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

Уральский государственный
аграрный университет

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

AGRARIAN BULLETIN OF THE URALS

Т. 25, № 09
Vol. 25, No. 09

2025

Аграрный вестник Урала
Т. 25, № 09, 2025 г.

Agrarian Bulletin of the Urals
Vol. 25, No. 09, 2025

Сведения о редакционной коллегии

И. М. Донник (главный редактор), академик РАН, помощник президента Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (Москва, Россия)

О. Г. Лоретц (заместитель главного редактора), ректор Уральского государственного аграрного университета (Екатеринбург, Россия)

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

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)

Н. Н. Зезин, член-корреспондент РАН, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Екатеринбург, Россия)

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

В. В. Калашников, академик РАН, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства (Рязань, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial board

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

Olga G. Loretts (Deputy Chief Editor), rector of the Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)

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

Editorial Team

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

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

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

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

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

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

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

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

Bauyrzhan S. Yessengeldin, Pavlodar Pedagogical University Republic of Kazakhstan

Nikita N. Zezin, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Ural Research Institute of Agricultural (Ekaterinburg, Russia)

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

Valeriy V. Kalashnikov, academician of the Russian Academy of Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, the All-Russian Research Institute for Horsebreeding (Ryazan, Russia)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© Аграрный вестник Урала / Agrarian Bulletin of the Urals, 2025

Содержание

Агротехнологии

А. Ю. Еговцева, И. А. Каменева, А. И. Якубовская, С. Ф. Абдурашитов, М. В. Гритчин, И. И. Смирнова 1316
Таксономическое разнообразие микробиома чернозема южного под влиянием сидерата фацелии и целлюлозолитической ассоциации

В. Ю. Скороходов, Н. А. Максютов, Н. А. Зенкова, Е. Н. Скороходова 1329
Биологический прием борьбы с засоренностью посевов яровой твердой пшеницы в условиях степной зоны Южного Урала

А. И. Старых, А. А. Казак, А. В. Асеева 1340
Морковь столовая – ценная культура для Северного Зауралья

А. А. Тедеева, В. В. Тедеева 1352
Влияние биопрепаратов и минерального удобрения на продуктивность озимой пшеницы

Э. В. Тимошенко, А. Г. Клыков 1361
Формирование продуктивности гречихи при разных сроках посева в условиях Амурской области

Биология и биотехнологии

В. В. Гарт, С. Г. Куликова, Е. В. Камалдинов, А. Ф. Петров, К. Н. Нарожных 1372
Валидация первого метода прогнозирования молочной продуктивности первотелок по комплексному баллу линейных признаков

Р. В. Иванов, М. Н. Пак, Л. Н. Захарова, А. В. Попова, В. И. Федоров 1384
Эффективные технологии рационального кормления табунных лошадей Якутии в зимний период

Е. А. Кузнецова, М. Б. Ребезов, Е. Ал. Кузнецова 1395
Биохимические показатели состава и свойств зерна *Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn*. и изменение некоторых из них при ферментативном гидролизе

О. С. Романенкова, О. В. Алейникова, О. В. Костюнина 1406
Анализ уровня экспрессии генов BMPR1B и SPP1 у кур

О. А. Шевкунов, О. А. Быкова, А. А. Зырянова, А. А. Ярышкин, О. В. Костюнина 1420
Поиск гаплоблоков с потерей гомозиготности, потенциально ассоциированных с эмбриональной смертностью крупного рогатого скота

В. М. Юдин, А. С. Тронина, С. Л. Воробьева, Р. А. Ильясов, О. П. Неверова 1430
Генетическое разнообразие медоносных пчел Удмуртской Республики: угрозы и перспективы сохранения аборигенной популяции

Экономика

М. В. Киварина, Н. Н. Юрина 1443
Методика оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК

З. П. Меделяева, С. В. Гончаров, С. А. Голикова, А. В. Шишлянников 1456
Субсидии как фактор импортозамещения семян сельскохозяйственных культур

М. С. Оборин, Р. Ф. Шайдулин, М. Г. Субботина 1467
Автоматизация процесса фертигации как цифровая технология сельскохозяйственных предприятий

О. А. Рущицкая, Е. М. Кот, Е. С. Куликова, Т. И. Кружкова 1481
Разработка индекса цифрового маркетинга сельских территорий на примере Уральского федерального округа

А. А. Урасова, Д. В. Некрасова, М. А. Мухин, Н. Ю. Зубарев, Ю. Н. Зубарев 1493
Ключевые тенденции в развитии федеральной финансовой поддержки Фонда президентских грантов некоммерческих организаций в аграрных регионах России

Contents

Agrotechnologies

A. Yu. Egovtseva, I. A. Kameneva, A. I. Yakubovskaya, S. F. Abdurashitov, M. V. Gritchin, I. I. Smirnova 1316
Taxonomic diversity of the microbiome of southern chernozem under the influence of phacelia green manure and cellulolytic association

V. Yu. Skorokhodov, N. A. Maksyutov, N. A. Zenkova, E. N. Skorokhodova 1329
Biological method for controlling the contamination of spring durum wheat crops in the steppe zone of the Southern Urals

A. I. Starykh, A. A. Kazak, A. V. Aseeva 1340
Carrot canteen is a valuable crop for the Northern Trans-Urals

A. A. Tedeeva, V. V. Tedeeva 1352
The influence of biopreparations and mineral fertilizers on the productivity of winter wheat

E. V. Timoshenko, A. G. Klykov 1361
Formation of buckwheat productivity at different sowing dates in the Amur region

Biology and biotechnologies

V. V. Gart, S. G. Kulikova, E. V. Kamaldinov, A. F. Petrov, K. N. Narozhnykh 1372
Validation of the first method for predicting milk productivity in first-calf heifers based on a composite score of linear type traits

R. V. Ivanov, M. N. Pak, L. N. Zakharova, A. V. Popova, V. I. Fedorov 1384
Effective technologies of rational feeding of herd horses of Yakutia in winter

E. A. Kuznetsova, M. B. Rebezov, E. Al. Kuznetsova 1395
Biochemical indicators of the composition and properties of *Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn*. grain and changes in some of them during enzymatic hydrolysis

O. S. Romanenkova, O. V. Aleynikova, O. V. Kostyunina 1406
Analysis of the expression level of BMPR1B and SPP1 genes in chickens

O. A. Shevkunov, O. A. Bykova, A. A. Zyryanova, A. A. Yaryshkin, O. V. Kostyunina 1420
Identification of haplotype blocks with loss of heterozygosity potentially associated with embryonic mortality in cattle

V. M. Yudin, A. S. Tronina, S. L. Vorobyeva, R. A. Ilyasov, O. P. Neverova 1430
Genetic diversity of honey bees of the Udmurt Republic: threats and prospects for preserving the native population

Econoty

M. V. Kivarina, N. N. Yurina 1443
Methodology for evaluating the effectiveness of the regional digital agribusiness platform

Z. P. Medelyaeva, S. V. Goncharov, S. A. Golikova, A. V. Shishlyannikov 1456
Subsidies as a factor of seed import substitution

M. S. Oborin, R. F. Shaydulin, M. G. Subbotina 1467
Automation of the fertigation process as a digital technology of agricultural enterprises

O. A. Rushchitskaya, E. M. Kot, E. S. Kulikova, T. I. Kruzhkova 1481
Developing a digital marketing index for rural areas using the Ural Federal District as an example

A. A. Urasova, D. V. Nekrasova, M. A. Mukhin, N. Yu. Zubarev, Yu. N. Zubarev 1493
Key trends in the development of federal financial support of the Presidential Grants Fund for non-profit organizations in agricultural regions of Russia

УДК 579.64: 631.461
Код ВАК 4.1.1
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1316-1328

Таксономическое разнообразие микробиома чернозема южного под влиянием сидерата фацелии и целлюлозолитической ассоциации

А. Ю. Еговцева✉, И. А. Каменева, А. И. Якубовская, С. Ф. Абдурашитов, М. В. Гритчин, И. И. Смирнова
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия
✉*E-mail: eau82@mail.ru*

Аннотация. Практика использования зеленого удобрения набирает популярность в рамках интегрированных сельскохозяйственных систем, ориентированных на экологичность. Учитывая факт медленного разложения растительных остатков, актуальным является применение микробных препаратов на основе целлюлозоразлагающих микроорганизмов, а также исследования количественного и качественного состава сапрофитной микробиоты, участвующих в трансформации растительной массы в почве. **Цель**. Исследование направлено на изучение таксономического разнообразия микробиома чернозема южного при применении растительного сидерата фацелии и целлюлозолитической ассоциации (ЦА). **Методы.** Исследования проводили в 2018 и 2019 гг. в условиях полевого опыта на черноземе южном малогумусном на лессовидных глинах. Растения фацелии в фазу цветения обрабатывали водной суспензией ЦА (1 л/га) с одновременным измельчением фитомассы и заделкой в почву на глубину 10–15 см. Таксономический анализ почвенных образцов проводили методом высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16S рРНК. Подготовка библиотек и секвенирование выделенной ДНК проводились на платформе Illumina MiSeq на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии» (Санкт-Петербург). **Результаты.** Анализ главных компонент бактериального комплекса показал, что органический субстрат и внесение целлюлозолитической ассоциации существенно влияют на изменения в микробном сообществе на уровне фил и родов. Результаты исследования свидетельствуют о способности такого технологического приема, как внесение сидерата фацелии и применение ЦА для ускорения разложения, оказывать воздействие на изменение таксономической структуры прокариотного сообщества чернозема южного в условиях степи. **Научная новизна.** Впервые проведен метагеномный анализ таксономической структуры сообщества почвенных микроорганизмов, инициированных сидеральными культурами и ЦА в условиях чернозема южного Степи Крыма.

