методы.** При проведении расчетов использовались методы экономико-математического и статистического анализа. В исследовании реализован подход, позволивший разделить сельские территории Воронежской области на типы периферии в зависимости от их удаленности от областного центра, что дало возможность выявить, какие из параметров пространственной организации оказывают наибольшее влияние на развитие человеческого капитала. Применение системного анализа позволило рассмотреть исследуемые проблемы как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении, изучить различные аспекты и меры дальнейшего совершенствования управления сельским человеческим капиталом. **Научная новизна.** Впервые исследуется пространственная организация сельских территорий через призму систематизации муниципальных образований согласно их типологизации по периферийным характеристикам с целью выстраивания комплексного и детализированного представления о специфике формирования человеческого капитала в сельских регионах. **Результаты.** Полученные результаты позволили на основе выделения 3 типов периферии сельских территорий выявить параметры пространственной организации, оказывающие наибольшее положительное или отрицательное влияние на состояние человеческого капитала. Данный подход дает возможность принимать более эффективные управленческие решения в случае необходимости точечного и оперативного регулирования вопросов формирования и использования человеческого капитала, имеющих ярко выраженную локальную специфику, что в итоге должно способствовать совершенствованию системы управления сельским развитием.

Ключевые слова: сельские территории, человеческий капитал, пространственная организация, периферия, корреляционная матрица, Воронежская область

Для цитирования: Новикова И. И. Влияние пространственной организации территорий на формирование сельского человеческого капитала // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1827–1837. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1827-1837>.

Дата поступления статьи: 07.04.2026, **дата рецензирования:** 10.06.2026, **дата принятия:** 28.07.2026.

The influence of spatial organization of territories on the formation of rural human capital

I. I. Novikova

Research Institute of Economics and Organization of the Agro-Industrial Complex of the Central Black Earth Region – a branch of the V. V. Dokuchaev Voronezh Federal Agrarian Research Center, Voronezh, Russia

E-mail: irinchic@mail.ru

Abstract. An important place in the development of rural areas belongs to human capital – one of the main resources necessary for the recovery of the rural economy. It is rural residents with their education, health, skills, entrepreneurial initiative that are the main factor in the development of rural areas. Therefore, the role of analyzing the state of human capital of rural areas, taking into account their differences in economic, socio-demographic and other parameters of spatial organization, is increasing. **The purpose** of the study is to determine the features in the formation of rural human capital, manifested through differentiation between municipal districts according to their spatial organization. **Methods** of economic, mathematical and statistical analysis were used in the calculations. The study applied an approach that made it possible to divide the rural territories of the Voronezh region into types of periphery, depending on their distance from the regional center, which made it possible to identify which of the parameters of spatial organization have the greatest impact on the development of human capital. The use of systems analysis allowed to consider the studied problems both in horizontal and vertical directions, to study various aspects and measures for further improvement of rural human capital management. **Scientific novelty.** For the first time the spatial organization of rural areas is investigated through the prism of systematization of municipalities according to their typology by peripheral characteristics in order to build a comprehensive and detailed idea of the specifics of the formation of human capital in rural regions. **The results** obtained made it possible, based on the identification of 3 types of periphery of rural areas, to identify the parameters of spatial organization that have the greatest positive or negative impact on the state of human capital. This approach makes it possible to make more effective management decisions if it is necessary to point and promptly regulate the formation and use of human capital, which have a pronounced local specificity, which, ultimately, should contribute to improving the management system of rural development.

Keywords: rural areas, human capital, spatial organization, periphery, correlation matrix, Voronezh region

For citation: Novikova I. I. The influence of spatial organization of territories on the formation of rural human capital. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1827–1837. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1827-1837>. (In Russ.)

Date of paper submission: 07.04.2006, **date of review:** 10.06.2026, **date of acceptance:** 28.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Сельское пространство Российской Федерации характеризуется значительной неоднородностью как на региональном, так и на муниципальном уровне. Существующие социально-экономические и административные барьеры между сельскими муниципалитетами препятствуют их комплексному развитию, что, в свою очередь, негативно сказывается на эффективности управленческих решений. Зачастую эти решения основываются на усредненных показателях регионального роста, что приводит к игнорированию уникальных особенностей и специфики отдельных сельских территорий, что, в свою очередь, является серьезным ограничением для достижения их устойчивого развития [1; 2]. В последние десятилетия в сельских районах наблюдается усиление диспропорций в социально-эконо-

мическом развитии, что представляет серьезную угрозу для целостности пространства, а также национальной безопасности [3; 4].

Процесс урбанизации привел к трансформации пространственного распределения населения по принципу «центр – периферия». Данная тенденция характеризуется значительным перемещением людских ресурсов в крупные городские агломерации и их ближние пригороды, что сопровождается углублением инфраструктурных и экономических разрывов между различными муниципальными образованиями [5]. В результате эти пространственные диспропорции оказывают существенное влияние на формирование человеческого капитала, определяя доступность и качество образовательных, медицинских и социальных услуг, а также уровень занятости и доходов населения. Поэтому проблема

диспропорционального пространственного развития сельских территорий и его влияния на формирование человеческого капитала приобретает стратегическое значение, требуя комплексного подхода и скоординированных усилий на государственном уровне [6–8].

Методология и методы исследования (Methods)

Настоящее исследование посвящено анализу пространственного развития сельских территорий и муниципальных образований Воронежской области в период с 2013 по 2023 год. Для проведения анализа были отобраны ключевые показатели, отражающие базовые параметры пространственной организации сельских районов, что позволило сформировать репрезентативную выборку данных.

Особое внимание было уделено изучению влияния города Воронежа на прилегающие муниципа-

литеты. В этой связи районы были классифицированы по трем типам периферии в зависимости от их удаленности от областного центра:

1. Ближняя (до 75 км): Верхнехавский, Каширский, Нижнедевицкий, Новоусманский, Панинский, Рамонский, Семилукский и Хохольский районы.

2. Средняя (75–150 км): Аннинский, Бобровский, Бутурлиновский, Каменский, Лискинский, Острогожский, Павловский, Подгоренский, Репьевский, Таловский и Эртильский районы.

3. Дальняя (свыше 150 км): Богучарский, Борисоглебский, Верхнемамонский, Воробьевский, Грибановский, Калачеевский, Кантемировский, Новохоперский, Ольховатский, Петропавловский, Поворинский, Россошанский и Терновский районы.

Таблица 1
Пространственная организация сельских территорий Воронежской области, 2013 г.

Тип	Районы	Миграционное движение населения, %	Людность сельского населенного пункта, чел.	Плотность экономической деятельности, тыс. руб/км ²	Плотность инвестиционной деятельности, тыс. руб/км ²	Густота автомобильных дорог, км / 10 000 км ²
Ближняя периферия	Верхнехавский	6,29	383,0	2662,2	465,3	2977,0
	Каширский	5,38	823,8	2923,6	337,4	2915,0
	Нижнедевицкий	0,68	384,5	1494,5	411,9	3019,0
	Новоусманский	22,19	1419,9	2727,1	2334,1	4255,0
	Панинский	–18,14	228,6	1335,6	699,4	3077,0
	Рамонский	16,80	349,7	4625,6	5636,9	3505,0
	Семилукский	5,16	385,4	2040,6	1403,1	3264,0
	Хохольский	10,23	634,9	1447,8	479,0	3878,0
Средняя периферия	Аннинский	–12,59	397,8	1848,6	810,9	2800,0
	Бобровский	1,58	528,9	2352,1	1495,6	2610,0
	Бутурлиновский	–14,44	497,4	1404,2	711,5	2734,0
	Каменский	–13,80	261,5	1158,6	1238,5	3404,0
	Лискинский	–8,43	572,4	9826,5	4152,9	4918,0
	Острогожский	–2,28	334,9	1493,5	1161,7	4038,0
	Павловский	2,88	589,8	1748,5	598,6	2445,0
	Подгоренский	–11,32	268,8	947,3	645,1	2749,0
	Репьевский	5,38	376,8	1212,6	185,1	2593,0
	Таловский	–7,29	295,4	1119,0	1621,6	3207,0
	Эртильский	–10,31	217,5	1792,4	668,5	3007,0
Дальняя периферия	Богучарский	–11,86	507,2	1122,0	1278,7	2277,0
	Борисоглебский	–1,59	506,2	2875,5	468,9	3025,0
	Верхнемамонский	–11,58	1464,4	843,6	191,9	2695,0
	Воробьевский	–17,45	609,5	1004,2	203,7	2960,0
	Грибановский	–5,08	380,9	1338,2	209,4	2394,0
	Калачеевский	–8,26	751,5	1902,8	510,8	2863,0
	Кантемировский	–18,02	416,4	968,7	1830,7	2666,0
	Новохоперский	–5,93	341,2	1074,0	732,1	3010,0
	Ольховатский	–2,23	379,1	2371,7	693,3	2956,0
	Петропавловский	–13,27	670,3	679,7	34,7	1926,0
	Поворинский	–3,42	833,6	1570,3	561,5	3259,0
	Россошанский	–0,04	354,5	5242,8	948,5	3361,0
	Терновский	–11,64	503,5	1138,9	174,5	2710,0

Источник: рассчитано автором на основе данных Росстата.

Table 1

Spatial organization of rural areas of the Voronezh region, 2013

Type	Areas	Migration movement of the population, ‰	The population of a rural settlement, people	Economic activity density, thousand rubles/km ²	Investment activity density, thousand rubles/km ²	Road density, km / 10 000 km ²
Near periphery	Verkhnekhavskiy	6.2	383.0	2662.2	465.3	2977.0
	Kashirskiy	5.3	823.8	2923.6	337.4	2915.0
	Nizhnedevitskiy	0.6	384.5	1494.5	411.9	3019.0
	Novousmanskii	22.1	1419.9	2727.1	2334.1	4255.0
	Paninskiy	-18.1	228.6	1335.6	699.4	3077.0
	Ramonskiy	16.8	349.7	4625.6	5636.9	3505.0
	Semilukskiy	5.1	385.4	2040.6	1403.1	3264.0
	Khokhol'skiy	10.2	634.9	1447.8	479.0	3878.0
Middle periphery	Anninskiy	-12.5	397.8	1848.6	810.9	2800.0
	Bobrovskiy	1.5	528.9	2352.1	1495.6	2610.0
	Buturlinovskiy	-14.4	497.4	1404.2	711.5	2734.0
	Kamenskiy	-13.8	261.5	1158.6	1238.5	3404.0
	Liskinskiy	-8.4	572.4	9826.5	4152.9	4918.0
	Ostrogzhskiy	-2.2	334.9	1493.5	1161.7	4038.0
	Pavlovskiy	2.8	589.8	1748.5	598.6	2445.0
	Podgorenskiy	-11.3	268.8	947.3	645.1	2749.0
	Repievskiy	5.3	376.8	1212.6	185.1	2593.0
	Talovskiy	-7.2	295.4	1119.0	1621.6	3207.0
	Erti'skiy	-10.3	217.5	1792.4	668.5	3007.0
	Bogucharskiy	-11.8	507.2	1122.0	1278.7	2277.0
Far periphery	Borisoglebskiy	-1.5	506.2	2875.5	468.9	3025.0
	Verkhnemamonskiy	-11.5	1464.4	843.6	191.9	2695.0
	Vorobyevskiy	-17.4	609.5	1004.2	203.7	2960.0
	Gribanovskiy	-5.0	380.9	1338.2	209.4	2394.0
	Kalacheevskiy	-8.2	751.5	1902.8	510.8	2863.0
	Kantemirovskiy	-18.0	416.4	968.7	1830.7	2666.0
	Novokhoperskiy	-5.9	341.2	1074.0	732.1	3010.0
	Ol'khovatskiy	-2.2	379.1	2371.7	693.3	2956.0
	Petropavlovskiy	-13.2	670.3	679.7	34.7	1926.0
	Povorinskiy	-3.4	833.6	1570.3	561.5	3259.0
	Rossoshanskiy	-0.0	354.5	5242.8	948.5	3361.0
	Ternovskiy	-11.6	503.5	1138.9	174.5	2710.0

Source: calculated by the author on the basis of Rosstat data.

Данная классификация позволила систематизировать данные и выявить закономерности, характеризующие пространственное развитие сельских территорий в контексте их географической близости к крупному городскому центру [9–12].

Результаты (Results)

В разрезе полученных типов была проведена оценка пространственной организации сельских территорий (таблицы 1, 2). Одним из показателей, описывающим пространственную организацию региона, является миграционное движение сельского населения в разрезе муниципальных образований Воронежской области [13]. Необходимо акцентировать внимание на том, что данный показатель обладает амбивалентной семантической характери-

стикой, что существенно усложняет его трактовку и не позволяет в полной мере выявить устоявшиеся тенденции среди выделенных типов сельских территорий. Исходя из этого были рассмотрены его общие направления, которые показали, что всего для четырех районов – Новоусманского, Рамонского, Репьевского и Хохольского – характерен постоянный положительный приток населения на село за 2013–2023 годы, причем только в трех из них (кроме Новоусманского) имеет положительный тренд от 0,15 до 11,8 п. п. Также стоит обратить внимание на Семилукский район, который мог бы присоединиться к предыдущим, однако в 2017 году у него зафиксирован миграционный отток, составивший -0,21 промилле.

К районам с миграционным оттоком населения можно отнести всего четыре: Бутурлиновский, Калачеевский, Лискинский и Терновский, однако выявленная тенденция направлена на улучшение ситуации, поскольку снижается в пределах от 7,5 до 0,15 п. п. Еще в двух районах наряду с выше-

перечисленными (за исключением одного или двух лет) выявлен отток сельского населения: Кантемировский (только в 2016 году был прирост на 6,8 промилле) и Таловский (прирост был только в 2020 году – 0,14 промилле, в 2023 году – 0,58).

Таблица 2
Пространственная организация сельских территорий Воронежской области, 2023 г.

Тип	Районы	Миграционное движение населения, %	Людность сельского населенного пункта, чел.	Плотность экономической деятельности, тыс. руб/км ²	Плотность инвестиционной деятельности, тыс. руб/км ²	Густота автомобильных дорог, км / 10 000 км ²
Ближняя периферия	Верхнехавский	4,24	350,1	8 865,3	861,1	4 618,0
	Каширский	4,18	761,2	11 012,4	687,6	4 475,0
	Нижнедевицкий	7,39	347,2	4 329,9	752,6	4 266,0
	Новоусманский	20,50	1 653,3	14 247,6	6 240,9	7 173,0
	Панинский	-2,56	198,5	3 772,6	399,3	4 572,0
	Рамонский	28,60	456,6	26 823,4	7 416,7	5 398,0
	Семилукский	8,04	380,3	10 764,9	1 072,6	5 337,0
	Хохольский	19,56	631,8	5 150,0	733,7	4 389,0
Средняя периферия	Аннинский	-1,52	315,0	6 617,5	1 184,9	3 630,0
	Бобровский	2,11	522,8	10 863,6	3 293,9	4 445,0
	Бутурлиновский	-6,95	413,2	4 829,0	1 520,4	3 728,0
	Каменский	0,23	222,3	7 841,3	539,9	4 853,0
	Лискинский	-7,53	515,8	20 702,7	3 303,4	6 323,0
	Острогожский	-2,05	300,7	6 813,7	1 327,5	4 391,0
	Павловский	-6,47	506,9	14 375,1	3 279,0	3 521,0
	Подгоренский	1,53	229,1	4 534,7	389,6	3 982,0
	Репьевский	5,53	359,9	2 293,0	158,3	3 685,0
	Таловский	0,58	245,1	5 163,6	627,7	3 977,0
	Эртильский	0,00	179,0	5 591,3	475,2	4 505,0
	Богучарский	-6,26	534,1	2 610,6	1 869,2	2 954,0
Дальняя периферия	Борисоглебский	0,91	441,0	12 645,2	939,5	3 223,0
	Верхнемамонский	5,36	1302,6	3 672,8	1 014,9	3 676,0
	Воробьевский	0,46	513,6	3 320,3	502,9	3 234,0
	Грибановский	6,75	329,0	3 084,3	331,7	2 759,0
	Калачеевский	-7,46	618,5	6 938,3	2 311,9	3 323,0
	Кантемировский	-10,66	351,7	2 494,2	1 017,8	3 105,0
	Новохоперский	-1,61	293,8	5 670,8	1 038,4	3 370,0
	Ольховатский	2,63	340,1	8 238,6	499,6	3 865,0
	Петропавловский	6,02	585,0	1 517,8	73,7	2 299,0
	Поворинский	5,21	755,0	4 933,7	1 524,8	3 977,0
	Россошанский	-5,37	311,3	11 770,3	1 136,5	3 564,0
	Терновский	-11,49	413,9	3 183,6	224,8	3 625,0