Ключевые слова: микробиом, таксономическая структура, целлюлозолитическая ассоциация, сидераты

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации № FNZW-2022-0004 «Закономерности функционирования агрофитоценозов чернозема южного под влиянием различных систем земледелия и приемов биологизации, направленных на улучшение плодородия почвы».

Для цитирования: 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. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1316-1328.

Дата поступления статьи: 24.01.2025, ***дата рецензирования:*** 31.03.2025, ***дата принятия:*** 03.06.2025.

© Еговцева А. Ю., Каменева И. А., Якубовская А. И., Абдурашитов С. Ф., Гритчин М. В., Смирнова И. И., 2025

Taxonomic diversity of the microbiome of southern chernozem under the influence of phacelia green manure and cellulolytic association

A. Yu. Egovtseva✉, I. A. Kameneva, A. I. Yakubovskaya, S. F. Abdurashitov, M. V. Gritchin, I. I. Smirnova
Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia
✉*E-mail: eau82@mail.ru*

Abstract. The practice of using green manure is gaining popularity within the framework of integrated agricultural systems focused on ecology. The use of microbial preparations based on cellulose-decomposing microorganisms, as well as studies of the quantitative and qualitative composition of saprophytic microbiota involved in the transformation of plant mass in the soil, is relevant. **The purpose.** The study was aimed at investigating the taxonomic diversity of the southern chernozem microbiome using phacelia as a green manure and cellulolytic association (CA). **Methods.** The studies were conducted in 2018 and 2019 under field experimental conditions on low-humus southern chernozem on loess-like clays. Phacelia plants in the flowering phase were treated with an aqueous suspension of CA (1 l per hectare) with simultaneous crushing of the phytomass and incorporation into the soil to a depth of 10–15 cm. Taxonomic analysis of soil samples was carried out by high-throughput sequencing of 16S rRNA gene libraries. The preparation of libraries and sequencing of isolated DNA were carried out on the Illumina MiSeq platform at the Center for Collective Use of Scientific Equipment "Genomic Technologies, Proteomics and Cell Biology" of the All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology (St. Petersburg). **Results.** Principal component analysis showed that organic substrate and the introduction of a cellulolytic association significantly affect changes in the microbial community at the phyla and genera level. The results of the study indicate the ability of such a technological method as the introduction of phacelia green manure and the use of CA to accelerate decomposition, to influence the change in the taxonomic structure of the prokaryotic community of southern chernozem in steppe conditions. **Scientific novelty.** For the first time, a metagenomic analysis of the taxonomic structure of the community of soil microorganisms initiated by green manure crops and CA in the conditions of the chernozem of the southern Steppe of Crimea was carried out.

Keywords: microbiome, taxonomic structure, cellulolytic association, green manure, phacelia

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. FNZW-2022-0004 "Patterns of functioning of agrophytocenoses of southern chernozem under the influence of various farming systems and biologization techniques aimed at improving soil fertility."

For citation: 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; 25 (09): 1316–1328. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1316-1328. (In Russ.)

Date of paper submission: 24.01.2025, ***date of review:*** 31.03.2025, ***date of acceptance:*** 03.06.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Почва – основа сельскохозяйственного производства. Как природный ресурс она постоянно подвергается природным и антропогенным воздействиям. Интенсивное сельское хозяйство является одной из основных характеристик современных методов ведения сельского хозяйства, что приводит к неблагоприятному воздействию на окружающую среду, включая усиление эрозии почвы, вымывание питательных веществ в результате интенсивного внесения удобрений и снижение микробного разнообразия почвы и потери плодородия [1; 2]. В связи с этим ведется поиск эффективных способов оздоровления почв – дополнительных источников органических удобрений, обеспечивающих воспроизводство почвенного плодородия и удовлетворение потребностей сельскохозяйственных культур в элементах питания. Одним из перспективных направлений в агропроизводстве, а также традиционной и ценной практикой для управления агроэкосистемами является использование сидератов как средств новообразования гумуса [3; 4]. Большое количество исследований доказало положительное влияние применения сидератов на улучшение сельскохозяй-

© Egovtseva A. Yu., Kameneva I. A., Yakubovskaya A. I., Abdurashitov S. F., Gritchin M. V., Smirnova I. I., 2025

ственного производства в различных регионах. Полезные эффекты можно резюмировать следующим образом: недопущение почвенной эрозии и уменьшение стока в паровой период; снижение плотности почвы и увеличение содержания гумуса, азота, фосфора, калия и других веществ и, следовательно, сокращение применения химических удобрений; увеличение биоразнообразия микробоценоза и биологической активности, а также ускорение трансформации питательных веществ в почве; обеспечение возможности борьбы с сорняками, вредителями и болезнями, что также способствует сокращению использования пестицидов; и наконец, повышение урожайности и прибыли сельскохозяйственных производителей [5; 6].

Однако существует проблема медленного разложения растительных остатков, что особенно актуально в засушливых условиях. Это обусловлено особенностями биохимического состава растительных субстратов, такими как высокое содержание лигнина, целлюлозы и низкое – азота, что является сдерживающим фактором более широкого применения их в качестве удобрения. Приблизительно через 3–4 года после внесения растительных остатков происходит полное их разложение [7]. Также препятствием применения данной технологии является то, что создаются благоприятные условия для развития фитопатогенной микрофлоры из-за длительного нахождения остатков растений на поверхности почвы. Поэтому одним из эффективных приемов увеличения эффективности биологизации путем активизации процесса разложения растительного субстрата и повышения коэффициента гумификации послеуборочных остатков является внесение микробных препаратов на основе микроорганизмов – целлюлозолитиков – перед заделкой в почву, обеспечивающее интродукцию биологически активных штаммов микроорганизмов на сидераты и в почву. Биопрепараты на основе целлюлозоразлагающих микроорганизмов имеют ряд преимуществ перед синтетическими агрохимикатами: экологическая безопасность для организмов; эффективные производственные технологии; стоимость; повышение продуктивности [8]. Фацелия – однолетнее растение семейства бурачниковые, которое часто используется в качестве сидерата в агропроизводстве. Есть исследования, подтверждающие, что обработка биопрепаратами перед заделкой в почву фитомассы способствует активизации микробиологических процессов, увеличению содержания в почве $N\text{-}NO_3$, P_2O_5, K_2O, также оказывает положительное влияние на ростстимуляцию [9; 10]. Ранее нами были получены результаты исследования, показывающие активизирующее влияние внесения в почву фитомассы фацелии и соломы озимой пшеницы на биологические процессы почвы [11].

В настоящее время все чаще используют современные молекулярно-генетические методы, помогающие учесть некультивируемых представителей почвенного микробиома [12], который играет важную роль в системах сельскохозяйственного производства. С помощью данных методов появляется возможность уловить генетическую и функциональную информацию об организмах, находящихся в состоянии покоя, в физиологически неактивном состоянии. Понимание сложной структуры микробного сообщества и реакции на традиционные по сравнению с органическими системы возделывания имеют решающее значение для устойчивого производства и здоровья экосистем [13]. Известно, что органическое вещество почвы, общий и гидролизуемый азот достоверно коррелируют с разнообразием прокариот, а количество органического вещества прямо пропорционально связано с их численностью [14]. Также прокариотические клетки составляют наибольшую часть биомассы почвы, и были проведены исследования, посвященные структуре их сообществ и факторам окружающей среды, влияющим на жизнеспособность микроорганизмов [15]. В результате появились две общепринятые теории, связывающие характеристики почвы с микробными сообществами: 1) виды растений и их корневая система напрямую влияют на разнообразие и структуру прокариотических сообществ, изменяя свойства почвы; 2) плодородие почвы, ее физические, абиотические характеристики, такие как pH, типы почв и содержание микроэлементов, могут сильно влиять на состав микробиома и являются основными факторами, влияющими на разнообразие микроорганизмов [16]. В связи с этим актуальны исследования структуры и разнообразия микробиома как показателей экологического состояния почвы.

Целью исследования было изучить таксономическую структуру и разнообразие микробиома чернозема южного при внесении сидерата фацелии и целлюлозолитической ассоциации.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проведены в условиях полевых опытов 2018 и 2019 годов. Образцы почвенного профиля, отобранные с опытных участков лаборатории земледелия Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма с заделанной растительной массой фацелии пижмолистной (*Phacelia tanacetifolia* Bent.) в качестве органического удобрения и микробным препаратом на основе целлюлозолитической ассоциации (ЦА), были приняты в качестве объектов исследования.

Почва – чернозем южный малогумусный на лессовидных глинах (Красногвардейский район, с. Клепинино). Мощность гумусового горизонта – до 40 см. Количество гумуса (по Тюрину) – 2,1–2,5 %, подвижного фосфора (по Мачигину) – 5,5–9,0 мг, обменного калия – 37,3–42,2 мг на 100 г почвы.

Погодные условия в период весенней вегетации растений, заделки в почву растительной массы и начального этапа ее разложения (через 14 дней после закладки) были критическими по количеству осадков и температуре. За период с марта по май на фоне повышенного температурного режима (среднесуточные температуры превышали норму на 2,0–2,7 °С) выпало 53,0 мм осадков, что составляет 52,5 % от среднемноголетних показателей. В июне – июле среднесуточные температуры воздуха достигали 23,1–23,8 °С при максимальных показателях в 33,1–33,9 °С. В летний период (июнь и третья декада июля) выпали интенсивные осадки, не оказавшие большого влияния на пополнения почвенных запасов влаги.

Схема опыта: контроль – черный пар с традиционной технологией его возделывания, варианты с внесением растительного субстрата, обработанного ЦА и без обработки. Целлюлозолитическую ассоциацию культивировали в жидкой питательной среде Гетчинсона – Клейптона с измельченной соломой пшеницы. Рабочий раствор готовили путем суспендирования ЦА из расчета 1 л/га. Препарат вносили при помощи опрыскивателя ОП-2000 в агрегате с трактором МТЗ-82 в фазу цветения фацелии. Растительную массу измельчали и заделывали в почву при помощи дисковой бороны БДТ-6 на глубину 10–15 см. Опыты закладывали в трехкратной повторности. Постановку полевых опытов осуществляли по Б. А. Доспехову [17]. Почву отбирали с глубины 0–16 см. через 14 дней после закладки опытов. Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программы Microsoft Excel 2010 и Statictica 2010.

В процессе исследований применен современный подход изучения структуры почвенного микробиома, активизированного растительным субстратом сидеральной культуры с использованием высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16S рРНК. Выделение тотальной ДНК из почвенных образцов проводили с помощью набора PowerSoil DNA Isolation Kit (Qiagen, Германия) на приборе Vortex Genee–2 (Mo-bio, США). Очистка ДНК была проведена электрофоретически с последующей экстракцией из агарозного геля [18]. Далее очищенные препараты ДНК использовались для создания библиотек маркерного гена 16S рРНК методом ПЦР с применением универсальных праймеров на вариабельный участок V4: F515/R806 (GTGCCAGCMGCCGCGGTAA / GGACTACVSGGGTATCTAAT) [19], а также присоединением адаптеров и уникальных бар-кодов компании Illumina. Последующая работа (подготовка библиотек и секвенирование) проводилась на платформе Illumina MiSeq (Illumina, США) в соответствии с рекомендациями производителя на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии» (Санкт-Петербург).

Первоначальная обработка полученных данных (демультиплексирование образцов и удаление адаптеров) проводилась ПО Illumina (Illumina, США). Для деноизинга, объединения последовательностей, удаления химерных прочтений, восстановления исходных филотипов (ASV, Amplicon sequence variant) и дальнейшей таксономической классификации ASV применены программные пакеты dada2 [20], phyloseq [21] и DECIPHER [22], работа которых осуществлялась в программной среде R. Таксономический и статистический анализ полученных результатов проведен с использованием программных пакетов QIIME [23], PAST3 [24].

Результаты (Results)

По результатам высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16S рРНК чернозема южного таксономический анализ на уровне фил и родов показал изменения в микробиоме как при внесении растительного субстрата фацелии, так и при предварительной обработке целлюлозолитической ассоциацией (рис. 1).

Так, количество неатрибутируемых фил было меньше на 8,7–11,8 % при заделке сидерата фацелии и в варианте совместного применения растительного субстрата и ЦА. Представленность *Proteobacteria, Actinobacteria* и *Acidobacteria* была максимальной среди наиболее значимых фил.

Доля фил *Actinobacteria* и *Gemmatimonadetes* снижалась в среднем от 28,6 % до 37,4 % в результате внесения фацелии отдельно и с ЦА по сравнению с контролем. Есть данные, что *Actinobacteria* выполняет важную экофизиологическую роль в разложении растительных остатков, поскольку их представители обладают большим количеством ферментов. Но также известно, что их функциональные гены и межвидовые взаимодействия проявляются наиболее выраженно в менее плодородных почвах [25]. К мажорным филам, доля которых снижалась при внесении сидерата фацелии и ЦА, относилась *Acidobacteria*. Представители данной филы обладают олиготрофной природой или экологической К-стратегией и преимущественно распространены в средах с повышенным содержанием CO_2 и низким уровнем pH [26].

Доля филы *Firmicutes* возрастала при внесении растительного субстрата на уровне тенденции, а при совместном применении сидерата и ЦА увеличение составило 46,7 % по сравнению с контролем. Микроорганизмы, относящиеся к филе *Firmicutes*, выполняют центральную роль в разрушении лигноцеллюлозы, в том числе в деградации гемицеллюлозы, при этом представители филы *Proteobacteria*, доля которых увеличивалась в результате внесения сидерата (на 20,9 %), способствуют деградации целлюлозы [27].

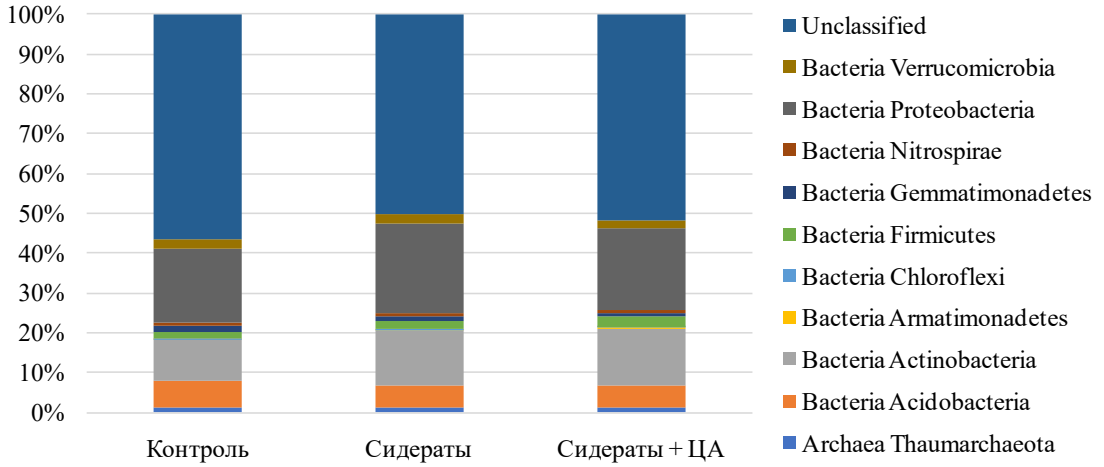


Рис. 1. Наиболее значимые филы прокариот в сообществе чернозема южного при внесении сидератов и ЦА ($p \leq 0,05$)