Table 2
Spatial organization of rural areas of the Voronezh region, 2023

Type	Areas	Migration movement of the population, ‰	The population of a rural settlement, people	Economic activity density, thousand rubles/km ²	Investment activity density, thousand rubles/km ²	Road density, km / 10 000 km ²
Near periphery	Verkhnekhavskiy	4.24	350.1	8 865.3	861.1	4 618.0
	Kashirskiy	4.18	761.2	11 012.4	687.6	4 475.0
	Nizhnedevitskiy	7.39	347.2	4 329.9	752.6	4 266.0
	Novousmanskiy	20.50	1 653.3	14 247.6	6 240.9	7 173.0
	Paninskiy	-2.56	198.5	3 772.6	399.3	4 572.0
	Ramonskiy	28.60	456.6	26 823.4	7 416.7	5 398.0
	Semilukskiy	8.04	380.3	10 764.9	1 072.6	5 337.0
	Khokhol'skiy	19.56	631.8	5 150.0	733.7	4 389.0

Middle periphery	Anninskiy	-1.52	315.0	6 617.5	1 184.9	3 630.0
	Bobrovskiy	2.11	522.8	10 863.6	3 293.9	4 445.0
	Buturlinovskiy	-6.95	413.2	4 829.0	1 520.4	3 728.0
	Kamenskiy	0.23	222.3	7 841.3	539.9	4 853.0
	Liskinskiy	-7.53	515.8	20 702.7	3 303.4	6 323.0
	Ostrogzhskiy	-2.05	300.7	6 813.7	1 327.5	4 391.0
	Pavlovskiy	-6.47	506.9	14 375.1	3 279.0	3 521.0
	Podgorenskiy	1.53	229.1	4 534.7	389.6	3 982.0
	Repievskiy	5.53	359.9	2 293.0	158.3	3 685.0
	Talovskiy	0.58	245.1	5 163.6	627.7	3 977.0
	Ertil'skiy	0.00	179.0	5 591.3	475.2	4 505.0
Far periphery	Bogucharskiy	-6.26	534.1	2 610.6	1 869.2	2 954.0
	Borisoglebskiy	0.91	441.0	12 645.2	939.5	3 223.0
	Verkhnemamonskiy	5.36	1302.6	3 672.8	1 014.9	3 676.0
	Vorobyevskiy	0.46	513.6	3 320.3	502.9	3 234.0
	Gribanovskiy	6.75	329.0	3 084.3	331.7	2 759.0
	Kalacheevskiy	-7.46	618.5	6 938.3	2 311.9	3 323.0
	Kantemirovskiy	-10.66	351.7	2 494.2	1 017.8	3 105.0
	Novokhoperskiy	-1.61	293.8	5 670.8	1 038.4	3 370.0
	Ol'khovatskiy	2.63	340.1	8 238.6	499.6	3 865.0
	Petropavlovskiy	6.02	585.0	1 517.8	73.7	2 299.0
	Povorinskiy	5.21	755.0	4 933.7	1 524.8	3 977.0
	Rossoshanskiy	-5.37	311.3	11 770.3	1 136.5	3 564.0
	Ternovskiy	-11.49	413.9	3 183.6	224.8	3 625.0

Source: calculated by the author on the basis of Rosstat data.

Пространственная организация сельских территорий Воронежской области характеризуется высокой плотностью сельских населенных пунктов. Среди всех муниципальных районов с самыми высокими значениями обладают Верхнемамонский и Новоусманский районы (1302 и 1653 чел. соответственно), однако наблюдаемые в них изменения имеют разную динамику: если в первом она отрицательная (сокращение с 2013 по 2023 год на 161 чел.), то во втором, наоборот, положительная (рост составил 233 чел.). Увеличение плотности в сельских населенных пунктах также зафиксировано в Рамонском районе (на 106 чел.), а самое сильное снижение – в Калачеевском (133 чел.). Такие изменения в значительной степени коррелируют с происходящими демографическими изменениями в сельских территориях, что негативно сказывается на их пространственных характеристиках.

В целом в пределах региона расселение населения и демографические процессы имеют неравномерный характер, что оказывает влияние на размещение производства [14; 15]. Структурные и территориальные изменения в экономике региона происходят за счет трансформации экономической деятельности в базовых отраслях: сельском хозяйстве, промышленности и торговле [16].

В последние годы наблюдается тенденция к снижению роли сельского хозяйства в экономике, что подтверждается статистическими данными о сокращении числа районов, где его удельный вес превышает 50 %. Так, в Верхнемамонском районе данный показатель к окончанию исследуемого периода снизился до 47,8 %, а в Подгоренском – до

30,6 %. Полученные данные указывают на структурную трансформацию в сельской экономике, где аграрный сектор уступает доминирующие позиции другим отраслям.

В сельских районах средней периферии наблюдается значительное воздействие на их экономическую структуру, т. к. влияние аграрного сектора на экономику неуклонно снижается: доля районов, где сельское хозяйство лидировало, сократилась с 66,7 % в 2013 году до 25,0 % в 2023 году. Наиболее существенное снижение зафиксировано в Павловском районе, где данный показатель уменьшился на 45,5 п. п. В то же время в Репьевском районе наблюдается противоположная тенденция – увеличение доли аграрного сектора на 17,7 п. п., что указывает на наличие локальных факторов, способствующих росту сельскохозяйственного производства.

В районах дальней периферии к 2023 году ни один из них не демонстрирует удельный вес аграрного сектора более 50 %, за исключением Петропавловского района, где сельское хозяйство продолжает играть значительную роль. При этом в Кантемировском и Новохоперском районах также можно отметить незначительный рост аграрного сектора: на 5,7 и 2,2 п. п. соответственно. В Россошанском районе зафиксировано увеличение доли сельского хозяйства на 2,2 п. п., однако к 2023 году она составила всего 14,6 %, что указывает на сохранение низкого значения. Такая ситуация связана с преобладанием промышленного и торгового секторов в структуре сельской экономики рассматриваемых муниципальных образований.

Таблица 3

Корреляционная матрица, 2013 г.

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Y	1					
X ₁	0,389318	1				
X ₂	0,42541	0,255797	1			
X ₃	-0,00362	0,286578	0,013784	1		
X ₄	0,204328	0,335835	-0,04852	0,655153	1	
X ₅	0,296901	0,380094	0,111837	0,645854	0,567893	1

Примечание. Y – численность сельского населения, X₁ – миграционное движение населения, X₂ – людность сельского населенного пункта, X₃ – плотность экономической деятельности, X₄ – плотность инвестиционной деятельности, X₅ – густота автомобильных дорог

Источник: рассчитано автором на основе данных Росстата

Table 3

Correlation matrix, 2013

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Y	1					
X ₁	0.389318	1				
X ₂	0.42541	0.255797	1			
X ₃	-0.00362	0.286578	0.013784	1		
X ₄	0.204328	0.335835	-0.04852	0.655153	1	
X ₅	0.296901	0.380094	0.111837	0.645854	0.567893	1

Note. Y – rural population, X₁ – migration movement of the population, X₂ – population of a rural settlement, X₃ – economic activity density, X₄ – investment activity density, X₅ – road density.

Source: calculated by the author on the basis of Rosstat data.

Таблица 4

Корреляционная матрица, 2023 г.

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Y	1					
X ₁	0,344407	1				
X ₂	0,671261	0,391751	1			
X ₃	0,475018	0,356766	0,164034	1		
X ₄	0,724968	0,449271	0,46397	0,788354	1	
X ₅	0,667962	0,434541	0,337941	0,628294	0,583882	1

Примечание. Y – численность сельского населения, X₁ – миграционное движение населения, X₂ – людность сельского населенного пункта, X₃ – плотность экономической деятельности, X₄ – плотность инвестиционной деятельности, X₅ – густота автомобильных дорог.

Источник: рассчитано автором на основе данных Росстата.

Table 4

Correlation matrix, 2023

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Y	1					
X ₁	0.344407	1				
X ₂	0.671261	0.391751	1			
X ₃	0.475018	0.356766	0.164034	1		
X ₄	0.724968	0.449271	0.46397	0.788354	1	
X ₅	0.667962	0.434541	0.337941	0.628294	0.583882	1

Note. Y – rural population, X₁ – migration movement of the population, X₂ – population of a rural settlement, X₃ – economic activity density, X₄ – investment activity density, X₅ – road density.

Source: calculated by the author on the basis of Rosstat data.

Произошедшие изменения привели к увеличению удельного веса промышленного и торгового секторов, что свидетельствует о диверсификации экономики. В Рамонском районе (ближняя периферия) и Подгоренском районе (средняя периферия) доля этих секторов превысила 50 % благодаря существенному росту на 56,4 и 42,4 п. п. соответственно. Быстрое наращивание доли промышлен-

ности также наблюдается в Воробьевском, Нижнедевицком, Новоусманском и Терновском районах, где этот показатель увеличился на 23,9, 33,3, 40,5 и 22,3 п. п. соответственно. Напротив, в Кантемировском и Богучарском районах данный показатель снизился на 8,7 и 3,1 п. п., что указывает на структурные изменения.

В строительной отрасли преобразования характеризуются меньшей интенсивностью. В Верхнемамонском районе зафиксирован значительный рост доли строительства на 20,0 п. п., что свидетельствует о развитии строительной инфраструктуры. В то же время в Рамонском, Павловском и Острогжском районах наблюдалось снижение на 29,9, 12,0 и 10,1 п. п. соответственно, что может быть связано с изменениями в инвестиционной политике или экономической конъюнктуре. В остальных районах изменения варьировались от снижения на 9,0 п. п. до увеличения на 7,0 п. п., что подчеркивает разнообразие экономических тенденций в различных районах.

Наряду с трудовыми и экономическими ресурсами на пространственную организацию оказывают влияние вкладываемые в основной капитал инвестиции, позволяющие обновлять и модернизировать имеющуюся технику и оборудование, поддерживать в надлежащем состоянии здания и сооружения, реконструировать имеющиеся основные фонды для более устойчивого развития сельских территорий.

Исходя из данных, приведенных в таблицах 1, 2, можно сказать о том, что только в 10 районах данный показатель снизился: от 193,4 тыс. руб./км² в Эртильском районе до 994,0 тыс. руб./км² в Таловском. Вместе с этим в рамках выделенных типов можно отметить следующее. На один муниципальный район ближней периферии в среднем приходится 2270,5 тыс. руб./км². Такой результат достигается за счет наличия в типе двух самых высокоинвестируемых районов (Новоусманского – 6240,9 тыс. руб./км², Рамонского – 7416,7 тыс. руб./км²), которые расположены рядом с областным центром – Воронежем.

Для средней периферии характерно более низкое среднее значение показателя (1463,6 тыс. руб./км²), однако и разброс между муниципальными образованиями также не настолько значимый, как в первом типе. Так, максимальный объем инвестиций отмечается в Лискинском районе и составляет 3303,4 тыс. руб./км², а минимальный – в Репьевском (158,3 тыс. руб./км²). Схожие тенденции наблюдаются и в муниципальных образованиях дальней периферии (среднее значение – 690,4 тыс. руб./км², максимум – в Калачеевском районе – 2311,9 тыс. руб./км², а минимум – в Петропавловском – 73,7 тыс. руб./км²).

Далее определим, какие из рассмотренных выше параметров пространственной организации оказывают влияние на формирование человеческого капитала сельских территорий через численность населения. Для этого сформируем корреляционные матрицы за 2013 и 2023 годы (таблицы 3, 4).

При рассмотрении полученных результатов за 2013 год видно, что между численностью населения и представленными факторами наблюдается прямая зависимость, кроме плотности инвести-

онной деятельности (–0,003). При этом связь между всеми показателями очень слабая или умеренная.

Если рассматривать аналогичное влияние в разрезе периферий, то можно отметить следующее:

- для ближней – высокое влияние на формирование человеческого капитала оказывают плотность экономической деятельности (0,88) и густота автомобильных дорог (0,73), заметное – миграционное движение населения (0,62);

- для средней – значимое положительное влияние не выявлено ни от одного из выбранных параметров, а отрицательная слабая связь – с плотностью сельского населенного пункта (–0,08), плотностью экономической (–0,26) и инвестиционной (–0,27) деятельности;

- для дальней – высокое влияние проявляется у плотности инвестиционной деятельности (0,71), при этом отрицательное слабое – у миграционного движения населения (–0,30), плотности сельского населенного пункта (–0,25) и густоты автомобильных дорог (–0,01).

Если рассмотреть аналогичную корреляционную матрицу за 2023 год, то здесь складывается совершенно другая ситуация (таблица 4).

Так, выявлено изменение воздействия в общем на формирование сельского человеческого капитала, которое теперь имеет высокую связь с плотностью сельского населенного пункта (0,67), плотностью инвестиционной деятельности (0,72) и густотой автомобильных дорог (0,66), при этом все параметры пространственной организации оказывают прямое влияние.

Рассматривая полученные результаты в разрезе выделенных типов периферий, отметим:

- для ближней отмечается усиление воздействия плотности сельского населенного пункта и густоты автомобильных дорог (очень высокая связь – 0,92 и 0,95 соответственно), а также плотность инвестиционной деятельности (заметная – 0,67);

- для средней – появление высокой связи с плотностью сельского населенного пункта и плотностью экономической и инвестиционной деятельности, которые в 2013 году имели отрицательную направленность влияния (0,74, 0,78 и 0,81 соответственно), при этом миграционное движение изменило направление влияния (–0,46);

- для дальней – снижение положительной связи с плотностью инвестиционной деятельности (заметная – 0,64) и увеличение отрицательной связи с миграционное движение населения (заметная – (–0,58)).

На основании проведенного анализа собранных эмпирических данных можно утверждать, что за период исследования с 2013 по 2023 год наблюдается существенная трансформация влияния параметров пространственной организации территории на формирование и развитие человеческого капитала.

Данный процесс обусловлен совокупным воздействием технологических инноваций, демографических сдвигов, миграционных потоков и экономической динамики. Так, урбанизационные процессы, особенно сильно проявляющиеся в ближней периферии, характеризуются концентрацией высококвалифицированных специалистов и образовательных ресурсов, что, в свою очередь, способствует положительному эффекту на развитие человеческого капитала. Однако неравномерное распределение инфраструктурных и ресурсных активов между перифериями (и особенно средней и дальней) приводит к значительным диспропорциям, замедляя развитие менее обеспеченных территорий.

Поэтому для эффективного управления пространственной организацией и формирования современного человеческого капитала необходимо комплексное понимание этих процессов и их динамической адаптации к современным реалиям. Это требует применения системного подхода, включающего детальный анализ пространственных факторов, мониторинг демографических тенденций и разработку стратегических инициатив, направленных на минимизацию диспропорций и оптимизацию распределения ресурсов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, проведенное исследование по выделенным типам периферии показало, что формирование человеческого капитала Воронежской области достаточно тесно связано с процессами, затрагивающими изменение пространственной организации сельских территорий:

1. Ближняя периферия включает в себя 8 муниципальных районов (Верхнехавский, Каширский, Нижнедевицкий, Новоусманский, Панинский, Рамонский, Семилукский, Хохольский) и привлекает наибольшую численность сельского населения, что выражается в высоких показателях плотности населения и увеличении миграционного притока, сохранении лидерских позиций по средней людности сельского населенного пункта. Экономика представлена достаточно развитым аграрным сектором и торговлей, что связано с близким расположением с областным центром и, соответственно, снижением логистических издержек, развитой железнодорожной и транспортной инфраструктурой. К концу периода исследования показатели плотности экономической деятельности в рассматриваемых муниципальных районах продолжают оставаться высокими (плотность промышленной деятельности превышает аналогичный показатель по другим группам), что позволяет привлекать инвестиции в основной капитал для наращивания темпов производства, его перевооружения, реконструкции, а также внедрения новых технологий.

2. Средняя периферия состоит из 11 муниципальных районов (Аннинский, Бобровский, Бу-

турлиновский, Каменский, Лискинский, Остро-гожский, Павловский, Подгоренский, Репьевский, Таловский, Эртильский), которые по тенденциям естественного и миграционного движения населения очень близки к первой группе, но при этом плотность сельского населения имеет более низкое значение. Также стоит отметить самую низкую людность на один сельский населенный пункт. При рассмотрении плотности по наблюдаемым видам экономической деятельности особое внимание на себя обращает промышленность, где произошло увеличение плотности ее деятельности более чем в 7 раз. Развитие аграрной отрасли происходило не столь стремительно, но увеличение объема производимой продукции произошло в основном за счет строительства и реконструкции крупных животноводческих комплексов с увеличением условного поголовья скота (кроме птицы) на 1 км² практически в 4 раза.

3. Дальняя периферия представлена оставшимися 13 муниципальными районами (Богучарский, Борисоглебский, Верхнемамонский, Воробьевский, Грибановский, Калачеевский, Кантемировский, Новохоперский, Ольховатский, Петропавловский, Поворинский, Россошанский, Терновский), которые находятся на значительном расстоянии от областного центра, соответственно, на них меньше всего он оказывает свое влияние, что проявляется в снижении плотности сельского населения, сохранении миграционного оттока из села. Вместе с этим на данных территориях расположено меньше всего сельских населенных пунктов, что позволило им сохранить второе место по средней людности. Так же как и для остальных муниципальных районов, в них отмечается увеличение плотности по всем наблюдаемым видам экономической деятельности, однако их темпы не настолько велики (кроме отрасли торговли, что, скорее всего, связано с расширением зоны влияния различных торговых розничных сетей).

Комплексное исследование пространственной организации региона, осуществленное в рамках детального анализа различных типов периферийных зон, позволило идентифицировать и систематизировать ключевые факторы, оказывающие значимое влияние на формирование человеческого капитала в Воронежской области. Полученные результаты обладают стратегической релевантностью для разработки научно обоснованных документов, направленных на обеспечение устойчивого развития сельских территорий, внося существенный вклад в формирование эффективных институциональных механизмов, что критически важно для достижения долгосрочных целей социально-экономического развития, а также для повышения адаптационного потенциала и устойчивости сельских сообществ в условиях глобальных изменений.

Библиографический список

1. Гаврилюк М. Н., Ильичев К. С., Орлов С. В. [и др.] Пространственное развитие сельских территорий // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 5 (395). С. 449–453. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_5_449.
2. Меренкова И. Н., Закшевский В. Г., Наролина Ю. В. [и др.] Устойчивость экономики сельских территорий как фактор развития человеческого капитала // Modern Economy Success. 2022. № 3. С. 69–75.
3. Красильникова Л. Е., Федосеева С. С., Баландин Д. А. Пространственно-отраслевое развитие сельских территорий в условиях современной экономической неопределенности: анализ, динамика, прогнозы. Пермь: ИПЦ «Прокрост», 2022. 143 с.
4. Котлярова С. Н., Шамова Е. А. Особенности пространственной организации регионов Уральского федерального округа // Экономика региона. 2024. Т. 20, № 4. С. 1120–1144. DOI: 10.17059/ekon.reg.2024-4-10.
5. Меренкова И. Н. Условия формирования и развития сельской инфраструктуры неурбанизированных территорий // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 3 (78). С. 238–250. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_3_238.
6. Чупина И. П. Человеческий капитал как одно из основных условий устойчивого развития сельских территорий // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 38. С. 863–867.
7. Андреева Д. А. Человеческий капитал как фактор балансировки социально-экономических систем: интегрированная стратегия развития экономической безопасности в условиях цифровизации // Первый экономический журнал. 2025. № 4 (358). С. 12–17. DOI: 10.58551/20728115_2025_4_12.
8. Волков А. Д., Аверьянов А. О., Рослякова Н. А., Голомыдько П. А. Человеческий капитал и социальная емкость регионального пространства Арктической Карелии // Арктика и Север. 2024. № 57. С. 92–114. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2024.57.92.
9. Дьяков М. Ю. Экономическая оценка человеческого капитала региона // Экономика региона. 2022. Т. 18, № 2. С. 556–568. DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-2-18
10. Дорофеев А. Ф., Масалытина Д. А., Пуляева В. Н. Человеческий капитал сельских территорий: статистический анализ и направления развития (на материалах Белгородской области) // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2025. № 12 (131). С. 227–236. DOI: 10.339938/2512-227.
11. Нешатаев А. В. Человеческий капитал на территориях с разным уровнем благополучия: измерение и влияние // Регионология. 2023. Т. 31, № 1 (122). С. 123–142. DOI: 10.15507/2413-1407.122.031.202301.123-142.
12. Jagódka M. Typification of Polish regions based on human capital and innovativeness: a cluster analysis approach // Transforming Government: People, Process and Policy. 2025. Vol. 19, No. 3. Pp. 614–637. DOI: 10.1108/TG-02-2025-0050.
13. Закшевский В. Г., Гаврилова З. В. Теоретические аспекты разработки мониторинга пространственного развития сельских территорий // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 6 (100). С. 154–161. DOI: 10.33938/236-154.
14. Аслаева С. Ш. Пространственное развитие сельского хозяйства в регионе // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1714–1724. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-12-1714-1724.
15. Евграфова Л. В., Кучер М. О., Чупина И. П. Современные подходы к диверсификации сельской экономики и их влияние на территориальное развитие // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 10. С. 1695–1704. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-10-1695-1704.
16. Красильникова Л. Е., Рущицкая О. А., Баландин Д. А., Кружкова Т. И. Отраслевое развитие сельских территориальных систем России в условиях современной экономической неопределенности // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 3. С. 404–416. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-404-416.

Об авторе:

Ирина Игоревна Новикова, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса Центрально-Черноземного района – филиал Воронежского Федерального аграрного научного центра им. В. В. Докучаева, Воронеж, Россия; ORCID 0000-0003-4091-5064, AuthorID 709909. E-mail: irinchic@mail.ru

References

1. Gavriluk M. N., Ilyichev K. S., Orlov S. V., et al. Spatial development of rural areas. *International agricultural journal*. 2023; 5: 449–453. DOI: 10.55186/25876740_2023_66_5_449. (In Russ.)
2. Merenkova I. N., Zakshevskiy V. G., Narolina Yu. V., Novikova I. I., Gavrilova Z. V. The stability of the rural economy as a factor in the development of human capital. *Modern Economy Success*. 2022; 3: 69–75. (In Russ.)
3. Krasil'nikova L. E., Fedoseeva S. S., Balandin D. A. *Spatial and sectoral development of rural areas in conditions of modern economic uncertainty: analysis, dynamics, forecasts*. Perm: Prokrost, 2022. 143 p. (In Russ.)

4. Kotlyarova S. N., Shamova E. A. Disparities in the spatial organization of regions in the Ural Federal Okrug. *Economy of Regions*. 2024; 20 (4): 1120–1144. DOI: 10.17059/ekon.reg.2024-4-10. (In Russ.)
5. Merenkova I. N. Conditions for the formation and development of rural infrastructure of non-urbanized territories. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16 (3): 238–250. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_3_238. (In Russ.)
6. Chupina I. P. Human capital as one of the main conditions for the sustainable development of rural areas. *Innovation. Science. Education*. 2021; 38: 863–867. (In Russ.)
7. Andreeva D. A. Human capital as a balancing factor of socio-economic systems: an integrated economic security development strategy in the digital era. *First Economic Journal*. 2025; 4 (358): 12–17. DOI: 10.58551/20728115_2025_4_12. (In Russ.)
8. Volkov A. D., Averyanov A. O., Roslyakova N. A., Golomyd'ko P. A. Human capital and social capacity of the regional space of Arctic Karelia. *Arctic and North*. 2024; 57: 92–114. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2024.57.92. (In Russ.)
9. Dyakov M. Yu. Economic assessment of regional human capital. *Economy of Regions*. 2022; 18 (2): 556–568. DOI: 10.17059/ekon.reg.2022-2-18. (In Russ.)
10. Dorofeev A. F., Masalytina D. A., Pulyaeva V. N. Human capital of rural areas: statistical analysis and development directions (based on the materials of the Belgorod region) *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2025; 12: 227–236. DOI: 10.339938/2512-227. (In Russ.)
11. Neshataev A. V. Human capital in territories with different level of socio-economic well-being: assessment and influence. *Russian Journal of Regional Studies*. 2023; 31 (1): 123–142. DOI: 10.15507/2413-1407.122.031.202301.123-142. (In Russ.)
12. Jagódka M. Typification of Polish regions based on human capital and innovativeness: a cluster analysis approach. *Transforming Government: People, Process and Policy*. 2025; 19 (3): 614–637. DOI: 10.1108/TG-02-2025-0050.
13. Zakshevskiy V. G., Gavrilova Z. V. Theoretical aspects of the development of monitoring of spatial development of rural areas *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2023; 6: 154–161. DOI: 10.33938/236-154. (In Russ.)
14. Aslaeva S. Sh. Spatial development of agriculture in the region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1714–1724. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-12-1714-1724. (In Russ.)
15. Evgrafova L. V., Kucher M. O., Chupina I. P. Modern approaches to rural economy diversification and their impact on territorial development. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (10): 1695–1704. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-10-1695-1704. (In Russ.)
16. Krasilnikova L. E., Rushchitskaya O. A., Balandin D. A., Kruzhkova T. I. Sectoral development of rural territorial systems of Russia in conditions of modern economic uncertainty. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (03): 404–416. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-404-416. (In Russ.)

Author's information:

Irina I. Novikova, candidate of economic sciences, senior researcher, Research Institute of Economics and Organization of the Agro-Industrial Complex of the Central Black Earth Region – a branch of the V. V. Dokuchaev Voronezh Federal Agrarian Research Center, Voronezh, Russia; ORCID 0000-0003-4091-5064, AuthorID 709909. E-mail: irinchic@mail.ru

Методика оценки трансформации цифрового интереса в туристский спрос на сельских территориях

О. А. Рущицкая, Е. С. Куликова[✉], А. А. Ахметов

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: e.s.kulikova@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена тем, что существующие способы оценки цифрового продвижения сельских территорий характеризуют отдельные параметры присутствия в Сети, однако определить то, насколько цифровая среда способствует переходу от первоначального интереса к реальному туристскому спросу, они не позволяют. **Цель** исследования состоит в разработке методики расчета интегрального индекса цифрового интереса и конверсионной готовности сельской территории. **Методологическую основу** данного исследования составляют системный, индексный, сравнительный, эконометрический подходы. Информационная база включает в себя статистику туризма, сведения региональных органов управления, открытые данные поисковых, картографических, навигационных сервисов, цифровых площадок. Единицей наблюдения является сельский туристский объект или муниципальная территория, которые рассматриваются за конкретный период отдельно. **В результате** данного исследования была сформирована методика обработки экстремальных значений, нормировки исходных данных, энтропийного определения весов, расчет пяти субиндексов, а также их последующее объединение посредством геометрического среднего, в состав индекса включены показатели поискового интереса, цифровой обнаружимости, репутации, контентной активности, транзакционной готовности. Было предложено использовать лаговые эконометрические модели для оценки связи индекса с последующим спросом. Зависимыми переменными являются модели посещения, бронирования, ночевки, выручка и численность размещенных лиц. **Научная новизна** заключается в разделении цифровых факторов, а также показателей фактического туристского потребления. Таким образом, их смешение в составе одного интегрального показателя исключается. **Практическая значимость** исследования состоит в возможности применения методики органами регионального, муниципального управления, туристскими информационными центрами, предпринимателями (для сопоставления сельских территорий, выявления недостатков цифрового присутствия, а также выбора приоритетных мер развития информационных и сервисных каналов).

Ключевые слова: сельский туризм, цифровой интерес, туристский спрос, цифровая обнаружимость, конверсия, интегральный индекс, сельские территории

Для цитирования: Рущицкая О. А., Куликова Е. С., Ахметов А. А. Методика оценки трансформации цифрового интереса в туристский спрос на сельских территориях // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1838–1847. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1838-1847>.

Дата поступления статьи: 22.04.2026, **дата рецензирования:** 04.06.2026, **дата принятия:** 10.07.2026.

Methodology for assessing the transformation of digital interest into tourism demand in rural areas

O. A. Rushchitskaya, E. S. Kulikova[✉], A. A. Akhmetov

Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

[✉]E-mail: e.s.kulikova@mail.ru

Abstract. The relevance of this study lies in the fact that existing methods for assessing the digital advancement of rural areas characterize individual online presence parameters, but they fail to determine the extent to which the digital environment facilitates the transition from initial interest to actual tourism demand. **The purpose** of the study is to develop a methodology for calculating an integrated index of digital interest and conversion readiness for rural areas. **The methodological framework** for this study consists of systemic, index, comparative, and econometric approaches. The information base includes tourism statistics, information from regional government bodies, open data from search, mapping, and navigation services, and digital platforms. The unit of observation is a rural tourist destination or municipal territory, which are analyzed separately for a specific period. This study **resulted** in the development of a methodology for processing extreme values, normalizing initial data, determining entropy weights, calculating five subindices, and combining them using a geometric mean. The index includes indicators of search interest, digital discoverability, reputation, content activity, and transaction readiness. Lagged econometric models were proposed for assessing the relationship between the index and subsequent demand. The dependent variables include visit patterns, bookings, overnight stays, revenue, and the number of people accommodated. **The scientific novelty** lies in the separation of digital factors from indicators of actual tourist consumption. This eliminates the possibility of mixing them within a single integrated indicator. **The practical significance** of the study lies in the potential application of the methodology by regional and municipal governments, tourist information centers, and entrepreneurs (for comparing rural areas, identifying shortcomings in digital presence, and selecting priority measures for developing information and service channels).

Keywords: rural tourism, digital interest, tourism demand, digital discoverability, conversion, integral index, rural areas

For citation: Rushchitskaya O. A., Kulikova E. S., Akhmetov A. A. Methodology for assessing the transformation of digital interest into tourism demand in rural areas. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09):1838–1847. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1838-1847>. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.04.2026, **date of review:** 04.06.2026, **date of acceptance:** 10.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время цифровая трансформация территорий затрагивает не только процессы государственного, муниципального управления, но и способы взаимодействия населения, хозяйствующих субъектов с территориальной инфраструктурой, и для сельских территорий данное направление имеет особое значение. Роль цифровых каналов, для распространения информации, организации взаимодействия с потенциальными потребителями, зависит от пространственной удаленности, ограниченной транспортной доступности, меньшей плотности объектов обслуживания, и инструмент преодоления территориальных ограничений, повышения доступности локальных товаров, услуг в данных условиях, это цифровые технологии.

В сельском туризме данная зависимость проявляется особенно заметно. Фермерские хозяйства, гостевые дома, локальные музеи, этнографические объекты, ремесленные мастерские, событийные площадки зачастую располагаются вне сложившихся

туристских маршрутов. То, насколько быстро потенциальный турист способен найти объект, определить его местоположение, получить сведения о стоимости, режиме работы, транспортной доступности, условиях посещения, во многом и определяет конечное решение о поездке. Таким образом, сведение цифровой представленности исключительно к информационной, рекламной функции в данном случае исключается. Она становится полноценным элементом инфраструктуры потребительского выбора.

Развитие сельских территорий в современных исследованиях все чаще рассматривается не только через показатели сельскохозяйственного производства, занятости или инфраструктурной обеспеченности. Существенную роль приобретает способность территории формировать новые виды экономической активности, привлекать потребителя и использовать цифровую среду для продвижения местных товаров и услуг. О. Е. Акимов, С. К. Волков, И. М. Кузлаева связывают такое изменение с

развитием концепции «умной деревни», предполагающей более широкое включение технологий в социальные и экономические процессы сельских территорий [1]. Н. В. Проскура также показывает, что цифровизация может выступать одним из факторов их развития, однако эффект определяется не самим наличием технологий, а возможностью использовать их в конкретных видах деятельности [2]. В этом смысле цифровая среда становится не отдельным элементом сельской экономики, а одним из условий ее дальнейшей диверсификации.

Одним из направлений такой диверсификации является сельский туризм. Его экономическое значение рассматривается Л. В. Евграфовой, которая связывает развитие данного вида деятельности с появлением для сельской территории дополнительных источников дохода и расширением структуры местной экономики [3]. Р. В. Кадыров, Э. Р. Хайрулина, В. И. Богданова также обращают внимание на возможности сельского туризма с точки зрения диверсификации экономики сельских поселений [4]. При этом туристская деятельность не сводится только к размещению или организации досуга. Она вовлекает фермерские хозяйства, производителей местной продукции, предприятия питания, культурные и природные объекты, то есть фактически формирует вокруг территории более сложную систему экономических связей.

А. А. Ошкордина и Е. Г. Радыгина рассматривают сельский и агропромышленный туризм уже в более широком контексте социально-культурного и экономического развития территории [5]. Подобный подход важен потому, что туристская привлекательность сельской местности возникает не исключительно из отдельной услуги. Для потенциального посетителя значение имеют природная среда, локальная культура, особенности хозяйственной деятельности, доступность территории и возможность заранее получить о ней достаточную информацию. Поэтому продвижение сельского туризма оказывается непосредственно связанным с тем, насколько вся эта совокупность характеристик представлена в цифровом пространстве.

Изменяется и сам характер спроса на сельский туристский продукт. Н. А. Кадетова и Н. А. Середа, анализируя потребительские предпочтения в сфере сельского туризма, показывают необходимость учитывать ожидания и мотивацию посетителей при формировании соответствующего предложения [6]. А. Г. Сарафанова и А. А. Сарафанов рассматривают рост интереса к сельскому туризму как самостоятельную тенденцию российского туристского рынка [7]. Д. В. Ралык, в свою очередь, обращает внимание на возможности развития делового туризма в сельском хозяйстве, что расширяет представление о потенциальной аудитории подобных территорий [8]. Следовательно, сельский туризм постепенно становится неоднородным: разные группы пользо-

вателей могут искать семейный отдых, знакомство с фермерским производством, локальную гастрономию, образовательные программы либо профессиональные мероприятия.

В этих условиях особенно заметно значение цифрового маркетинга. А. Д. Елфимова, Ф. Г. Малиева, Д. Д. Пашаходжаева рассматривают его как инструмент продвижения регионов, позволяющий формировать представление о территории еще до непосредственного ее посещения [9]. Для сельского туризма этот аспект особенно существенен. Между потенциальным туристом и конкретным объектом практически всегда возникает промежуточное цифровое пространство: поисковая система, сайт, социальная сеть, картографический сервис, отзывы других пользователей. Поэтому качество цифрового представления территории фактически становится частью самого туристского продукта.