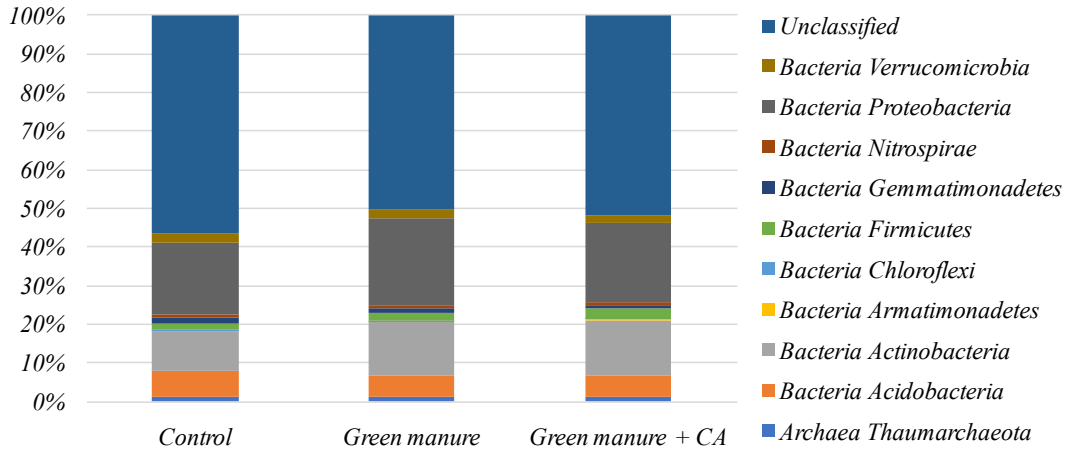


Fig. 1. The most significant phyla of prokaryotes in the southern chernozem community with the introduction of green manure and CA ($p \leq 0.05$)

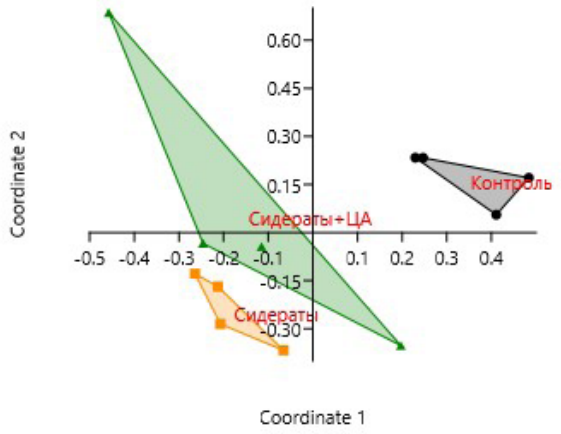


Рис. 2. Сравнение β-разнообразия метагеномов прокариот на уровне фил в черноземе южном с заделкой сидератов и ЦА на основе анализа главных компонент с применением метрики Брея – Кертиса

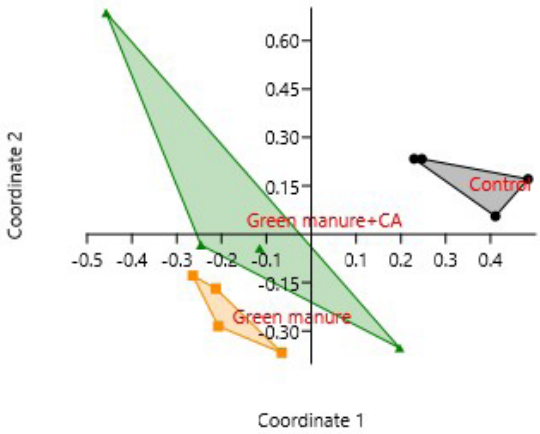


Fig. 2. Comparison of β-diversity of prokaryotic metagenomes on the phyla level in southern chernozem with the incorporation of green manure and CA based on Principal Component Analysis using the Bray – Curtis distance

Известно, что наличие в сообществе специфических нитрифицирующих микроорганизмов (*Nitrospira*) может играть важную роль в формировании эффективных сообществ, так как роль азотного обмена в каталитических почвенных системах недооценивается, поскольку, помимо конкуренции за источники углерода, следует учитывать высокую конкуренцию за свободный азот [28]. Наши исследования показали увеличение доли представителей филы *Nitrospirae* при заделке фацелии на 29,8 %, а в варианте совместного применения фацелии и ЦА – на 42,1 %.

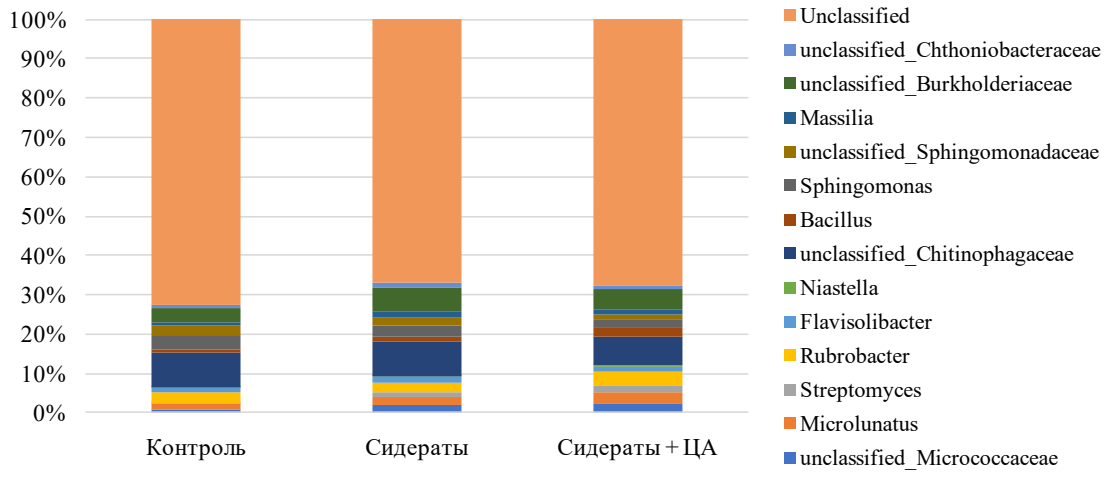


Рис. 3. Наиболее значимые рода прокариот в сообществе чернозема южного при внесении сидератов и ЦА ($p \leq 0,05$)

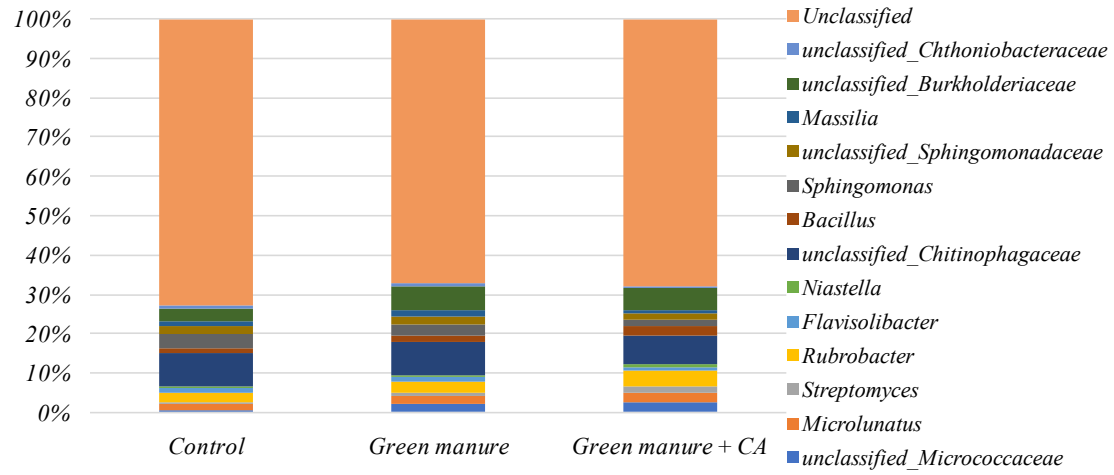


Fig. 3. The most significant genera of prokaryotes in the southern chernozem community with the introduction of green manure and CA ($p \leq 0.05$)

Представители филы *Chloroflexi* известны широким спектром метаболического разнообразия, их можно использовать в биотехнологических целях благодаря производству биоразлагаемых органических и питательных веществ, а также деструкции трудноразлагаемых молекул [29]. Доля представителей данной филы снижалась при заделке сидерата, а при предварительной обработке ЦА растительного субстрата увеличивалась.

Анализ бета-разнообразия бактериального сообщества на уровне фил выявил различия между разными вариантами. Анализ главных компонент показал значительное влияние как внесения растительного субстрата, так и ЦА на разнообразие метагеномов (рис. 2), так как отсутствует перекрытие между вариантами опыта и наблюдается дифференцировка в разные стороны плоскости.