Данная логика прослеживается и в зарубежных исследованиях. М. В. Forleo, V. Giaccio и A. Spina на примере сельских территорий рассматривают цифровые маркетинговые инструменты как средство поддержки развития фермерских хозяйств, связанных с туристской деятельностью [10]. В центре внимания оказывается уже не просто присутствие организации в интернете, а способность отдельных цифровых инструментов обеспечивать узнаваемость хозяйства и взаимодействие с потенциальным посетителем. S. Lazarević, T. Stanišić, M. Leković и N. Pantić исследуют сельский туризм через восприятие пользователей социальных сетей, фактически показывая, что образ территории все в большей степени формируется через пользовательский цифровой опыт [11]. Фотография, содержание публикации и обратная связь могут влиять на решение о посещении объекта еще до знакомства пользователя с самой территорией.

Однако наличие цифровых каналов само по себе еще не означает их результативного использования. О. Kolomytseva, L. Vasylychenko и S. Perchuk рассматривают цифровую маркетинговую экосистему агробизнеса с точки зрения готовности предприятий к внедрению соответствующих инструментов и существующего цифрового разрыва [12]. Для сельских территорий данная проблема особенно характерна. У двух сопоставимых по туристскому потенциалу хозяйств могут существенно различаться сайт, присутствие на картах, работа с отзывами, социальными сетями и возможность связаться или забронировать услугу через цифровой канал. В результате различия возникают уже не столько в самом туристском предложении, сколько в его доступности для пользователя.

Сходная проблема рассматривается и применительно к российскому агробизнесу. Д. М. Назаров, Ю. В. Гудошникова, М. В. Чудиновских анализируют внедрение интернет-маркетинга в сельском хозяйстве Урала в контексте цифровой трансформа-

ции агробизнеса [13]. С. Н. Скороходов обращается к модернизации стратегий цифрового маркетинга в агропромышленном комплексе, показывая необходимость адаптации используемых инструментов к изменяющемуся поведению потребителей [14]. Р. Р. Садырtdинов и М. М. Низамутдинов, исследуя цифровизацию сельских территорий в постковидный период, связывают ее развитие с экономическими изменениями в сельском хозяйстве [15]. В совокупности эти исследования показывают, что цифровое продвижение постепенно перестает быть дополнительной функцией и становится частью экономической деятельности предприятия или территории.

При этом возникает отдельная исследовательская проблема – каким образом оценить уровень такого цифрового развития. Простого подсчета сайтов или страниц в социальных сетях для этого недостаточно. Наличие цифрового канала еще ничего не говорит о его содержании, актуальности и способности привести пользователя к целевому действию. В этом отношении значимым является подход О. А. Рушицкой, Е. М. Кот, Е. С. Куликовой и Т. И. Кружковой, предложивших индекс цифрового маркетинга сельских территорий на примере Уральского федерального округа [16]. Переход к интегральной оценке позволяет рассматривать цифровое присутствие не как набор отдельных признаков, а как систему взаимосвязанных характеристик.

Таким образом, в существующей литературе достаточно подробно исследованы цифровизация сельских территорий, развитие сельского туризма, использование интернет-маркетинга и изменение потребительского поведения. Вместе с тем эти направления нередко рассматриваются параллельно. В меньшей степени изучена сама последовательность взаимодействия потенциального туриста с цифровой средой территории: от появления объекта в поисковой выдаче или на карте до изучения информации, возникновения доверия, установления контакта и последующего посещения. Именно на этом уровне становится возможным различить формальное цифровое присутствие и реально работающую цифровую инфраструктуру продвижения сельского туризма.

Данное положение означает необходимость разграничения нескольких характеристик цифровой среды для сельского туризма. Объект может активно присутствовать в социальных сетях, но карточку в картографическом сервисе иметь неполную. Он может обладать высоким пользовательским рейтингом, не публикуя при этом стоимость услуг, регулярно обновлять фотографии, однако не предоставлять возможности предварительной записи. Следовательно, простое количество цифровых площадок, упоминаний не может рассматриваться в качестве достаточной характеристики цифровой готовности туристского объекта.

Кроме того, необходимо различать цифровой интерес и фактический туристский спрос. Информационную активность пользователей характеризуют поисковые запросы, просмотры страниц, отзывы, взаимодействия с цифровым контентом. Однако о состоявшемся посещении они еще не свидетельствуют. Экономический эффект возникает на последующей стадии, и цифровой интерес там преобразуется в бронирование, поездку, ночевку, приобретение экскурсионной услуги, иные расходы туриста на территории. Показатели цифровой среды, показатели фактического потребления методически целесообразно рассматривать отдельно именно по этой причине.

Проведенный анализ научной литературы показывает, что существующие исследования достаточно подробно раскрывают вопросы цифровой трансформации территорий, государственного, муниципального управления, методические подходы к измерению цифровизации, особенности взаимодействия пользователей с цифровой средой. Значительно меньше внимания вместе с тем уделяется оценке того, насколько цифровая среда конкретной сельской территории, туристского объекта готова преобразовать первоначальный интерес пользователя в практическое действие.

Актуальным в этой связи является формирование интегрального инструмента. Он объединяет характеристики поискового интереса, обнаружимости объекта, его цифровой репутации, актуальности информационного контента, возможности перехода к бронированию, иному целевому действию. Цифровизацию сельского туризма данный подход позволяет рассматривать не просто как инструмент продвижения. В данном случае она выступает и самостоятельным фактором формирования туристского спроса.

Цель данного исследования состоит в разработке интегрального индекса цифрового интереса, конверсионной готовности сельской территории (IDIC), а также в определении подхода (в плане оценки его связи с фактическим туристским спросом в последующие периоды).

Методология и методы исследования (Methods)

Единицей наблюдения выступает отдельный сельский туристский объект либо муниципальная территория за определенный период. Эти уровни анализируются отдельно. Источники данных включают Росстат, региональные органы власти, поисковые, картографические, навигационные и туристские сервисы, а поисковая активность оценивается по Яндекс Вордстату и Google Trends.

Цифровые переменные объединяются в пять блоков: поисковый интерес; обнаружимость объекта и корректность сведений; репутация; контентная активность; транзакционная готовность. Последняя отражает наличие цены, контактов, заявки, бронирования, оплаты либо понятной инструкции для самостоятельного посещения. Официальный и пользовательский контент учитываются отдельно.

Фактический спрос измеряется бронированиями, посещениями, ночевками, количеством экскурсантов, выручкой или численностью размещенных лиц. Эти показатели не входят в IDIC и используются только для проверки его связи со спросом. Перед расчетами удаляются дубли, присваиваются единые территориальные идентификаторы, синхронизируются периоды. Для снижения влияния выбросов показатели ограничиваются 5-м и 95-м квантилями и нормируются в диапазон 0–1.

$$z_{jit} = \frac{\min[\max(x_{jit}; q_{0,05,j}); q_{0,95,j}] - q_{0,05,j}}{q_{0,95,j} - q_{0,05,j}}, \quad (1)$$

где x_{jit} – исходное значение j -го показателя для территории i в периоде t ;

$q_{0,05,j}$ и $q_{0,95,j}$ – соответственно 5-й и 95-й квантили распределения j -го показателя;

z_{jit} – нормированное значение показателя в диапазоне от 0 до 1.

Весовые коэффициенты определяются энтропийным методом. Его использование позволяет не задавать значимость показателей заранее экспертным способом. Вес в большей степени зависит от того, насколько конкретный показатель различает наблюдаемые объекты и периоды: метрики с более выраженной вариацией несут больше информации для итогового сравнения.

С самого начала для каждого нормированного значения его доля (в совокупности наблюдений) должна быть детально рассчитана:

$$p_{jit} = \frac{z_{jit} + \varepsilon}{\sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T (z_{jit} + \varepsilon)}, \quad (2)$$

где p_{jit} – относительная в общем массиве наблюдений доля нормированного значения показателя;

ε – малое положительное число, предотвращающее деление на ноль;

I – количество анализируемых территорий;

T – количество периодов наблюдения.

Далее определяется энтропия каждого показателя по распределению данных долей:

$$e_j = -\frac{1}{\ln N} \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T p_{jit} \ln(p_{jit}), \quad (3)$$

где e_j – энтропия j -го цифрового показателя;

N – общее количество наблюдений в массиве данных.

Рассчитывается индивидуальный вес на основе цифрового показателя полученной энтропии:

$$a_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^J (1 - e_j)}, \quad (4)$$

где a_j – вес j -го показателя;

J – общее количество используемых в расчете индекса первичных показателей.

После определения внутри соответствующих аналитических блоков (для каждого блока рассчитывается собственный субиндекс) показатели индивидуальных весов объединяются:

$$Q_{kit} = \sum_{j=1}^J a_j \times z_{jit}, \quad (5)$$

где Q_{kit} – значение k -го субиндекса для территории i в периоде t ;

J_k – количество показателей, которые включены в k -й аналитический блок.

На завершающем этапе пять субиндексов объединяются в IDIC. Итоговая оценка строится на геометрической агрегации, чтобы слабое значение одного из компонентов не могло полностью компенсироваться высоким значением другого:

$$IDIC_{it} = 100 \times \frac{\left[\prod_{k=1}^5 (1 + Q_{kit})^{w_k} \right] - 1}{2^{\sum_{k=1}^5 w_k} - 1}, \quad (6)$$

где $IDIC_{it}$ – интегральный индекс цифрового интереса и конверсионной готовности сельской территории;

Q_{kit} – субиндексы поискового интереса, цифровой обнаружимости, цифровой репутации, контентной активности и транзакционной готовности;

w_k – вес k -го аналитического блока.

Результаты (Results)

В исследовании сформирована структура интегрального индекса IDIC, оценивающего цифровую среду сельского туристского объекта до фактического потребления услуги. В отличие от данных о посещениях, бронированиях и выручке, цифровые характеристики доступны из открытых источников. Индекс включает пять компонентов: поисковый интерес, цифровую обнаружимость, репутацию, контентную активность и транзакционную готовность. Их последовательность отражает логику выбора туриста – от знакомства с объектом до оформления посещения. Структура показателей представлена в таблице 1.

В таблице 1 наглядно демонстрируется принципиальное разделение переменных (в рамках предлагаемой методики). Показатели цифровой среды формируют индекс. Посещения, бронирования, ночевки, количество экскурсантов, выручка, средний чек за его пределами при этом остаются, и они рассматриваются уже в качестве результата. Данные показатели первоначально приводятся к сопоставимой шкале. Определяются веса, а уже после этого формируются субиндексы.

Сам расчет начинается непосредственно с формирования массива (по каждому объекту, муниципальной территории), и в него включаются данные о поисковой активности, полноте цифрового представления, репутации, обновлении контента, доступных способах связи, бронирования. После предварительной обработки показатели нормируются и распределяются по пяти аналитическим блокам. Итоговый IDIC выражается в шкале от 0 до 100 пунктов, которые отражают уровень сопровождения потенциального посетителя и готовности совершить практическое действие в цифровой среде (таблица 2).

Таблица 1

Система показателей интегрального индекса цифрового интереса и конверсии сельской территории в туристский спрос

Аналитический блок	Первичные показатели	Способ расчета блока	Роль в модели
Поисковый интерес	Частота запросов по названию территории, объекта, виду отдыха, маршруту, сезонному событию и действию «забронировать»	Нормированные значения частотности запросов по сформированному семантическому ядру	Отражает первичное возникновение потенциального туристского спроса
Цифровая обнаружимость	Наличие и полнота карточек объекта на туристическом портале, Яндекс Картах, 2ГИС, сайте, в социальных сетях и сервисах бронирования	Доля заполненных цифровых атрибутов: адрес, координаты, фото, режим работы, цена, маршрут, контакты, ссылка на бронирование	Показывает возможность обнаружения объекта и планирования поездки
Цифровая репутация	Средний рейтинг, число отзывов, доля новых отзывов, число фотографий пользователей, ответы администрации	Нормированная совокупность рейтинговых и репутационных характеристик	Отражает доверие потенциального туриста к территории или объекту
Контентная активность	Число публикаций, коротких видео, пользовательских отметок, сохранений, переходов, публикаций с геометкой	Нормированная активность официального и пользовательского контента	Характеризует способность территории поддерживать и усиливать интерес после первоначального поиска
Трансакционная готовность	Онлайн-бронирование, календарь доступности, мессенджер, форма заявки, электронная оплата, опубликованный прайс-лист, время ответа	Доля доступных цифровых каналов конверсии и показатель оперативности ответа	Показывает способность объекта перевести интерес в бронь, приезд и покупку услуги
Фактический туристский спрос	Посещения, экскурсанты, бронирования, ночевки, выручка, средний чек, число размещенных лиц	Используется как зависимая переменная модели	Отражает результат трансформации цифрового интереса в фактическое потребление
Инфраструктурные и территориальные условия	Вместимость, сезонность, транспортная доступность, расстояние до города, наличие питания, парковки, санитарной инфраструктуры	Контрольные переменные модели	Позволяет отделить эффект цифрового интереса от инфраструктурных ограничений

Источник: составлено авторами.

Table 1

A system of indicators for the integrated index of digital interest and conversion of rural areas into tourist demand

Analytical block	Primary Indicators	Block calculation method	Role in the model
Search Interest	Frequency of searches by area name, facility, type of activity, route, seasonal event, and "book" action	Normalized query frequency values for the generated semantic core	Reflects the initial emergence of potential tourist demand
Digital Discoverability	Availability and completeness of facility profiles on the tourist portal, Yandex Maps, 2GIS, website, social media, and booking services	Share of completed digital attributes: address, coordinates, photo, opening hours, price, route, contact information, booking link	Indicates the ability to discover a destination and plan a trip
Digital Reputation	Average rating, number of reviews, proportion of new reviews, number of user photos, administration responses	Normalized set of rating and reputation characteristics	Reflects a potential tourist's trust in a territory or destination
Content Activity	Number of publications, short videos, user tags, saves, clicks, geotagged publications	Normalized activity of official and user-generated content	Characterizes the ability of a territory to maintain and enhance interest after the initial search
Transaction Readiness	Online booking, availability calendar, messenger, application form, online payment, published price list, response time	Share of available digital conversion channels and response time indicator	Reflects the ability of a destination to translate interest into booking, travel, and purchase of a service

<i>Actual Tourist Demand</i>	<i>Visits, tourists, bookings, overnight stays, revenue, average bill, number of people accommodated</i>	<i>Used as the dependent variable of the model</i>	<i>Reflects the result of transforming digital interest into actual consumption</i>
<i>Infrastructure and Territorial Conditions</i>	<i>Capacity, seasonality, transport accessibility, distance to the city, availability of food, parking, and sanitary infrastructure</i>	<i>Control variables of the model</i>	<i>It makes it possible to separate the digital interest effect from infrastructure constraints</i>

Source: compiled by the authors.

Таблица 2

Спецификация интегрального индекса цифрового интереса

Этап расчета	Формула	Содержание процедуры	Результат
Нормировка цифровых метрик	(1)	Первичные показатели приводятся к единому диапазону от 0 до 1 с ограничением экстремальных значений	Сопоставимый массив цифровых показателей по объектам и периодам
Расчет весов	(2)–(4)	Вес определяется по информационной значимости показателя в общем массиве наблюдений	Объективные веса цифровых индикаторов
Формирование субиндексов	(5)	Рассчитываются субиндексы поискового интереса, обнаружимости, репутации, контентной активности и транзакционной готовности	Диагностика сильных и слабых сторон цифрового продвижения
Расчет интегрального индекса	(6)	Используется геометрическая агрегация субиндексов	Индекс IDIC _и от 0 до 100 пунктов
Проверка временной конверсии	(7)	Сопоставляется цифровой интерес предшествующих периодов с последующими бронированиями, посещениями, ночевками и выручкой	Оценка силы и временного лага связи «цифровой интерес – спрос»

Источник: составлено авторами.

Table 2

Specification of the integral index of digital interest

Calculation stage	Formula	Procedure summary	Result
Normalization of digital metrics	(1)	Primary indicators are scaled to a single range from 0 to 1, with extreme values limited	Comparable array of digital indicators by objects and periods
Weight calculation	(2)–(4)	The weight is determined by the informational significance of the indicator in the overall observation set	Objective weights of digital indicators
Formation of subindices	(5)	Sub-indices for search interest, discoverability, reputation, content activity, and transaction readiness are calculated	Diagnostics of strengths and weaknesses of digital promotion
Calculation of the integral index	(6)	Geometric aggregation of sub-indices is used	Index (IDIC _i) from 0 to 100 points
Time conversion check	(7)	Digital interest from previous periods is compared with subsequent bookings, visits, overnight stays, and revenue	Assessment of the strength and time lag of the relationship between digital interest and demand

Source: compiled by the authors.

Интегральный индекс цифрового интереса используется как диагностический показатель и объясняющая переменная при анализе последующего спроса. На уровне объекта он отражает его цифровую готовность, на муниципальном и региональном уровнях позволяет сопоставлять территории и выявлять зоны недостаточного цифрового развития.

Итоговый балл необходимо анализировать вместе с субиндексами, поскольку одинаковое значение может быть связано с разными проблемами: слабой обнаружимостью, недостаточной репутацией, неактуальной информацией или отсутствием удобной записи. Для практического применения предложена интерпретационная шкала IDIC, связывающая интервалы индекса с типами ограничений и направлениями управленческих действий (таблица 3).

При значениях ниже 40 пунктов проблема чаще всего связывается с базовой доступностью информации. Найти объект трудно, и достаточный объем сведений (для планирования посещения) при этом отсутствует. Увеличение рекламного трафика в такой ситуации является преждевременным, следовательно, первоначально целесообразно проверить географическую привязку, контакты, режим работы, стоимость, правила посещения.

Диапазоном 40–59 пунктов описывается более зрелое цифровое присутствие. Объект уже обнаруживается, способен вызвать интерес. Путь до конкретного действия остается неполным. Скорость обратной связи, доступность прайс-листа, календаря, формы записи, других сервисов (в плане сокращения дополнительных действий со стороны ту-

риста) играют здесь существенную роль. Влияние цифрового фактора перестает быть единственным ограничителем при дальнейшем росте IDIC. Полнота информации, согласованность каналов, понятность записи – это те условия, при которых узкими местами становятся транспортная доступность, сезонность, вместимость, качество инфраструктуры.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Основной результат исследования на уровне самой конструкции показателя состоит в разделении цифровых предпосылок спроса, его фактического проявления. Характеристики, с которыми потенциальный турист сталкивается до поездки (поисковая активность, обнаружимость объекта, цифровая репутация, актуальность контента, возможность обратиться, забронировать услугу), входят в IDIC. Посещения, ночевки, бронирования, количество

экскурсантов, финансовые показатели относятся уже к состоявшемуся потреблению. Предлагаемая методика связана с ранее разработанным индексом цифрового маркетинга сельских территорий, однако сам предмет оценки здесь иной. Общая интенсивность цифрового продвижения нас не интересует. Последовательность действий пользователя (от поиска до возможности совершить поездку) выходит на первый план. В этом смысле работа близка исследованиям, в которых через изменения в самой деятельности организаций в поведении пользователей и платформы рассматривается цифровизация сельских территорий. Карты, отзывы выступают как каналы взаимодействия с потребителем. Отличие IDIC заключается в сборке данных элементов в единую расчетную схему, а фактический спрос намеренно остается за ее пределами.

Таблица 3
Интерпретационная шкала интегрального индекса цифрового интереса и конверсионной готовности

Интервал IDIC ^и , пунктов	Характеристика цифрового состояния территории	Типовое ограничение спроса	Приоритетное управленческое действие
0–19	Критически низкая цифровая представленность	Территория фактически не обнаруживается либо содержит неполные сведения	Формирование базовой цифровой карточки, географической привязки, контактов, фотографий и режима работы
20–39	Фрагментарная цифровая доступность	Пользователь находит объект, но не получает достаточных оснований для выбора	Актуализация описаний, стоимости, маршрута, правил посещения, санитарной и парковочной информации
40–59	Устойчивое цифровое присутствие при неполной конверсионной готовности	Интерес формируется, но часть пользователей не переходит к бронированию	Развитие обратной связи, календаря доступности, формы заявки, мессенджера и онлайн-оплаты
60–79	Высокая согласованность цифровых каналов	Ограничение переносится в сферу физической вместимости и качества услуг	Управление загрузкой, пакетирование услуг, расширение пропускной способности и повторные продажи
80–100	Высокая цифровая зрелость и конверсионная готовность	Возможен риск перегрузки объекта либо сезонной концентрации спроса	Дифференциация потока по сезонам, управление репутацией, развитие дополнительных маршрутов

Источник: составлено авторами.

Table 3
Interpretive scale of the integral index of digital interest and conversion readiness

IDIC interval, points	Characteristics of the territory's digital state	Typical demand constraint	Priority management action
0–19	Critically low digital presence	The area is not actually found or contains incomplete information	Creation of a basic digital card, geo-referencing, contacts, photos, and operating hours
20–39	Fragmented digital accessibility	The user finds a property but does not receive sufficient grounds for selection	Updating descriptions, prices, routes, visiting rules, sanitary and parking information
40–59	Sustainable digital presence with incomplete conversion readiness	Interest is generated, but some users do not proceed to booking	Development of feedback, availability calendar, application form, messenger, and online payment
60–79	High consistency of digital channels	The constraint shifts to physical capacity and service quality	Occupancy management, service bundling, capacity expansion, and repeat sales
80–100	High digital maturity and conversion readiness	There is a risk of property overload or seasonal demand concentration	Differentiation of traffic by season, reputation management, development of additional routes

Source: compiled by the authors.

Выбор геометрического способа агрегации имеет также содержательное значение, и высокий результат одного блока способен существенно сгладить недостаток другого (при обычном сложении). Для сельского туристского объекта такая компенсация оправдана не всегда. Активная контентная работа не решает проблему отсутствующих контактов.

Высокий рейтинг при непонимании процесса записи не помогает пользователю, и развитая система бронирования оказывается недостаточно полезной в ситуации невозможности корректно найти объект на карте. Таким образом, IDIC целесообразно использовать вместе с профилем пяти субиндексов.

Библиографический список

1. Акимова О. Е., Волков С. К., Кузлаева И. М. Концепция «умная деревня» и сельские территории России // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2021. № 4. С. 117–135.
2. Проскура Н. В. Роль цифровизации экономики и общества в развитии сельских территорий // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 1. С. 85–91. DOI: 10.32651/221-85.
3. Евграфова Л. В. Сельский туризм как фактор диверсификации сельской экономики // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 2 (74). С. 122–129. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-122-129.
4. Кадыров Р. В., Хайруллина Э. Р., Богданова В. И. Роль сельского туризма в диверсификации экономики сельских поселений // Известия Русского географического общества. 2025. Т. 157, № 4. С. 595–610. DOI: 10.7868/S3034538325040076.
5. Oshkordina A. A., Radygina E. G. Rural and agroindustrial tourism as a factor of socio-cultural and economic development of the territory // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262. Article number 03029. DOI: 10.1051/e3sconf/202126203029.
6. Кадетова Н. А., Середа Н. А. Анализ потребительских предпочтений в сфере сельского туризма // Экономика сельского хозяйства России. 2025. № 3. С. 73–79. DOI: 10.32651/253-73.
7. Сарафанова А. Г., Сарафанов А. А. Сельский туризм: тренд 2022 года в России // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2023. № 1. С. 54–62. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/1/54-62.
8. Ралык Д. В. Перспективы организации и развития делового туризма в сфере сельского хозяйства // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2025. № 10-1 (128). С. 230–236. DOI: 10.33938/25101-230.
9. Елфимова А. Д., Малиева Ф. Г., Пашаходжаева Д. Д. Цифровой маркетинг как инструмент продвижения регионов // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20, № 8. С. 1232–1241. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.8.1232-1241.
10. Forleo M. B., Giaccio V., Spina A. Digital marketing tools for supporting farmhouse development in rural areas: a regional case study // Agricultural and Food Economics. 2025. Vol. 13. Article number 62. DOI: 10.1186/s40100-025-00409-y.
11. Lazarević S., Stanišić T., Leković M., Pantić N. Rural tourism through the lens of Instagram users // Economics of Agriculture. 2025. Vol. 72, No. 4. Pp. 1423–1436. DOI: 10.59267/ekoPolj25041423L.
12. Kolomytseva O., Vasylychenko L., Pepchuk S. Digital marketing ecosystem of agribusiness: enterprise readiness and bridging the digital divide // Baltic Journal of Economic Studies. 2025. Vol. 11, No. 5. Pp. 425–433. DOI: 10.30525/2256-0742/2025-11-5-425-433.
13. Назаров Д. М., Гудошникова Ю. В., Чудиновских М. В. Цифровая трансформация агробизнеса: внедрение интернет-маркетинга в сельском хозяйстве Урала // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 6 (402). С. 713–718. DOI: 10.55186/25876740_2024_67_6_713.
14. Скороходов С. Н. Инструменты модернизации стратегий цифрового маркетинга в агропромышленном комплексе // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2025. Т. 100, № 11. С. 195–199. DOI: 10.31442/0235-2494-2025-0-11-195-199.
15. Садырtdинов Р. Р., Низамутдинов М. М. Развитие цифровизации в сельских территориях в постковидный период и его влияние на экономику сельского хозяйства // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 1 (73). С. 124–131. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-124-131.
16. Рушицкая О. А., Кот Е. М., Куликова Е. С., Кружкова Т. И. Разработка индекса цифрового маркетинга сельских территорий на примере Уральского федерального округа // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 9. С. 1481–1492. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-09-1481-1492.

Об авторах:

Ольга Александровна Рушицкая, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой менеджмента и экономической теории, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-6854-5723, AuthorID 518696. E-mail: olgaru-arbitr@mail.ru

Елена Сергеевна Куликова, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры менеджмента и экономической теории, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-4924-9707, AuthorID 646255. E-mail: e.s.kulikova@mail.ru

Азамат Амалкиндеевич Ахметов, ассистент кафедры менеджмента и экономической теории, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8308-3937, AuthorID 1281461. E-mail: akhmetov0707@yandex.ru

References

1. Akimova O. E., Volkov S. K., Kuzlaeva I. M. The concept of “smart village” and rural territories of Russia. *Lomonosov Economics Journal*. 2021; 4: 117–135. (In Russ.)
2. Proskura N. V. The role of digitalization of the economy and society in the development of rural areas. *Economics of Agriculture of Russia*. 2022; 1: 85–91. DOI: 10.32651/221-85. (In Russ.)
3. Evgrafova L. V. Rural tourism as a factor of diversification of the rural economy. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2024; 19 (2): 122–129. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-122-129. (In Russ.)
4. Kadyrov R. V., Khairullina E. R., Bogdanova V. I. The role of rural tourism in the diversification of the of rural settlements. *Bulletin of the Russian Geographical Society*. 2025; 157 (4): 595–610. DOI: 10.7868/S3034538325040076. (In Russ.)
5. Oshkordina A. A., Radygina E. G. Rural and agroindustrial tourism as a factor of socio-cultural and economic development of the territory. *E3S Web of Conferences*. 2021; 262: 03029. DOI: 10.1051/e3sconf/202126203029.
6. Kadetova N. A., Sereda N. A. Analysis of consumer preferences in rural tourism. *Economics of Agriculture of Russia*. 2025; 3: 73–79. DOI: 10.32651/253-73. (In Russ.)
7. Sarafanova A. G., Sarafanov A. A. Rural tourism: Trend of 2022 in Russia. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*. 2023; 1: 54–62. DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2023/1/54-62. (In Russ.)
8. Ralyk D. V. Prospects for the organization and development of business tourism in the field of agriculture. *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2025; 10-1 (128): 230–236. DOI: 10.33938/25101-230. (In Russ.)
9. Elfimova A. D., Malieva F. G., Pashakhodzhaeva D. D. Digital marketing as a place promotion tool. *Vestnik MGSU*. 2025; 20 (8): 1232–1241. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.8.1232-1241. (In Russ.)
10. Forleo M. B., Giaccio V., Spina A. Digital marketing tools for supporting farmhouse development in rural areas: a regional case study. *Agricultural and Food Economics*. 2025; 13: 62. DOI: 10.1186/s40100-025-00409-y.
11. Lazarević S., Stanišić T., Leković M., Pantić N. Rural tourism through the lens of Instagram users. *Economics of Agriculture*. 2025; 72 (4): 1423–1436. DOI: 10.59267/ekoPolj25041423L.
12. Kolomytseva O., Vasylenko L., Pepchuk S. Digital marketing ecosystem of agribusiness: Enterprise readiness and bridging the digital divide. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2025; 11 (5): 425–433. DOI: 10.30525/2256-0742/2025-11-5-425-433.
13. Nazarov D. M., Gudoshnikova Yu. V., Chudinovskikh M. V. Digital transformation of business: implementation of internet marketing in agriculture of the Urals. *International Agricultural Journal*. 2024; 6 (402): 713–718. DOI: 10.55186/25876740_2024_67_6_713. (In Russ.)
14. Skorokhodov S. N. Tools for modernizing digital marketing strategies in the agro-industrial complex. *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2025; 100 (11): 195–199. DOI: 10.31442/0235-2494-2025-0-11-195-199. (In Russ.)
15. Sadyrtidinov R. R., Nizamutdinov M. M. Development of digitalization in rural territories in the post-covid period and its impact on the agricultural economy. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2024; 19 (1): 124–131. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-124-131. (In Russ.)
16. Rushchitskaya O. A., Kot E. M., Kulikova E. S., Kruzhkova T. I. Developing a digital marketing index for rural areas using the Ural Federal District as an example. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (9): 1481–1492. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-09-1481-1492. (In Russ.)

Authors' information:

Olga A. Rushchitskaya, doctor of economic sciences, professor, head of the department of management and economic theory, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-6854-5723, AuthorID 518696. E-mail: olgaru-arbitr@mail.ru

Elena S. Kulikova, doctor of economic sciences, associate professor, professor of the department of management and economic theory, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-4924-9707, AuthorID 646255. E-mail: e.s.kulikova@mail.ru

Azamat A. Akhmetov, assistant at the department of management and economic sciences, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8308-3937, AuthorID 1281461. E-mail: akhmetov0707@yandex.ru

Экономическое обоснование управленческих решений по наращиванию грузооборота автотранспорта на предприятиях АПК на основе расширенной факторной модели

В. В. Федоскин¹, А. Б. Мартынушкин^{1✉}, И. В. Чивилева¹, С. А. Кистанова¹, О. Ю. Горбова²,
А. Д. Виноградов²

¹ Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, Рязань, Россия

² Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина, Рязань, Россия

✉ E-mail: martinyshkin@mail.ru

Аннотация. Необходимость повышения эффективности использования грузового автотранспорта в условиях современных экономических вызовов требует совершенствования методического инструментария выявления и обоснования резервов роста грузооборота. **Цель** исследования – разработка расширенной факторной модели и формирование на ее основе системы объективных резервов увеличения объема транспортной работы, выполненной грузовыми автомобилями предприятия. **Методы** исследования включают факторный анализ мультипликативных моделей, методы цепных подстановок и расчетно-конструктивный подход к прогнозированию результативных показателей при варьировании значений факторных коэффициентов. В результате предложена расширенная факторная модель объема грузооборота, дополненная коэффициентом использования в работе технически готовых автомобилей, что позволяет более точно оценить влияние организационно-технических факторов на результативность перевозочного процесса. **Научная новизна** заключается в систематизации резервов роста грузооборота в единую иерархическую структуру, включающую как абсолютные, так и относительные факторные показатели, и в методике прогнозной оценки прироста объема работ при изолированном и комплексном повышении значений факторных коэффициентов на 1 п. п. **Результаты.** На основе факторного анализа выявлены направления, оказывающие наибольшее отрицательное влияние на грузооборот (снижение коэффициентов использования пробега, грузоподъемности, технической готовности), и количественно оценен потенциал их улучшения. Предложенная методика позволила рассчитать прогнозный объем грузооборота при различных сценариях, демонстрируя, что при одновременном увеличении всех включенных в модель коэффициентов на 1 п. п. прирост годовой производительности одного автомобиля достигает 13,4 %. Доказана эффективность предложенной системы резервов как инструмента обоснования управленческих решений, направленных на устранение узких мест и оптимизацию работы грузового автотранспорта в перспективе.

Ключевые слова: грузовой автотранспорт, экономический анализ, оценка эффективности, система резервов, факторная модель грузооборота, управленческие решения

Для цитирования: Федоскин В. В., Мартынушкин А. Б., Чивилева И. В., Кистанова С. А., Горбова О. Ю., Виноградов А. Д. Экономическое обоснование управленческих решений по наращиванию грузооборота автотранспорта на предприятиях АПК на основе расширенной факторной модели // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1848–1858. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1848-1858>.

Дата поступления статьи: 10.04.2026, **дата рецензирования:** 17.06.2026, **дата принятия:** 01.07.2026.

Economic justification of managerial decisions for increasing freight turnover of motor transport at agro-industrial complex enterprises based on an expanded factor model

V. V. Fedoskin¹, A. B. Martynushkin^{1✉}, I. V. Chivileva¹, S. A. Kistanova¹, O. Yu. Gorbova², A. D. Vinogradov²

¹ Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Ryazan, Russia

² Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin, Ryazan, Russia

✉ E-mail: martynyshkin@mail.ru

Abstract. The need to increase the efficiency of using trucks in the context of modern economic challenges requires the improvement of methodological tools for identifying and justifying reserves for the growth of cargo turnover. **The purpose** of the study is to develop an expanded factor model and, based on it, to form a system of objective reserves for increasing the volume of transport work performed by the company's trucks. **Research methods** include factor analysis of multiplicative models, chain substitution methods, and a computational and constructive approach to predicting performance indicators when varying the values of factor coefficients. As a result, an expanded factor model of the volume of cargo turnover is proposed, supplemented by the coefficient of use of technically ready-made vehicles in operation, which makes it possible to more accurately assess the impact of organizational and technical factors on the effectiveness of the transportation process. **The scientific novelty** lies in the systematization of cargo turnover growth reserves into a single hierarchical structure, including both absolute and relative factor indicators, and in the methodology for predicting the increase in the volume of work with an isolated and complex increase in the values of factor coefficients by 1 p. p. **Results.** Based on the factor analysis, the directions that have the greatest negative impact on cargo turnover (reduction of mileage utilization coefficients, load capacity, technical readiness) have been identified, and the potential for their improvement has been quantified. The proposed methodology made it possible to calculate the projected volume of cargo turnover under various scenarios, demonstrating that with a simultaneous increase in all coefficients included in the model by 1 p. p., the increase in annual productivity of one car reaches 13.4 %. The effectiveness of the proposed reserve system as a tool for substantiating management decisions aimed at eliminating "bottlenecks" and optimizing the operation of trucks in the future is proved.