По долям присутствия родов прокариот в сообществе чернозема южного при внесении сидерата и ЦА также были выявлены различия в сравнении с контрольным вариантом (рис. 3).

В результате внесения сидерата отдельно и совместно с ЦА увеличение доли unclassified *Micrococcacea* наблюдалось в 2,6 и 2,4 раза соответственно. Представители данного семейства известны способностью к деструкции труднодоступных органических соединений [30].

Род *Streptomyces* является наиболее распространенным и важным видом актиномицетов – хороший источник биологически активных соединений, антибиотиков и внеклеточных ферментов [31]; он реагировал существенным увеличением доли при заделке фацелии в 2,4 раза, а с ЦА – в 3,4 раза.

При внесении сидерата фацелии доля unclassified *Burkholderiaceae,* известных своей способностью разлагать ксенобиотики [32], увеличилась в 1,7 раза по сравнению с контролем.

Представители рода *Microlunatus* встречаются в различных почвах и имеют способность к эндофитному существованию в растениях, участвуют в метаболизме фосфатов [33; 34]. Внесение фацелии способствовало значимому увеличению их доли в 1,4 раза, при совместном применении с ЦА – 1,3 раза.

Таблица 1

Альфа-разнообразие прокариот в черноземе южном с внесением сидератов и микробных препаратов

Показатели	Контроль	Сидераты	Сидераты + ЦА
Количество филотипов	1887,5 ± 204,6	1985,0 ± 286,9	2030,5 ± 90,4
Количество ОТЕ родов	200,3 ± 14,3	211,3 ± 15,6	218,7 ± 12,8
Индекс Шеннона	6,62 ± 0,09	6,71 ± 0,05	6,66 ± 0,16
Выравненность	0,40 ± 0,04	0,41 ± 0,04	0,39 ± 0,06
Индекс Маргалефа	177,3 ± 14,8	185,9 ± 21,7	188,5 ± 6,1
Индекс Фишера α	406,5 ± 28,5	430,1 ± 43,7	430,9 ± 11,8
Chao-1	1901 ± 198	1980 ± 285	2044 ± 95

Table 1

Alpha diversity of prokaryotes in southern chernozem with the introduction of green manure and CA

Indicators	*Control*	*Green manure*	*Green manure + CA*
Number of phylotypes	*1887.5 ± 204.6*	*1985.0 ± 286.9*	*2030.5 ± 90.4*
Number of OTU genera	*200.3 ± 14.3*	*211.3 ± 15.6*	*218.7 ± 12.8*
Shannon index	*6.62 ± 0.09*	*6.71 ± 0.05*	*6.66 ± 0.16*
Evenness	*0.40 ± 0.04*	*0.41 ± 0.04*	*0.39 ± 0.06*
Margalef index	*177.3 ± 14.8*	*185.9 ± 21.7*	*188.5 ± 6.1*
Fisher index α	*406.5 ± 28.5*	*430.1 ± 43.7*	*430.9 ± 11.8*
Chao-1	*1901 ± 198*	*1980 ± 285*	*2044 ± 95*

Внесение субстрата способствовало снижению доли бактерий рода *Flavisolibacter*: незначительному при заделке фацелии и в 1,8 раза после ее инокуляции ЦА. Увеличение количества представителей рода *Niastella*, выполняющие важную роль в круговороте азота [35], в 3,0 раза при внесении фацелии, а после инокуляции в 5,8 раза. Представители рода *Massilia* известны способностью синтезировать множество вторичных метаболитов и ферментов, солюбилизации фосфора, деградации фенантрена [36]. Представленность данного рода значимо возрастала в 1,6 раза в варианте заделки фацелии.

Три ключевые целлюлазы (эндоглюканазы, экзоглюканазы, β-глюкозидазы), продуцируемые бактериями рода *Bacillus* требуются для полного разложения целлюлозы [37]. Внесение фацелии способствовало значимому увеличению доли данного рода в 1,2 и 1,5 раза при инокуляции ЦА. Доля рода *Sphingomonas* достоверно уменьшалась в результате внесения субстрата фацелии в 1,3 раза и при применении сидерата с ЦА в 2,8 раза. Многочисленные штаммы данного рода были выделены из сред, загрязненных поллютантами, где они способны использовать токсичные вещества в качестве питательных [38]. Бактерии семейства *Chthoniobacteraceae* реагировали увеличением доли в 1,2 раза при внесении растительного субстрата фацелии. Известно, что численность данного таксона положительно коррелирует с содержанием органического углерода и азота в почве [39; 40].

Одним из инструментов изучения видового разнообразия и изменения сообществ являются альфа- и бета-разнообразие, использующиеся как показатель сложности биологической системы, разнокачественности ее компонентов [41].

Оценка биоразнообразия микробиома чернозема южного показала наибольшее альфа-разнообразие при использовании фацелии: индекс Шеннона превышал контроль без обработки (таблица 1). В варианте с совместным внесением сидерата и ЦА количество филотипов было выше на 143 единицы по сравнению с контролем. Среди некоторых других показателей биоразнообразия также наблюдалась тенденция увеличения при внесении растительного субстрата и ЦА.

В результате проведенных исследований выявлено, что органический субстрат оказывал влияние на изменения в микробном сообществе. Установленные различия между вариантами по таксономическому составу микробиома почвенных образцов, выявленные методом главных компонент, который используется для снижения размерности данных с минимальной потерей объема информации, отображены на рис. 4.

Наиболее близко в пространстве расположены варианты с внесением растительного субстрата и предварительной обработкой ЦА. Также показано, что данные сообщества удалены от контрольного варианта.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате проведенного исследования установлено, что при внесении растительного субстрата увеличились доли агрономически значимых родов прокариот: *Microlunatus* и *Streptomyces* в 1,4 и 2,4 раза, *Niastella*, *Bacillus* – в 3,0 и 1,2 раза соответственно; более выраженное увеличение долей данных родов, до 5,8 раза в сравнении с черным паром, установлено при совместном применении растительного субстрата и ЦА. Доля фил *Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Nitrospirae*, *Chloroflexi*, *Actinobacteria* увеличивалась в результате применения сидерата отдельно и с ЦА.

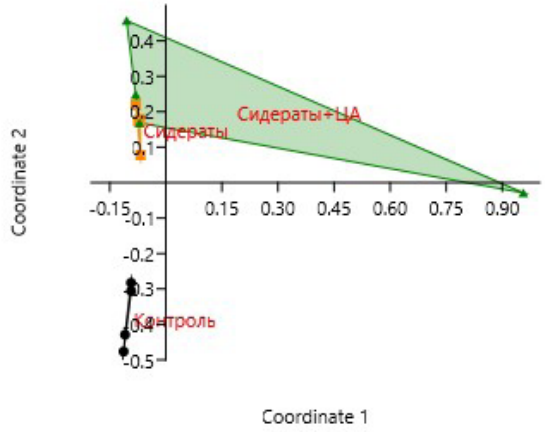


Рис. 4. Сравнение β-разнообразия метагеномов прокариот на уровне родов в черноземе южном с заделкой сидератов и ЦА на основе анализа главных компонент с применением метрики Брея – Кертиса

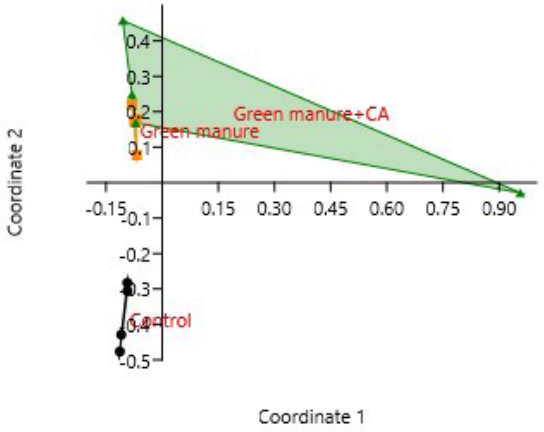


Fig. 4. Comparison of β-diversity of prokaryotic metagenomes on the genus level in southern chernozem with the incorporation of green manure and CA based on Principal Component Analysis using the Bray – Curtis distance

Выявлено, что внесение сидерата фацелии оказывает влияние на биоразнообразие микробиома, выражающееся в увеличении доли неопределенных родов, представителей семейств *Micrococcacea* и *Chthoniobacteraceae* в сравнении с контролем. Количество неатрибутируемых фил было меньше на 8,7–11,8 % при заделке сидерата фацелии и в варианте совместного применения растительного субстрата и ЦА. Анализ главных компонент показал, что органический субстрат и внесение целлюлозолитической ассоциации существенно влияет на изменения в микробном сообществе на уровне фил и родов. Выявлено, что среди показателей биоразнообразия наблюдалась тенденция увеличения при внесении растительного субстрата, наиболее выраженная в сочетании с ассоциацией.

Таким образом, полученные результаты исследования свидетельствуют о способности изучаемых технологий применения сидерата фацелии и целлюлозолитической ассоциации оказывать влияние на изменения таксономической структуры микробиома почвы на уровне родов и фил в условиях чернозема южного Степи Крыма.

Библиографический список

1. Csambalik L., Divéky-Ertsey A., Gál I., Madaras K., Sipos L., Székely G., Pusztai P. Sustainability perspectives of organic farming and plant factory systems – from divergences towards synergies // Horticulturae. 2023. Vol. 9, No. 8. Article number 895. DOI: 10.3390/horticulturae9080895.

2. Wan L. J., Tian Y., He M., Zheng Y. Q., Lyu Q., Xie R. J., Yi S. L. Effects of chemical fertilizer combined with organic fertilizer application on soil properties, citrus growth physiology, and yield // Agriculture. 2021. Vol. 11, No. 12. Article number 1207. DOI: 10.3390/agriculture11121207.

3. Куликова А. Х. Яшин Е. А., Черкасов Е. А., Волкова Е. С. Роль органических удобрений (соломы, сидератов, пожнивно-корневых остатков) в воспроизводстве и сохранении гумуса в почве // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4 (60). С. 53–58. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-4-53-58.

4. Tkachuk O., Alieksieiev O. Influence of siderates on the agro-ecological condition of the soil. Riga: Publishing House “Baltija Publishing”, 2023. 211 p.

5. Bill M., Chidamba L., Gokul J. K., Labuschagne N., Korsten L. Bacterial community dynamics and functional profiling of soils from conventional and organic cropping systems // Applied Soil Ecology. 2021. Vol. 157. Article number 103734. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103734.

6. Ma D., Yin L., Ju W., Li X., Liu X., Deng X., Wang S. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China // Field Crops Research. 2021. Vol. 266. Article number 108146. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108146.

7. Брескина Г. М., Чуян Н. А. Влияние приемов биологизации на урожайность сельскохозяйственных культур // Земледелие. 2020. №. 3. С. 30–33. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10308.

8. Никитин Д. А., Семенов М. В., Ксенофонтова Н. А., Тхакахова А. К., Русакова И. В., Лукин С. М. Влияние свежего органического вещества соломы на микробиологические показатели дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 2023. № 5. С. 640–653. DOI: 10.31857/S0032180X22601189.

9. Bhatia T., Bose D., Sharma D., Patel D. A Review on Cellulose Degrading Microbes and its Applications // Industrial Biotechnology. 2024. Vol. 20, No. 1. Pp. 26–39. DOI: 10.1089/ind.2023.0025.

10. Володина Т. И., Шлапакова М. В., Козлов Н. С. Влияние биопрепарата Байкал ЭМ на скорость разложения соломы различных культур // Приоритетные направления развития АПК и сельских территорий: сборник материалов конференции. Великие Луки, 2021. С. 80–83.

11. Каменева И. А., Мельничук Т. Н., Якубовская А. И., Гритчин М. В., Приходько А. В., Смирнова И. И., Зубоченко А. А., Еговцева А. Ю., Караева Н. В. Влияние целлюлозолитической ассоциации микроорганизмов на биоразнообразие чернозема южного // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2019. № 20 (183). С. 38–50.

12. Clagnan E., Costanzo M., Visca A., Di Gregorio L., Tabacchioni S., Colantoni E., Sevi F., Sbarra F., Sbarra F., Bindo A., Bindo A., Nolfi L., Nolfi L., Alessandra R., Rosaria M., Magarelli A., Trupo M., Ambrico A., Bevivino A. Culturomics-and metagenomics-based insights into the soil microbiome preservation and application for sustainable agriculture // Frontiers in Microbiology. 2024. Vol. 15. Article number 1473666. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1473666.

13. Erdal N. B., Hakkarainen M. Degradation of cellulose derivatives in laboratory, man-made, and natural environments // Biomacromolecules. 2022. Vol. 23, No. 7. Pp. 2713–2729. DOI: 10.1021/acs.biomac.2c00336.

14. Hou X.-Y., Qiao W.-T., Gu J.-D., Liu C.-Y., Hussain M. M., Du D.-L., Zhou Y., Wang Y.-F., Li Q. Reforestation of *Cunninghamia lanceolata* changes the relative abundances of important prokaryotic families in soil // Frontiers in Microbiology. 2024. Vol. 15. Article number 1312286. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1312286.

15. Sokol N. W., Slessarev E., Marschmann G. L., Nicolas A., Blazewicz S. J., Brodie E. L. et al. Life and death in the soil microbiome: how ecological processes influence biogeochemistry // Nature Reviews Microbiology. 2022. Vol. 20. No. 7. Pp. 415–430. DOI: 10.1038/s41579-022-00695-z.

16. Vargas L. K., da Costa P. B., Beneduzi A., Lisboa B. B., Passaglia L. M., Granada C. E. Soil fertility level is the main modulator of prokaryotic communities in a meta-analysis of 197 soil samples from the Americas and Europe // Applied Soil Ecology. 2023. Vol. 186. Article number 104811. DOI: 10.1016/j.apsoil.2023.104811.

17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Альянс, 2015. 315 с.

18. Андронов Е. Е., Пинаев А. Г., Першина Е. В. Выделение ДНК из образцов почвы. Санкт-Петербург: ПК «Объединение Вента», 2011. 27 с.

19. Bates S. T., Berg-Lyons J. G., Caporaso W. A., Walters W. A., Knight R., Fierer N. Examining the global distribution of dominant archaeal populations in soil // ISME Journal. 2010. No. 5. Pp. 908–917.

20. Callahan B. J., McMurdie P. J., Rosen M. J., Han A. W., Johnson A. J. A., Holmes S. P. "DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data" // Nature Methods. 2016. Vol. 13, No. 7. Pp. 581–583. DOI: 10.1038/nmeth.3869.

21. McMurdie P. J., Holmes S. Phyloseq: an R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data // PloS One. 2013. Vol. 8, No. 4. Article number e61217. DOI: 10.1371/journal.pone.0061217.

22. Wright E. S. Using decipher v2.0 to analyze big biological sequence data in R // The R Journal. 2016. Vol. 8, No. 1. Pp. 352–359.

23. Caporaso J. G., Kuczynski J., Stombaugh J., Bittinger K., Bushman F. D., Costello E. K., Fierer N., Pena A. G., Goodrich J. K., Gordon J. I., Huttley G. A., Kelley S. T., Knights D., Koenig J. E., Ley R. E., Lozupone C. A., McDonald D., Muegge B. D., Pirrung M., Reeder J., Sevinsky J. R., Turnbaugh P. J., Walters W. A., Widmann J., Yatsunenko T., Zaneveld J., Knight R. QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data // Nature Methods. 2010. Vol. 7, No. 5. Article number 335. DOI: 10.1038/nmeth.f.303.

24. Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4 (1). Pp. 2–9. DOI: 10.1016/j.bcp.2008.05.025.

25. Bao Y., Dolfing J., Guo Z., Chen R., Wu M., Li Z., et al. Important ecophysiological roles of non-dominant Actinobacteria in plant residue decomposition, especially in less fertile soils // Microbiome. 2021. Vol. 9. Article number 84. DOI: 10.1186/s40168-021-01032-x.

26. Kalam S., Basu A., Ahmad I., Sayyed R. Z., El-Enshasy H. A., Dailin D. J., Suriani N. L. Recent understanding of soil acidobacteria and their ecological significance: a critical review // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. Article number 580024. DOI: 10.3389/fmicb.2020.580024.

27. Gavande P. V., Basak A., Sen S., Lepcha K., Murmu N., Rai V., et al. Functional characterization of thermotolerant microbial consortium for lignocellulolytic enzymes with central role of Firmicutes in rice straw depolymerization // Scientific Reports. 2021. Vol. 11, No. 1. Article number 3032. DOI: 10.1038/s41598-021-82163-x.

28. Kimeklis A. K., Gladkov G. V., Orlova O. V., Afonin A. M., Gribchenko E. S., Aksenova T. S., Kichko A. A., Pinaev A. G., Andronov E. E. The succession of the cellulolytic microbial community from the soil during oat straw decomposition // International Journal of Molecular Sciences. 2023. Vol. 24, No. 7. Article number 6342. DOI: 10.3390/ijms24076342.