Keywords: freight transport, economic analysis, efficiency assessment, reserve system, factor model of cargo turnover, management decisions

For citation: Fedoskin V. V., Martynushkin A. B., Chivileva I. V., Kistanova S. A., Gorbova O. Y., Vinogradov A. D. Economic justification of managerial decisions for increasing freight turnover of motor transport at agro-industrial complex enterprises based on an expanded factor model. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1848–1858. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1848-1858>. (In Russ.)

Date of paper submission: 10.04.2026, **date of review:** 17.06.2026, **date of acceptance:** 01.07.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

С целью оценки наличия грузовых автомобилей и результатов их использования в аналитической работе используется, как правило, система обобщающих и частных экономических показателей. Применяемая система показателей в большинстве случаев всесторонне не характеризует эффективность применения грузового автотранспорта. Это связано с тем, что не связанные между собой показатели оценивают только отдельные стороны значимости грузовых автомобилей. Такие показатели не позволяют осуществить поиск так называемых узких мест и нарушений в работе, тогда как именно они и

помогут найти нам реальные способы роста грузооборота и эффективности использования автотранспорта, разработать рациональные управленческие решения и внедрить их в производство [1; 2].

Все это определяет настоятельную необходимость конкретизации и обоснования системы реальных и объективных резервов увеличения работ, выполненных грузовым автотранспортом.

Методология и методы исследования (Methods)

Методики проведения факторного анализа достаточно подробно изучены А. Д. Шереметом, М. И. Бакановым, А. А. Бачуриным, В. П. Бычковым, Л. Т. Гиляровой, Д. В. Лысенко, Г. В. Са-

вицкой, К. Хеддервиком, Э. Хелфертом и рядом других авторов. В трудах отечественных и зарубежных ученых представлены базовые основы формирования различных типов факторных моделей (мультипликативные, аддитивные, кратные и др.), разработаны методики, позволяющие оценить, как изменения значений различных факторных показателей влияют на уровень результативных показателей. Почти любой экономический показатель – это, по сути, комбинация (сумм, произведений, соотношений и т. д.) каких-либо факторных показателей. Это правило касается и объема грузооборота как результативного показателя [3–5].

Результаты (Results)

В научных работах по оценке использования грузовых автомобилей дается ряд факторных моделей объемов выполненных работ. Эти модели включают в себя абсолютные факторные показатели первого порядка и относительные показатели:

$$V = M * D * P * K_p * C_k * K_{II} * T * K_{ITP}$$

Перед нами стоит задача определить факторы, влияющие на абсолютные показатели той или иной мультипликативной модели. Для этого требуется представить абсолютные показатели в виде факторных моделей (состоят из факторных показателей 1-го и 2-го порядков).

При этом нам надо применить дополнительный коэффициент, отражающий уровень использования в работе технически готового транспорта. Его считаем как отношение количества дней в работе к количеству дней пребывания в технической готовности (данная методика рассмотрена в статье [6]): $K_{ИРТГА} = АДР : АДТГ$, или $K_{ИРТГА} = АДР^{1A} : АДТГ^{1A}$.

Тогда

$$АДР^{1A} = АДТГ^{1A} * K_{ИРТГА} = [(АДПП^{1A} * K^{ТГ}) * K_{ИРТГА}],$$

где $АДПП^{1A}$ – автомобиле-дни пребывания в организации в расчете на один автомобиль;

$K^{ТГ}$ – коэффициент технической готовности;

$АДТГ$ – автомобиле-дни в технической готовности всех автомобилей;

$АДТГ^{1A}$ – автомобиле-дни в технической готовности в расчете на один автомобиль;

$K_{ИРТГА}$ – коэффициент использования в работе технически готовых автомобилей;

$$ДПП^{1A} = (ДОП^{1A} * K_{ИП}) = [(ДПД^{1A} * ССК) * K_{ИП}] = \{[(ВРНД^{1A} * K_{ИРВ}) * ССК] * K_{ИП}\},$$

где $ДПД^{1A}$ – дневной пробег одного автомобиля с грузом, км

$ДОП^{1A}$ – дневной общий пробег одного автомобиля, км;

$K_{ИП}$ – коэффициент использования пробега;

$ДПД^{1A}$ – дневная продолжительность движения одного автомобиля (время в движении в течение нахождения автомобиля в наряде), ч;

$ВРНД^{1A}$ – время пребывания в наряде в течение дня одного автомобиля (продолжительность рабочего дня), ч.

1850

$K_{ИРВ}$ – коэффициент использования рабочего времени;

$ССК$ – средняя скорость движения автомобиля фактическая, км/ч.

$$СГФ = (СГТ * K_{ИГ}),$$

где $СГТ$ – средняя техническая грузоподъемность одного автомобиля, т;

$K_{ИГ}$ – коэффициент использования грузоподъемности.

Тогда факторная модель объема грузооборота одного автомобиля (VGO^{1A}) будет иметь следующий вид:

$$VGO^{1A} = [(АДПП^{1A} * K^{ТГ}) * K_{ИРТГА}] * \{[(ВРНД^{1A} * K_{ИРВ}) * ССК] * K_{ИП}\} * (СГТ * K_{ИГ}).$$

Объемы выполненных работ по грузовому автопарку выразим мультипликативной факторной моделью:

$$\{[(ВРНД^{1A} * K_{ИРВ}) * ССК VGO = КА * \{[(АДПП^{1A} * K^{ТГ}) * K_{ИРТГА}]\} * K_{ИП}\} * (СГТ * K_{ИГ})\} [7; 8].$$

Расширенная факторная модель (система абсолютных и относительных показателей характеризующих эффективность использования транспорта) даст возможность тщательно провести анализ динамики эффективности работы, определить имеющиеся проблемы и их значимость [9].

Для этого нами проведен факторный анализ и дана оценка степени влияния изменения каждого факторного показателя на результативный.

Объем грузооборота в расчете на один автомобиль в базисном году (2019 г.) составил:

$$VGO_{19}^{1A} = [(АДПП_{19}^{1A} * K_{19}^{ТГ}) * K_{ИРТГА_{19}}] * \{[(ВРНД_{19}^{1A} * K_{ИРВ_{19}}) * ССК_{19}] * K_{ИП_{19}}\} * (СГТ_{19} * K_{ИГ_{19}}) = [(365 \text{ дн.} * 0,83288) * 0,88158] * \{[(7,38007 \text{ ч} * 0,71547) * 44,97426 \text{ км/ч}] * 0,57463\} * (4,57143 \text{ т} * 0,54294) = (304,00120 \text{ дн.} * 0,88158) * [(5,28022 \text{ ч} * 44,97426 \text{ км/ч}) * 0,57463] * 2,48201 \text{ т} = 268,00138 \text{ дн.} * [(237,47399 \text{ км} * 0,57463)] * 2,48201 \text{ т} = 268,00138 \text{ дн.} * 136,45968 \text{ км} * 2,48201 \text{ т} = 36\,571,383 \text{ км} * 2,48201 \text{ т} = 90\,770,538 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Объем грузооборота в отчетном году (2023 г.):

$$VGO_{23}^{1A} = [(АДПП_{23}^{1A} * K_{23}^{ТГ}) * K_{ИРТГА_{23}}] * \{[(ВРНД_{23}^{1A} * K_{ИРВ_{23}}) * ССК_{23}] * K_{ИП_{23}}\} * (СГТ_{23} * K_{ИГ_{23}}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,83803] * \{[(7,58004 \text{ час.} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}] * 0,51759\} * (5,95000 \text{ т} * 0,48706) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * [(5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}) * 0,51759] * 2,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * [(310,50506 \text{ км} * 0,51759)] * 2,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * 160,71431 \text{ км} * 2,89801 \text{ т} = 38\,249,982 \text{ км} * 2,89801 \text{ т} = 110\,848,830 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Объем грузооборота (в расчете на 1 автомобиль) в 2023 г. по сравнению с 2019 г. увеличился на 20 078,292 т·км:

$$\Delta VGO_{1A}^{1A \text{ ОБЩ}} = 110\,848,830 \text{ т} \cdot \text{км} - 90\,770,538 \text{ т} \cdot \text{км} = +20\,078,292 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Таблица 1

Влияние факторов на объем работ, выполненных одним грузовым автомобилем

Показатели	2019 год	2023 год	Отклонение (+, –)
Автомобиле-дни пребывания на предприятии в расчете на один автомобиль (АДПП ^{1А})	365	365	–
Автомобиле-дни пребывания в технической готовности в расчете на один автомобиль (АДТГ ^{1А})	304	284	–20
Автомобиле-дни в работе в расчете на один автомобиль (АДР ^{1А})	268	238	–30
Коэффициент использования автомобилей в работе (К ^{ИАР})	0,73425	0,65205	–0,08220
Коэффициент технической готовности (К ^{ТГ})	0,83288	0,77808	–0,05480
Коэффициент использования в работе технически готовых автомобилей (К ^{ИРТГА})	0,88158	0,83803	–0,04355
Время пребывания в наряде (дневное рабочее время) в расчете на один автомобиль (ВРНД ^{1А}), ч	7,38007	7,58004	+0,19997
Коэффициент использования дневного рабочего времени (времени в наряде) (К ^{ИРВ})	0,71547	0,76517	+0,04970
Дневная продолжительность движения одного автомобиля (ДПД ^{1А}), ч	5,28022	5,80000	+0,51978
Средняя фактическая скорость движения (ССК), км/ч	44,97426	53,53517	+8,56091
Дневной пробег одного автомобиля (ДП ^{1А}), км	237,474	310,504	+73,030
Дневной пробег одного автомобиля с грузом (ДПГ ^{1А}), км	136,459	160,714	+24,255
Коэффициент использования пробега (К ^{ИП})	0,57463	0,51759	–0,05704
Средняя грузоподъемность одного автомобиля техническая (СГТ), т	4,57143	5,95000	+1,37857
Средняя загруженность одного автомобиля фактическая (СГФ), т	2,48201	2,89801	+0,41600
Коэффициент использования грузоподъемности (К ^{ИГ})	0,54294	0,48706	–0,05588
Годовая производительность одного автомобиля (годовой объем работ, выполненный одним автомобилем) (VГО ^{1А}), т·км	90 770,538	110 848,830	+20 078,292
Отклонение (+, –) годовой производительности одного автомобиля за счет изменения, т·км:			
1) коэффициента технической готовности (К ^{ТГ});	–	–	–5 972,192
2) коэффициента использования в работе технически готовых автомобилей (К ^{ИРТГА});	–	–	–4 189,030
3) времени пребывания в наряде одного автомобиля в течение дня (продолжительности рабочего дня), ч (ВРНД ^{1А});	–	–	+2 184,144
4) коэффициента использования дневного рабочего времени (времени в наряде) (К ^{ИРВ});	–	–	+5 751,254
5) средней фактической скорости движения (ССК);	–	–	+16 854,578
6) коэффициента использования пробега (К ^{ИП});	–	–	–10 462,330
7) средней технической грузоподъемности одного автомобиля (СГТ);	–	–	+28 629,347
8) коэффициента использования грузоподъемности (К ^{ИГ})	–	–	–12 717,737

Economy

Table 1
Influence of factors on the volume of work performed by one freight vehicle

Indicators	2019	2023	Deviation (+, –)
Vehicle-days on the enterprise's premises per vehicle (VDEP ^{IV})	365	365	–
Vehicle-days in technically ready condition per vehicle (VDTR ^{IV})	304	284	–20
Vehicle-days in operation per vehicle (VDOP ^{IV})	268	238	–30
Vehicle utilization rate in operation (K ^{VUO})	0.73425	0.65205	–0.08220
Technical readiness coefficient (K ^{TR})	0.83288	0.77808	–0.05480
Utilization rate of technically ready vehicles (K ^{URTV})	0.88158	0.83803	–0.04355
Time on duty (daily working time) per vehicle (TDUT ^{IV}), hours	7.38007	7.58004	+0.19997
Daily working time utilization coefficient (time on duty) (K ^{UWT})	0.71547	0.76517	+0.04970

Daily travel duration per vehicle (DTD^{IV}), hours	5.28022	5.80000	+0.51978
Average actual travel speed (AATS), km/h	44.97426	53.53517	+8.56091
Daily mileage per vehicle (DM^{IV}), km	237.474	310.504	+73.030
Daily loaded mileage per vehicle (DLM^{IV}), km	136.459	160.714	+24.255
Mileage utilization coefficient (K^{MU})	0.57463	0.51759	-0.05704
Average technical load capacity per vehicle (ATLC), t	4.57143	5.95000	+1.37857
Average actual load per vehicle (AAL), t	2.48201	2.89801	+0.41600
Load capacity utilization coefficient (K^{LCU})	0.54294	0.48706	-0.05588
Annual productivity per vehicle (annual volume of work performed) (VAN^{IV}), t·km	90 770.538	110 848.830	+20 078.292
Deviation (+/-) in annual productivity per vehicle due to changes in, t·km:			
1) technical readiness coefficient (K^{TR})	—	—	-5 972.192
2) utilization rate of technically ready vehicles (K^{URTV})	—	—	-4 189.030
3) daily time on duty per vehicle (working day duration), hours ($TDUT^{IV}$)	—	—	+2 184.144
4) daily working time utilization coefficient (time on duty) (K^{UWT})	—	—	+5 751.254
5) average actual travel speed (AATS)	—	—	+16 854.578
6) mileage utilization coefficient (K^{MU})	—	—	-10 462.330
7) average technical load capacity per vehicle (ATLC)	—	—	+28 629.347
8) load capacity utilization coefficient (K^{LCU})	—	—	-12 717.737

На это оказало влияние изменение значений следующих факторных показателей:

1. Коэффициента технической готовности (K^{TG}):
 $\Delta VGO^{IA} = [(ADPP^{IA}_{23} * K^{TG}_{23}) * K^{IRPTA}_{23}] * \{[(BRND^{IA}_{19} * K^{IRPB}_{19}) * CCK_{19}] * K^{IIP}_{19}\} * (SGT_{19} * K^{IIG}_{19}) = [365 \text{ дн.} * (-0,05480) * 0,88158] * \{[(7,38007 \text{ ч} * 0,71547) * 44,97426 \text{ км/ч}] * 0,57463\} * (4,57143 \text{ т} * 0,54294) = [-20,00200 \text{ дн.} * 0,88158] * \{[(5,28022 \text{ ч} * 44,97426 \text{ км/ч}] * 0,57463\} * 2,48201 \text{ т} = (-17,63336 \text{ дн.}) * [(237,47399 \text{ км} * 0,57463)] * 2,48201 \text{ т} = (-17,63336 \text{ дн.}) * 136,45968 \text{ км} * 2,48201 \text{ т} = -2406,243 \text{ км} * 2,48201 = -5972,192 \text{ т·км.}$

2. Коэффициента использования в работе технически готовых автомобилей (K^{IRPTA}):
 $\Delta VGO^{IA} = [(ADPP^{IA}_{23} * K^{TG}_{23}) * \Delta K^{IRPTA}] * \{[(BRND^{IA}_{19} * K^{IRPB}_{19}) * CCK_{19}] * K^{IIP}_{19}\} * (SGT_{19} * K^{IIG}_{19}) = [365 \text{ дн.} * 0,77808] * (-0,04355) * \{[(7,38007 \text{ ч} * 0,71547) * 44,97426 \text{ км/ч}] * 0,57463\} * (4,57143 \text{ т} * 0,54294) = [(283,99920 \text{ дн.} * (-0,04355)) * \{[(5,28022 \text{ ч} * 44,97426 \text{ км/ч}] * 0,57463\} * 2,48201 \text{ т} = (-12,36817 \text{ дн.}) * \{[(237,47399 \text{ км} * 0,57463)] * 2,48201 \text{ т} = (-12,36817 \text{ дн.}) * 136,45968 \text{ км} * 2,48201 \text{ т} = -1687,757 \text{ км} * 2,48201 \text{ т} = -4189,030 \text{ т·км.}$