29. Freches A., Fradinho J. C. The biotechnological potential of the Chloroflexota phylum // Applied and Environmental Microbiology. 2024. Article number e01756–23. DOI: 10.1128/aem.01756-23.

30. Hui C. Jiang H., Liu B., Wei R., Zhang Y., Zhang Q., Zhao Y. Chitin degradation and the temporary response of bacterial chitinolytic communities to chitin amendment in soil under different fertilization regimes // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 705. Article number 136003. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136003.

31. Omar A. F., Abdelmageed A. H., Al-Turki A., Abdelhameid N. M., Sayyed R. Z., Rehan M. Exploring the plant growth-promotion of four Streptomyces strains from rhizosphere soil to enhance cucumber growth and yield // Plants. 2022. Vol. 11, No. 23. Article number 3316. DOI: 10.3390/plants11233316.

32. Chen J., Yang Y., Ke Y., Chen X., Jiang X., Chen Ch., Xie Sh. Sulfonamide-metabolizing microorganisms and mechanisms in antibiotic-contaminated wetland sediments revealed by stable isotope probing and metagenomics // Environment International. 2022. Vol. 165. Article number 107332. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107332.

33. Chen L., Wang C., Li Y., Xie X., Deng X., Chen H., Qiu G. Metabolisms of microlunatus phosphovorus NM-1 using glucose, glutamate, and aspartate as carbon sources for enhanced biological phosphorus removal // ACS ES&T Water. 2024. Vol. 4, No. 9. Pp. 4150–4164. DOI: 10.1021/acsestwater.4c00429.

34. Chen L., Chen H., Hu Z., Tian Y., Wang C., Xie P., et al. Carbon uptake bioenergetics of PAOs and GAOs in full-scale enhanced biological phosphorus removal systems // Water Research. 2022. Vol. 216. Article number 118258. DOI: 10.1016/j.watres.2022.118258.

35. Khmelevtsova L. E., Sazykin I. S., Azhogina T. N., Sazykina M. A. Influence of agricultural practices on bacterial community of cultivated soils // Agriculture. 2022. Vol. 12, No. 3. Article number 371. DOI: 10.3390/agriculture12030371.

36. Baek J. H., Baek W., Ruan W., Jung H. S., Lee S. C., Jeon C. O. Massilia soli sp. nov., isolated from soil // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2022. Vol. 72, No. 2. Article number 005227. DOI: 10.1099/ijsem.0.005227.

37. Dobrzyński J., Wróbel B., Górska E. B. Taxonomy, ecology, and cellulolytic properties of the genus bacillus and related genera // Agriculture. 2023. Vol. 13, No. 10. Article number 1979. DOI: 10.3390/agriculture13101979.

38. Choi I., Srinivasan S., Kim M. K. Sphingomonas immobilis sp. nov., and Sphingomonas natans sp. nov. bacteria isolated from soil // Archives of Microbiology. 2024. Vol. 206, No. 6. Article number 278. DOI: 10.1007/s00203-024-04006-3.

39. Sant'Anna G. S. L., de Carvalho L. A. L., da Silva M. S. R., Gonçalves J. V., Pinheiro D. G., Zonta E., Coelho I. Short-term effects of poultry litter and cattle manure on soil's chemical properties and bacterial community // Agronomy. 2024. Vol. 14 (7). Article number 1382. DOI: 10.3390/agronomy14071382.

40. Tang X., Zhong R., Jiang J., He L., Huang Z., Shi G., Wu H., Liu J., Xiong F., Han Z. Cassava/peanut intercropping improves soil quality via rhizospheric microbes increased available nitrogen contents // BMC Biotechnology. 2020. Vol. 20. Article number 13. DOI: 10.1186/s12896-020-00606-1.

41. Поляков В. И., Петров А. А., Абакумов Е. В., Кимеклис А. К., Гладков Г. В., Андронов Е. Е. Микробиом постагрогенных палевых почв центральной Якутии // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2024. № 119. С. 6–29. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-6-29.

Об авторах:

Анна Юрьевна Еговцева, научный сотрудник лаборатории экологии и физиологии микроорганизмов, 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 лаборатории экологии и физиологии микроорганизмов, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450. *E-mail: irina.kameneva.7@mail.ru*

Алла Ивановна Якубовская, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии и физиологии микроорганизмов, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0001-8434-2689, AuthorID 806301. *E-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru***.**

Сулейман Февзиевич Абдурашитов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, протеомики и биоинформатики, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0003-1631-4840, AuthorID 775657. *E-mail***:** *asuleyman83@rambler.ru*

Максим Владимирович Гритчин, научный сотрудник лаборатории экологии и физиологии микроорганизмов, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0009-0009-7398-602X, AuthorID 924496. *E-mail: maxim_gmv@mail.ru*

Ирина Игоревна Смирнова, младший научный сотрудник лаборатории экологии и физиологии микроорганизмов, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0009-0007-2684-3363, AuthorID 924495. *E-mail: irina_smirnova86@bk.ru*

References

1. Csambalik L., Divéky-Ertsey A., Gál I., Madaras K., Sipos L., Székely G., Pusztai P. Sustainability perspectives of organic farming and plant factory systems – from divergences towards synergies. *Horticulturae*. 2023; 9 (8): 895. DOI: 10.3390/horticulturae9080895.

2. Wan L. J., Tian Y., He M., Zheng Y. Q., Lyu Q., Xie R. J., Yi S. L. Effects of chemical fertilizer combined with organic fertilizer application on soil properties, citrus growth physiology, and yield. *Agriculture*. 2021; 11 (12): 1207. DOI: 10.3390/agriculture11121207.

3. Kulikova A. Kh. Yashin E. A., Cherkasov E. A., Volkova E. S. The role of organic fertilizers (straw, green manure, crop-root remains) in humus reproduction and preservation in the soil. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy.* 2022; 4 (60): 53–58. DOI: 10.18286/1816-4501-2022-4-53-58. (In Russ.)

4. Tkachuk O., Alieksieiev O. *Influence of siderates on the agro-ecological condition of the soil*. Riga: Publishing House "Baltija Publishing", 2023. 211 p.

5. Bill M., Chidamba L., Gokul J. K., Labuschagne N., Korsten L. Bacterial community dynamics and functional profiling of soils from conventional and organic cropping systems. *Applied Soil Ecology*. 2021; 157: 103734. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103734.

6. Ma D., Yin L., Ju W., Li X., Liu X., Deng X., Wang S. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research*. 2021; 266: 108146. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108146.

7. Breskina G. M., Chuyan N. A. Influence of biologization techniques on the yield of agricultural crops. *Zemledelie*. 2020; 3: 30–33. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10308. (In Russ.)

8. Nikitin D. A., Semenov M. V., Ksenofontova N. A., Tkhakakhova A. K., Rusakova I. V., Lukin S. M. Influence of fresh organic matter of straw on the microbiological parameters of sod-podzolic soil. *Soil Science*. 2023; 5: 640–653. DOI: 10.31857/S0032180X22601189. (In Russ.)

9. Bhatia T., Bose D., Sharma D., Patel D. A Review on Cellulose Degrading Microbes and its Applications. *Industrial Biotechnology*. 2024; 20 (1): 26–39. DOI: 10.1089/ind.2023.0025.

10. Volodina T. I., Shlapakova M. V., Kozlov N. S. The effect of Baikal EM biologics on the decomposition rate of straw of various crops. *Priority directions of development of the agro-industrial complex and rural areas: conference materials collection.* Velikie Luki, 2021. 80. (In Russ.)

11. Kameneva I. A., Melnichuk T. N., Yakubovskaya A. I., Gritchin M. V., Prikhodko A. V., Smirnova I. I., Zubochenko A. A., Egovtseva A. Yu., Karaeva N. V. Influence of cellulolytic association of microorganisms on biodiversity of southern chernozem. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2019; 20 (183): 38–50. (In Russ.)

12. Clagnan E., Costanzo M., Visca A., Di Gregorio L., Tabacchioni S., Colantoni E., Sevi F., Sbarra F., Sbarra F., Bindo A., Bindo A., Nolfi L., Nolfi L., Alessandra R., Rosaria M., Magarelli A., Trupo M., Ambrico A., Bevivino A. Culturomics-and metagenomics-based insights into the soil microbiome preservation and application for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*. 2024; 15: 1473666. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1473666.