3. Времени пребывания в наряде (дневного рабочего времени) одного автомобиля ($BRND^{IA}$):
 $\Delta VGO^{IA} = [(ADPP^{IA}_{23} * K^{TG}_{23}) * K^{IRPTA}_{23}] * \{[(\Delta BRND^{IA}) * K^{IRPB}_{19}) * CCK_{19}] * K^{IIP}_{19}\} * (SGT_{19} * K^{IIG}_{19}) = [365 \text{ дн.} * 0,77808] * 0,83803 * \{[(+0,19997 \text{ ч}) * 0,71547 * 44,97426 \text{ км/ч}] * 0,57463\} * (4,57143 \text{ т} * 0,54294) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * \{[(+0,14307 \text{ ч}) * 44,97426 \text{ км/ч}] * 0,57463\} * 2,48201 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * \{[(+6,43447 \text{ км}) * 0,57463]\} * 2,48201 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * (+3,69744 \text{ км}) * 2,48201 \text{ т} = +879,99017 \text{ км} * 2,48201 \text{ т} = +2184,144 \text{ т·км.}$

4. Коэффициента использования дневного рабочего времени (времени в наряде) (K^{IRPB}):

$\Delta VGO^{IA} = [(ADPP^{IA}_{23} * K^{TG}_{23}) * K^{IRPTA}_{23}] * \{[(BRND^{IA}_{23} * \Delta K^{IRPB}) * CCK_{19}] * K^{IIP}_{19}\} * (SGT_{19} * K^{IIG}_{19}) = [365 \text{ дн.} * 0,77808] * 0,83803 * \{[7,58004 \text{ ч} * (+0,04970) * 44,97426 \text{ км/ч}] * 0,57463\} * (4,57143 \text{ т} * 0,54294) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * \{[(+0,37673 \text{ ч}) * 44,97426 \text{ км/ч}] * 0,57463\} * 2,48201 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * (+9,73604 \text{ км}) * 2,48201 \text{ т} = +2317,17606 \text{ км} * 2,48201 \text{ т} = +5751,254 \text{ т·км.}$

5. Средней фактической скорости движения (ССК):

$\Delta VGO^{IA} = [(ADPP^{IA}_{23} * K^{TG}_{23}) * K^{IRPTA}_{23}] * \{[(BRND^{IA}_{23} * K^{IRPB}_{23}) * \Delta CCK] * K^{IIP}_{19}\} * (SGT_{19} * K^{IIG}_{19}) = [365 \text{ дн.} * 0,77808] * 0,83803 * \{[7,58004 \text{ ч} * 0,76517 * (+8,56091 \text{ км/ч})] * 0,57463\} * (4,57143 \text{ т} * 0,54294) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * \{[5,80002 \text{ ч} * (+8,56091 \text{ км/ч})] * 0,57463\} * 2,48201 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * \{[(+49,65345 \text{ км}) * 0,57463]\} * 2,48201 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * (+28,53236 \text{ км}) * 2,48201 \text{ т} = +6790,697 \text{ км} * 2,48201 \text{ т} = +16 854,578 \text{ т·км.}$

6. Коэффициента использования пробега (K^{IIP}):

$\Delta VGO^{IA} = [(ADPP^{IA}_{23} * K^{TG}_{23}) * K^{IRPTA}_{23}] * \{[(BRND^{IA}_{23} * K^{IRPB}_{23}) * CCK_{23}] * \Delta K^{IIP}\} * (SGT_{19} * K^{IIG}_{19}) = [365 \text{ дн.} * 0,77808] * 0,83803 * \{[7,58004 \text{ час.} * 0,76517] * 53,53517 \text{ км/час}\} * (-0,05704) * (4,57143 \text{ т} * 0,54294) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * \{[5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}] * (-0,05704)\} * 2,48201 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * \{[310,50506 \text{ км}) * (-0,05704)]\} * 2,48201 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * (-17,71121 \text{ км}) * 2,48201 \text{ т} = -4215,265 \text{ км} * 2,48201 \text{ т} = -10 462,330 \text{ т·км.}$

7. Средней технической грузоподъемности одного автомобиля (СТГ):

$$\Delta V_{ГО}^{1A} = [(АДПП^{1A}_{23} * K^{ТГ}_{23}) * K^{ИРТГА}_{23}] * \{[(ВРНД^{1A}_{23} * K^{ИРВ}_{23}) * CCK_{23}] * K^{ИП}_{23}\} * (\Delta CГТ * K^{ИГ}_{19}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,83803] * \{[(7,58004 \text{ ч} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * [(+1,37857 \text{ т} * 0,54294)] = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * \{[5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * (+0,74848 \text{ т}) = 237,99985 \text{ дн.} * \{[310,50506 \text{ км}]\} * 0,51759 * (+0,74848 \text{ т}) = 237,99985 \text{ дн.} * 160,71431 \text{ км} * (+0,74848 \text{ т}) = 38 \text{ 249,982 км} * (+0,74848 \text{ т}) = +28 \text{ 629,347 т} \cdot \text{км.}$$

8. Коэффициента использования грузоподъемности ($K^{ИГ}$):

$$\Delta V_{ГО}^{1A} = [(АДПП^{1A}_{23} * K^{ТГ}_{23}) * K^{ИРТГА}_{23}] * \{[(ВРНД^{1A}_{23} * K^{ИРВ}_{23}) * CCK_{23}] * K^{ИП}_{23}\} * (\Delta CГТ * \Delta K^{ИГ}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,83803] * \{[(7,58004 \text{ ч} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * [5,95000 \text{ т} * (-0,05588)] = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * \{[5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * (-0,33249 \text{ т}) = 237,99985 \text{ дн.} * \{[310,50506 \text{ км}]\} * 0,51759 * (-0,33249 \text{ т}) = 237,99985 \text{ дн.} * 160,71431 \text{ км} * (-0,33249 \text{ т}) = 38 \text{ 249,982 км} * (-0,33249 \text{ т}) = -12 \text{ 717,737 т} \cdot \text{км.}$$

Проведенный анализ показал, что первоочередное отрицательное воздействие на объемы грузоперевозок достигнуто коэффициентами эффективности использования грузового автотранспорта. Учет результатов анализа даст возможность обоснованно представить ряд грамотных управленческих решений по улучшению работы грузового транспорта.

Беря в расчет отечественную систему резервов роста грузооборота, мы предложили их расширение и объединение в общую систему (относительные факторные показатели и абсолютные (таблица 2).

Для этого, по нашему мнению, в систему резервов увеличения грузооборота следует включить все факторы (таблица 1) как положительного воздействия на объем выполненных работ, так и отрицательного характера.

Это, на наш взгляд, диктуется необходимостью при обосновании мероприятий по повышению эффективности использования грузового автотранспорта не только нивелировать воздействие на грузооборот отрицательных факторов, а в оптимальном варианте перевести их в группу факторов положительного характера, но и максимально увеличить воздействие положительных факторов [10–12].

Коэффициент выражается как в процентах, так и в долях единицы. Второй вариант нами использован в расчетах коэффициентов из таблицы 1. Например, коэффициент использования грузоподъемности в 2023 году равнялся примерно 0,4871, или 48,71 %. Это свидетельствует нам о том, что техническая грузоподъемность одного автомобиля использована лишь на 48,71 %.

Чтобы наглядно рассмотреть методику планирования применения грузового транспорта, значения каждого из абсолютных показателей и каждого из коэффициентов повысим на один процентный пункт.

Так величина коэффициента технической готовности в 2023 году равна 0,77808 (или 77,808 %). При росте на один процентный пункт получим 0,78808 (или 78,808 %).

Повысить можно каждый факторный показатель.

Повышение значений коэффициентов (показателей) на один процентный пункт даст возможность прироста объемов работ одним автотранспортом в разрезе любого фактора в пределах, представленных в таблице 2.

1. Коэффициент технической готовности ($K^{ТГ}$): увеличенное значение на 1 процентный пункт составит **0,78808 (0,77808 + 0,01)**.

$$V_{ГО}^{1A}_{П1} = [(АДПП^{1A}_{23} * K^{ТГ}_{П1}) * K^{ИРТГА}_{23}] * \{[(ВРНД^{1A}_{23} * K^{ИРВ}_{23}) * CCK_{23}] * K^{ИП}_{23}\} * (\Delta CГТ * K^{ИГ}_{23}) = [(365 \text{ дн.} * 0,78808) * 0,83803] * \{[(7,58004 \text{ ч} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * (5,95000 \text{ т} * 0,48706) = (287,64920 \text{ дн.} * 0,83803) * \{[5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * 2,89801 \text{ т} = 241,05866 \text{ дн.} * \{[310,50506 \text{ км}]\} * 0,51759 * 2,89801 \text{ т} = 241,05866 \text{ дн.} * 160,71431 \text{ км} * 2,89801 \text{ т} = 38 \text{ 741,576 км} * 2,89801 \text{ т} = 112 \text{ 273,475 т} \cdot \text{км.}$$

2. Коэффициент использования в работе технически готовых автомобилей ($K^{ИРТГА}$): **$K^{ИРТГА}_{П1} = 0,84803 (0,83803 + 0,01)$** .

$$V_{ГО}^{1A}_{П2} = [(АДПП^{1A}_{23} * K^{ТГ}_{23}) * K^{ИРТГА}_{П1}] * \{[(ВРНД^{1A}_{23} * K^{ИРВ}_{23}) * CCK_{23}] * K^{ИП}_{23}\} * (\Delta CГТ * K^{ИГ}_{23}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,84803] * \{[(7,58004 \text{ час.} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * (5,95000 \text{ т} * 0,48706) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,84803) * \{[5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * 2,89801 \text{ т} = 240,83984 \text{ дн.} * \{[310,50506 \text{ км}]\} * 0,51759 * 2,89801 \text{ т} = 240,83984 \text{ дн.} * 160,71431 \text{ км} * 2,89801 \text{ т} = 38 \text{ 706,409 км} * 2,89801 \text{ т} = 112 \text{ 171,560 т} \cdot \text{км, что выше фактического уровня 2023 г. на } 1322,730 \text{ т} \cdot \text{км} (112 \text{ 171,560 т} \cdot \text{км} - 110 \text{ 848,830 т} \cdot \text{км}).$$

3. Время пребывания в наряде в течение дня одного автомобиля (продолжительность рабочего дня) ($ВРНД^{1A}$) – увеличение на 0,1 ч: **$ВРНД^{1A}_{П1} = 7,68004 \text{ ч} (7,58004 + 0,1)$** .

$$V_{ГО}^{1A}_{П3} = [(АДПП^{1A}_{23} * K^{ТГ}_{23}) * K^{ИРТГА}_{23}] * \{[(ВРНД^{1A}_{П1} * K^{ИРВ}_{23}) * CCK_{23}] * K^{ИП}_{23}\} * (\Delta CГТ * K^{ИГ}_{23}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,83803] * \{[(7,68004 \text{ ч} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * (5,95000 \text{ т} * 0,48706) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * \{[5,87654 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}]\} * 0,51759 * 2,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * \{[314,60157 \text{ км}]\} * 0,51759 * 2,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * 162,83463 \text{ км} * 2,89801 \text{ т} = 38 \text{ 754,618 км} * 2,89801 \text{ т} = 112 \text{ 311,271 т} \cdot \text{км.}$$

Таблица 2
Резервы увеличения объема выполненных работ одним автомобилем

Показатели	Увеличение			Увеличение на 1 п. п. значения коэффициентов					Итого
	времени пребы- вания в наряде одного автомоби- ля в течение дня (продолжитель- ности рабочего дня) (ВРНД ^{1а}) на 0,1 ч	Средней фактиче- ской скоро- сти движе- ния (ССК) на 1 км/ч	средней техниче- ской грузо- подъемно- сти одного автомобиля (СТГ) на 0,1 т	техниче- ской готов- ности (К ^{ГТ})	исполь- зования в работе технически готовых ав- томобилей (К ^{ГРПА})	исполь- зования дневного рабочего времени (времени в наряде) (К ^{НРВ})	использо- вания про- бега (К ^{МП})	использо- вания гру- зоподъем- ности (К ^{ИГ})	
Объем грузооборота одного автомобиля, т·км: – фактический – прогнозный	110 848,830 112 311,271	110 848,830 112 919,415	110 848,830 112 710,971	110 848,830 112 273,475	110 848,830 112 171,560	110 848,830 112 297,502	110 848,830 112 990,463	110 848,830 113 124,704	110 848,830 125 652,766
Прирост грузооборота: – в т·км – в %	1 462,441 1,319	2 070,585 1,868	1 862,141 1,680	1 424,645 1,285	1 322,730 1,193	1 448,672 1,307	2 141,633 1,932	2 275,874 2,053	14 803,936 13,355

Table 2
Reserves for increasing the volume of work performed by one vehicle

Indicators	Increase			An increase of 1 percentage point in the value of the coefficients					Total
	daily time on duty per vehicle (working day duration), hours (TDUT ^{1a}) by 0.1 h	average actual travel speed (AATS) by 1 km/h	average technical load capacity per vehicle (ATLC) by 0.1 t	technical readiness coefficient (K ^{TR})	utilization rate of technically ready vehicles (K ^{URTV})	daily working time utilization coefficient (time on duty) (K ^{UWT})	mileage utilization coefficient (K ^{MU})	load capacity utilization coefficient (K ^{LCU})	
Freight turnover per vehicle, t·km: – actual – forecast	110 848,830 112 311,271	110 848,830 112 919,415	110 848,830 112 710,971	110 848,830 112 273,475	110 848,830 112 171,560	110 848,830 112 297,502	110 848,830 112 990,463	110 848,830 113 124,704	110 848,830 125 652,766
Increase in freight turnover: – in t·km – in %	1 462,441 1,319	2 070,585 1,868	1 862,141 1,680	1 424,645 1,285	1 322,730 1,193	1 448,672 1,307	2 141,633 1,932	2 275,874 2,053	14 803,936 13,355

4. Коэффициент использования дневного рабочего времени (времени в наряде) ($K_{ИРВ}$): $K_{ИРВ} = 0,77517 (0,76517 + 0,01)$.

$$VGO_{14}^{IA} = [(АДПП_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * K_{ИРПТА}^{ПГ}] * \{[(ВРНД_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * CCK_{23}] * K_{ИП}^{ПГ}\} * (CГТ_{23} * K_{ИП}^{ПГ}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,83803] * \{[(7,58004 \text{ ч} * 0,77517) * 53,53517 \text{ км/ч}] * 0,51759\} * (5,95000 \text{ т} * 0,48706) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * [(5,87582 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}) * 0,51759] * 62,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * [(314,56302 \text{ км} * 0,51759)] * 2,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * 162,81467 \text{ км} * 2,89801 \text{ т} = 38 \text{ 749,867 км} * 2,89801 \text{ т} = 112 \text{ 297,502 т} \cdot \text{км.}$$

5. Средняя фактическая скорость движения (ССК), км/ч: $ССК_{П} = 54,53517 \text{ км/ч} (53,53517 \text{ км/ч} + 1 \text{ км/ч})$.

$$VGO_{15}^{IA} = [(АДПП_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * K_{ИРПТА}^{ПГ}] * \{[(ВРНД_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * CCK_{П}] * K_{ИП}^{ПГ}\} * (CГТ_{23} * K_{ИП}^{ПГ}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,83803] * \{[(7,58004 \text{ ч} * 0,76517) * 54,53517 \text{ км/ч}] * 0,51759\} * (5,95000 \text{ т} * 0,48706) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * [(5,80002 \text{ ч} * 54,53517 \text{ км/ч}) * 0,51759] * 2,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * [(316,30508 \text{ км} * 0,51759)] * 2,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * 163,71635 \text{ км} * 2,89801 \text{ т} = 38 \text{ 964,467 км} * 2,89801 \text{ т} = 112 \text{ 919,415 т} \cdot \text{км.}$$

6. Коэффициент использования пробега ($K_{ИП}$): $K_{ИП} = 0,52759 (0,51759 + 0,01)$.

$$VGO_{16}^{IA} = [(АДПП_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * K_{ИРПТА}^{ПГ}] * \{[(ВРНД_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * CCK_{П}] * K_{ИП}^{ПГ}\} * (CГТ_{23} * K_{ИП}^{ПГ}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,83803] * \{[(7,58004 \text{ ч} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}] * 0,52759\} * (5,95000 \text{ т} * 0,48706) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * [(5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}) * 0,52759] * 2,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * [(310,50506 \text{ км} * 0,52759)] * 2,89801 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * 163,81936 \text{ км} * 2,89801 \text{ т} = 38 \text{ 988,983 км} * 2,89801 \text{ т} = 112 \text{ 990,463 т} \cdot \text{км.}$$

7. Средняя техническая грузоподъемность одного автомобиля (СГТ) – увеличение на 0,1 т: $СГТ_{П} = 6,05000 (5,95000 + 0,1)$.

$$VGO_{17}^{IA} = [(АДПП_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * K_{ИРПТА}^{ПГ}] * \{[(ВРНД_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * CCK_{П}] * K_{ИП}^{ПГ}\} * (CГТ_{П} * K_{ИП}^{ПГ}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,83803] * \{[(7,58004 \text{ ч} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}] * 0,51759\} * (6,05000 \text{ т} * 0,48706) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * [(5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}) * 0,51759] * 2,94671 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * [(310,50506 \text{ км} * 0,51759)] * 2,94671 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * 160,71431 \text{ км} * 2,94671 \text{ т} = 38 \text{ 249,767 км} * 2,94671 \text{ т} = 112 \text{ 710,971 т} \cdot \text{км.}$$

8. Коэффициент использования грузоподъемности ($K_{ИП}$): $K_{ИП} = 0,49706 (0,48706 + 0,01)$.

$$VGO_{18}^{IA} = [(АДПП_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * K_{ИРПТА}^{ПГ}] * \{[(ВРНД_{23}^{IA} * K_{ИРВ}^{ПГ}) * CCK_{П}] * K_{ИП}^{ПГ}\} * (CГТ_{П} * K_{ИП}^{ПГ}) = [(365 \text{ дн.} * 0,77808) * 0,83803] * \{[(7,58004 \text{ ч} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}] * 0,51759\} * (6,05000 \text{ т} * 0,48706) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * [(5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}) * 0,51759] * 2,94671 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * [(310,50506 \text{ км} * 0,51759)] * 2,94671 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * 160,71431 \text{ км} * 2,94671 \text{ т} = 38 \text{ 249,767 км} * 2,94671 \text{ т} = 112 \text{ 710,971 т} \cdot \text{км.}$$

$$\{[(7,58004 \text{ ч} * 0,76517) * 53,53517 \text{ км/ч}] * 0,51759\} * (5,95000 \text{ т} * 0,49706) = (283,99920 \text{ дн.} * 0,83803) * [(5,80002 \text{ ч} * 53,53517 \text{ км/ч}) * 0,51759] * 2,95751 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * [(310,50506 \text{ км} * 0,51759)] * 2,95751 \text{ т} = 237,99985 \text{ дн.} * 160,71431 \text{ км} * 2,95751 \text{ т} = 38 \text{ 249,982 км} * 2,95751 \text{ т} = 113 \text{ 124,704 т} \cdot \text{км.}$$

Таким образом, наибольший планируемый грузооборот будет при повышении коэффициента использования грузоподъемности на 1 п. п.

Сформированная система резервов дает возможность, на наш взгляд, прогнозировать объем грузооборота при различных объективно запланированных значениях как одновременно всех факторных показателей, включенных в систему резервов, так и в различных их сочетаниях и комбинациях.

Все это, по нашему мнению, позволит более оперативно реагировать на изменение итогов работы грузовых автомобилей и будет способствовать выявлению узких мест с целью их устранения для оптимизации в перспективе работы грузового транспорта [13–16].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Для обеспечения более взвешенного и непредвзятого анализа воздействия отдельных параметров на итоговую величину транспортной работы (грузооборот) в исследовательский инструментарий введена детализированная многофакторная модель. Отличительной чертой данной конструкции выступает интеграция в расчеты показателя ($K_{ИРПТА}$) – коэффициента задействования технически исправных машин. Подобное уточнение позволяет отойти от усредненной оценки всего автопарка и сконцентрироваться сугубо на той его доле, которая была полностью пригодна к эксплуатации в рассматриваемом периоде.

Проведенный с опорой на указанный методический подход пофакторный анализ динамики выработки одной единицы подвижного состава дал возможность четко идентифицировать те переменные, чье негативное изменение наиболее ощутимо сдерживало прирост объемных показателей деятельности.

Отталкиваясь от выявленных диспропорций, в работе мы сделали попытку верификации потенциальных направлений наращивания производительности каждой списочной автомашины. Схема расчетов строилась на гипотетическом допущении: величина каждого из задействованных в формуле относительных параметров последовательно улучшалась ровно на 1 п. п., после чего производился пересчет ожидаемого уровня грузооборота при прочих равных условиях.

Полученные результаты расчетов свидетельствуют о том, что прирост грузооборота получен в достаточно ощутимых объемах (таблица 2). По-

мимо этого, рассчитан объем работ, который может выполнить один автомобиль при одновременном повышении значений всех факторных показателей и коэффициентов:

$$VGO_{\Pi}^{IA} = [(ADPP_{\Pi}^{IA} * K_{\Pi}^{TG}) * K_{\Pi}^{IRTTA}] * \{[(BPHD_{\Pi}^{IA} * K_{\Pi}^{IRB}) * CCK_{\Pi}] * K_{\Pi}^{IIP}\} * (CGT_{\Pi} * K_{\Pi}^{IG}) = [(365 \text{ дн.} * 0,78808) * 0,84803] * \{[(7,68004 \text{ ч} * 0,77517) * 54,53517 \text{ км/ч}] * 0,52759\} * (6,05000 \text{ т} * 0,49706) = (287,64920 \text{ дн.} * 0,84803) * [(5,95334 \text{ ч} * 54,53517 \text{ км/ч}) * 0,52759] * 3,00721 \text{ т} = 243,93515 \text{ дн.} * [(324,66641 \text{ км} * 0,52759)] * 3,00721 \text{ т} = 243,93515 \text{ дн.} * 171,29075 \text{ км} * 3,00721 \text{ т} = 41 \text{ 783,835 км} * 3,00721 \text{ т} = 125 \text{ 652,766 т.км.}$$

Полученный объем грузооборота выше фактического в 2023 году на 14 803,936 т-км (или на 13,355 %), что свидетельствует о достаточно ве-

сомом приросте объема выполненных работ и повышении эффективности использования грузового автотранспорта.

Все расчеты выполнены с необходимой и оптимальной точностью значений использованных факторных показателей, что подтверждает объективность полученных результатов. Данная методика, по нашему мнению, позволит объективно планировать объемы работ грузового автотранспорта при различных значениях факторных показателей (коэффициентов) и выбрать наиболее оптимальный вариант.

Следует также отметить, что данная методика позволяет для расчета объема выполненных работ грузовым автотранспортом использовать запланированные значения факторных показателей в различных комбинациях и сочетаниях.

Библиографический список

1. Трофимова Л. С. Методика текущего планирования работы автотранспортного предприятия при перевозке грузов в городе // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2020. Т. 17, № 2 (72). С. 234–247. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-2-234-247.
2. Раюшкина А. А. Критерии и этапы оценки социально-экономической эффективности автотранспортных услуг // Экономика и управление: проблемы, решения. 2022. Т. 1, № 7 (127). С. 59–68. DOI: 10.36871/ek.ur.p.r.2022.07.01.007.
3. Егоров С. Я., Салих Х. С. Подход к созданию системы поддержки принятия решений при управлении распределением ресурсов автотранспортного предприятия // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7, № 4 (27). С. 35–36. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.035.
4. Дьяченко О. Н. Перспективные направления развития рынка автотранспортных услуг в экономике региона // Экономика и предпринимательство. 2020. № 3 (116). С. 310–314. DOI: 10.34925/EIP.2020.116.3.063.
5. Соколов Ю. И., Лавров И. М., Разинкин Д. Н., Евдокимов Н. В. Проблемы экономической оценки и управления качеством на транспорте // Первый экономический журнал. 2023. № 11 (341). С. 26–31. DOI: 10.58551/20728115_2023_11_26.
6. Fedoskin V. V., Bakulina G. N., Chivileva I. V., Martynushkin A. B., Polyakov M. V. Formation of a system of indicators for assessing the availability and results of using freight transport. // E3S Web of Conferences: International Scientific Conference Transport Technologies in the 21st Century “Actual problems of decarbonization of transport and power engineering: ways of their innovative solution” (TT21C-2024). 2024. Vol. 515. Article number 04016. DOI: 10.1051/e3sconf/202451504016.
7. Lozovaya O. V., Martynushkin A. B., Polyakov M. V., Krasnikov A. G., Strokova E. A., Menshova E. V. Optimization of management functions and business processes at road transport enterprises // E3S Web of Conferences: International Scientific Conference “Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the far east” (AFE-2022). 2023. Vol. 371. Article number 04012. DOI: 10.1051/e3sconf/202337104012.
8. Chekmareva G., Khamburova D., Matyashchuk S., Fillimonova E., Mamaev E. Expert methods for assessing the quality of transportation services // Transportation Research Procedia: Collection of materials XIII International Conference on transport infrastructure “Territory development and sustainability”. Krasnoyarsk, 2023. Pp. 98–108. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.02.012.
9. Тютрюмова Е. Г., Борисова А. А., Хохолуш М. С. Эффективность транспортного обслуживания поиск инструментальных средств оценки и обоснования управленческих решений // Экономика и предпринимательство. 2023. № 9 (158). С. 1050–1054. DOI: 10.34925/EIP.2023.158.09.204.
10. Сулейманов Э. С. Оценка экономической эффективности использования математического аппарата для рационального выбора автотранспортных средств при перевозке грузов // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2022. № 2 (76). С. 186–192. DOI: 10.34771/UZCEPU.2022.2.76.037.
11. Vinogradov D. V., Zubkova T. V. Accumulation of heavy metals by soil and agricultural plants in the zone of technogenic impact // Indian Journal of Agricultural Research. 2022. Vol. 56, No. 2. Pp. 201–207. DOI: 10.18805/IJArE.A-651.

12. Давыдов А. В., Паршуков И. С. Методы и модели оценки эффективности транспортных бизнес-процессов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2021. № 3 (58). С. 33–39. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_58_33.

13. Никифорова Г. И. Анализ качества транспортно-логистического обслуживания в современных условиях // Транспорт и информационные технологии. 2025. Т. 15, № 3. С. 167–181. DOI: 10.12731/3033-5965-2025-15-3-392.

14. Камара Я. Управление бизнес-моделью на основе оценки эффективности деятельности транспортной компании // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 9, № 10 (163). С. 12–21. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.10.09.002.

15. Шайбакова Л. Ф., Мошкова Т. Л. Улучшение экономического положения организации по перевозке грузов специализированными автотранспортными средствами // Наукосфера. 2024. № 10-2. С. 290–297. DOI: 10.5281/zenodo.14023484.

16. Дятлов В. В. Развитие процессов управления транспортными предприятиями в современных экономических условиях // Новое в экономической кибернетике. 2024. № 2. С. 119–130. DOI: 10.5281/zenodo.12668247.

Об авторах:

Владимир Владимирович Федоскин, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и экономики, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, Рязань, Россия; ORCID 0000-0003-0621-8759, AuthorID 677739.

E-mail: fedoskin.vladimir@yandex.ru

Алексей Борисович Мартынушкин, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа и экономики, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, Рязань, Россия; ORCID 0000-0003-2461-8406, AuthorID 497172.

E-mail: martynyshkin@mail.ru

Ирина Вячеславовна Чивилева, кандидат психологических наук, доцент, заведующая кафедрой гуманитарных наук, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, Рязань, Россия; ORCID 0009-0002-4231-3913, AuthorID 473951. E-mail: tchivirinka@inbox.ru

Светлана Анатольевна Кистанова, ассистент кафедры бухгалтерского учета, анализа и экономики, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева, Рязань, Россия; ORCID 0009-0008-6365-0437, AuthorID 1219495. E-mail: svetlana.rzn@mail.ru

Ольга Юрьевна Горбова, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры государственного, муниципального и корпоративного управления, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина, Рязань, Россия; ORCID 0000-0002-9210-2236, AuthorID 518832.

E-mail: odina-olga@yandex.ru

Алексей Дмитриевич Виноградов, студент инженерно-экономического факультета, Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина, Рязань, Россия; ORCID 0009-0001-0620-603X. E-mail: vdv-rz@rambler.ru

References

1. Trofimova L. S. Methodology for the current planning of the motor transport enterprise operations for the transportation of the goods in the city. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (2): 234–247. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-2-234-247. (In Russ.)

2. Rayushkina A. A. Criteria and stages of evaluation of socio-economic efficiency of motor transport services. *Economics and Management: Problems, Solutions*. 2022; 1 (7): 59–68. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2022.07.01.007. (In Russ.)

3. Egorov S. Yu., Salikh Kh. S. Approach to establishing a decision making system of resources distribution for auto transportation company. *Modeling, Optimization and Information Technologies*. 2019; 7 (4): 35–36. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.035. (In Russ.)

4. Dyachenko O. N. Perspective directions of development of the market of motor transport services in the region's economy. *Economics and Entrepreneurship*. 2020; 3: 310–314. DOI: 10.34925/EIP.2020.116.3.063. (In Russ.)

5. Sokolov Yu. I., Lavrov I. M., Razinkin D. N., Evdokimov N. V. Problems of economic assessment and quality management in transport. *First Economic Journal*. 2023; 11: 26–31. DOI: 10.58551/20728115_2023_11_26. (In Russ.)

6. Fedoskin V. V., Bakulina G. N., Chivileva I. V., Martynushkin A. B., Polyakov M. V. Formation of a system of indicators for assessing the availability and results of using freight transport. *E3S Web of Conferences. Inter-*

national Scientific Conference Transport Technologies in the 21st Century "Actual problems of decarbonization of transport and power engineering: ways of their innovative solution" (TT21C-2024). 2024; 515: 04016. DOI: 10.1051/e3sconf/202451504016.

7. Lozovaya O. V., Martynushkin A. B., Polyakov M. V., Krasnikov A. G., Strokova E. A., Menshova E. V. Optimization of management functions and business processes at road transport enterprises. *E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the Far East" (AFE-2022). 2023; 371: 04012. DOI 10.1051/e3sconf/202337104012.*

8. Chekmareva G., Khamburova D., Matyashchuk S., Fillimonova E., Mamaev E. Expert methods for assessing the quality of transportation services. *Transportation Research Procedia. Collection of materials of the XIII International Conference on transport infrastructure: Territory development and sustainability. Krasnoyarsk, 2023; 68: 98108. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.02.012. (In Russ.)*

9. Tyutyumova E. G., Borisova A. A., Khokholush M. S. efficiency of transport services search for tools for evaluating and justifying management decisions. *Economics and Entrepreneurship. 2023; 9: 1050–1054. DOI: 10.34925/EIP.2023.158.09.204. (In Russ.)*

10. Suleymanov E. S. Evaluation of the economic efficiency of using a mathematical tool for the rational choice of vehicles during the cargo transportation. *Scientific Notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University. 2022; 2: 186–192. DOI: 10.34771/UZCEPU.2022.2.76.037. (In Russ.)*

11. Vinogradov D. V. Zubkova T. V. Accumulation of heavy metals by soil and agricultural plants in the zone of technogenic impact. *Indian Journal of Agricultural Research. 2022; 56 (2): 201–207. DOI: 10.18805/IJARE.A-651. (In Russ.)*

12. Davydov A. V., Parshukov I. S. Methods and models for evaluating transport business processes effectiveness. *The Siberian Transport University Bulletin. 2021; 3: 33–39. DOI: 10.52170/1815-9265_2021_58_33. (In Russ.)*

13. Nikiforova G. I. Analysis of the quality of transport and logistics services in modern conditions. *Transport and Information Technologies. 2025; 15 (3): 167–181. DOI: 10.12731/3033-5965-2025-15-3-392. (In Russ.)*

14. Kamara Ya. Managing a business model based on assessing the efficiency of a transport company. *Economics and Management: Problems, Solutions. 2025; 9 (10): 12–21. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.10.09.002. (In Russ.)*

15. Shaybakova L. F., Moshkova T. L. Improvement of the economic situation of the organization for the transportation of goods by specialized vehicles. *Naukosfera. 2024; 10-2: 290–297. DOI: 10.5281/zenodo.14023484. (In Russ.)*

16. Dyatlov V. V. Development of management processes for transport enterprises in modern economic conditions. *New in Economic Cybernetics. 2024; 2: 119–130. DOI: 10.5281/zenodo.12668247. (In Russ.)*

Authors' information:

Vladimir V. Fedoskin, candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of accounting, analysis and economics, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Ryazan, Russia; ORCID 0000-0003-0621-8759, AuthorID 677739. *E-mail: fedoskin.vladimir@yandex.ru*

Aleksey B. Martynushkin, candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of accounting, analysis and economics, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Ryazan, Russia; ORCID 0000-0003-2461-8406, AuthorID 497172. *E-mail: martynushkin@mail.ru*

Irina V. Chivileva, candidate of psychological sciences, associate professor, head of the department of humanities, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Ryazan, Russia; ORCID 0009-0002-4231-3913, AuthorID 473951. *E-mail: tchivirinka@inbox.ru*

Svetlana A. Kistanova, assistant at the department of accounting, analysis and economics, Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev, Ryazan, Russia; ORCID 0009-0008-6365-0437, AuthorID 1219495. *E-mail: svetlana.rzn@mail.ru*

Olga Yu. Gorbova, candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of the department of state, municipal, and corporate governance, Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin, Ryazan, Russia; ORCID 0000-0002-9210-2236, AuthorID 518832. *E-mail: odina-olga@yandex.ru*

Aleksey D. Vinogradov, student of the faculty of engineering and economics. Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin, Ryazan, Russia; ORCID 0009-0001-0620-603X. *E-mail: vdv-rz@rambler.ru*

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, 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:

620075, 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: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

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.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 30.09.2026 г. Усл. печ. л. 29. Авт. л. 24,8.

Тираж: 100 экз. Цена: в розницу свободная.



**ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ
(ВАК)**

При Министерстве образования и науки
Российской Федерации



**Food and Agriculture Organization
of the United Nations**



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