13. Erdal N. B., Hakkarainen M. Degradation of cellulose derivatives in laboratory, man-made, and natural environments. *Biomacromolecules*. 2022; 23 (7): 2713–2729. DOI: 10.1021/acs.biomac.2c00336.

14. Hou X.-Y., Qiao W.-T., Gu J.-D., Liu C.-Y., Hussain M. M., Du D.-L., Zhou Y., Wang Y.-F., Li Q. Reforestation of *Cunninghamia lanceolata* changes the relative abundances of important prokaryotic families in soil. *Frontiers in Microbiology*. 2024; 15: 1312286. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1312286.

15. Sokol N. W., Slessarev E., Marschmann G. L. et al. Life and death in the soil microbiome: how ecological processes influence biogeochemistry. *Nature Reviews Microbiology*. 2022; 20: 415–430. DOI: 10.1038/s41579-022-00695-z.

16. Vargas L. K., da Costa P. B., Beneduzi A., Lisboa B. B., Passaglia L. M., Granada C. E. Soil fertility level is the main modulator of prokaryotic communities in a meta-analysis of 197 soil samples from the Americas and Europe. *Applied Soil Ecology*. 2023; 186: 104811. DOI: 10.1016/j.apsoil.2023.104811.

17. Dospekhov B. A. *Methodology of field experiment*. Moscow: Al'yans, 2015. 315 p. (In Russ.)

18. Andronov E. E., Pinaev A. G., Pershina E. V. *DNA extraction from soil samples.* Saint Petersburg: PK "Ob"edinenie Venta", 2011. 27 p. (In Russ.)

19. Bates S. T., Berg-Lyons J. G., Caporaso W. A., Walters W. A., Knight R., Fierer N. Examining the global distribution of dominant archaeal populations in soil. *ISME Journal*. 2010; 5: 908–917.

20. Callahan B. J., McMurdie P. J., Rosen M. J., Han A. W., Johnson A. J. A., Holmes S. P. DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nature Methods*. 2016; 13 (7): 581–583. DOI: 10.1038/nmeth.3869.

21. McMurdie P. J., Holmes S. Phyloseq: an R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data. *PloS One*. 2013; 8 (4): DOI: 10.1371/journal.pone.0061217.

22. Wright E. S. Using DECIPHER v2.0 to analyze big biological sequence data in R. *The R Journal*. 2016; 8 (1): 352–359.

23. Caporaso J. G., Kuczynski J., Stombaugh J., Bittinger K., Bushman F. D., Costello E. K., Fierer N., Pena A. G., Goodrich J. K., Gordon J. I., Huttley G. A., Kelley S. T., Knights D., Koenig J. E., Ley R. E., Lozupone C. A., McDonald D., Muegge B. D., Pirrung M., Reeder J., Sevinsky J. R., Turnbaugh P. J., Walters W. A., Widmann J., Yatsunenko T., Zaneveld J., Knight R. QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nature Methods*. 2010; 7 (5): 335. DOI: 10.1038/nmeth.f.303.

24. Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001; 4 (1): 9.

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

26. Kalam S., Basu A., Ahmad I., Sayyed R. Z., El-Enshasy H. A., Dailin D. J., Suriani N. L. Recent understanding of soil acidobacteria and their ecological significance: a critical review. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 580024. DOI: 10.3389/fmicb.2020.580024.

27. Gavande P. V., Basak A., Sen S., Lepcha K., Murmu N., Rai V., et al. Functional characterization of thermotolerant microbial consortium for lignocellulolytic enzymes with central role of Firmicutes in rice straw depolymerization. *Scientific Reports*. 2021; 11 (1): 3032. DOI: 10.1038/s41598-021-82163-x.

28. Kimeklis A. K., Gladkov G. V., Orlova O. V., Afonin A. M., Gribchenko E. S., Aksenova T. S., Kichko A. A., Pinaev A. G., Andronov E. E. The Succession of the Cellulolytic Microbial Community from the Soil during Oat Straw Decomposition. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023; 24 (7): 6342. DOI: 10.3390/ijms24076342.

29. Freches A., Fradinho J. C. The biotechnological potential of the *Chloroflexota* phylum. *Applied and Environmental Microbiology*. 2024: e01756–23. DOI: 10.1128/aem.01756-23.

30. Hui C. Jiang H., Liu B., Wei R., Zhang Y., Zhang Q., Zhao Y. Chitin degradation and the temporary response of bacterial chitinolytic communities to chitin amendment in soil under different fertilization regimes. *Science of the Total Environment*. 2020; 705: 136003. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136003.

31. Omar A. F., Abdelmageed A. H., Al-Turki A., Abdelhameid N. M., Sayyed R. Z., Rehan M. Exploring the plant growth-promotion of four *Streptomyces* strains from rhizosphere soil to enhance cucumber growth and yield. *Plants*. 2022; 11 (23): 3316. DOI: 10.3390/plants11233316.

32. Chen J. Yang Y., Ke Y., Chen X., Jiang X., Chen Ch., Xie Sh. Sulfonamide-metabolizing microorganisms and mechanisms in antibiotic-contaminated wetland sediments revealed by stable isotope probing and metagenomics. *Environment International*. 2022; 165: 107332. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107332.

33. Chen L., Wang C., Li Y., Xie X., Deng X., Chen H., Qiu G. Metabolisms of *Microlunatus phosphovorus* NM-1 Using Glucose, Glutamate, and Aspartate as Carbon Sources for Enhanced Biological Phosphorus Removal. *ACS ES&T Water*. 2024; 4 (9): 4150–4164. DOI: 10.1021/acsestwater.4c00429.

34. Chen L., Chen H., Hu Z., Tian Y., Wang C., Xie P. et all. Carbon uptake bioenergetics of PAOs and GAOs in full-scale enhanced biological phosphorus removal systems. *Water Research*. 2022; 216: 118258. DOI: 10.1016/j.watres.2022.118258.

35. Khmelevtsova L. E., Sazykin I. S., Azhogina T. N., Sazykina M. A. Influence of agricultural practices on bacterial community of cultivated soils. *Agriculture*. 2022; 12 (3): 371. DOI: 10.3390/agriculture12030371.

36. Baek J. H., Baek W., Ruan W., Jung H. S., Lee S. C., Jeon C. O. *Massilia* soli sp. nov., isolated from soil. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2022; 72 (2): 005227. DOI: 10.1099/ijsem.0.005227.

37. Dobrzyński J., Wróbel B., Górska E. B. Taxonomy, ecology, and cellulolytic properties of the genus *Bacillus* and related genera. *Agriculture*. 2023; 13 (10): 1979. DOI: 10.3390/agriculture13101979.

38. Choi I., Srinivasan S., Kim M. K. *Sphingomonas Immobilis* sp. nov., and *Sphingomonas natans* sp. nov. bacteria isolated from soil. *Archives of Microbiology*. 2024; 206 (6): 278. DOI: 10.1007/s00203-024-04006-3.

39. Sant'Anna G. S. L., de Carvalho L. A. L., da Silva M. S. R., Gonçalves J. V., Pinheiro D. G., Zonta E., Coelho I. Short-term effects of poultry litter and cattle manure on soil's chemical properties and bacterial community. *Agronomy*. 2024; 14 (7): 1382. DOI: 10.3390/agronomy14071382.

40. Tang X., Zhong R., Jiang J., He L., Huang Z., Shi G., Wu H., Liu J., Xiong F., Han Z. Cassava/peanut intercropping improves soil quality via rhizospheric microbes increased available nitrogen contents. *BMC Biotechnology*. 2020; 20: 13. DOI: 10.1186/s12896-020-00606-1.

41. Polyakov V. I., Petrov A. A., Abakumov E. V., Kimeklis A. K., Gladkov G. V., Andronov E. E. Soil microbiome of plaggic anthrosol and calcic cryosols in Central Yakutia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2024; 119: 6–29. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-119-6-29. (In Russ.)

Authors' information:

Anna Yu. Egovtseva, researcher of the laboratory of ecology and physiology of microorganisms, 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 of the Laboratory of ecology and physiology of microorganisms, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450. *E-mail: irina.kameneva.7@mail.ru*

Alla I. Yakubovskaya, candidate of biological sciences, leading researcher of the Laboratory of ecology and physiology of microorganisms, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0001-8434-2689, AuthorID 806301. *E-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru*

Suleyman F. Abdurashitov, candidate of biological sciences, senior researcher of the Laboratory of molecular genetics, proteomics and bioinformatics, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0003-1631-4840, AuthorID 775657. *E-mail***:** *asuleyman83@rambler.ru*

Maksim V. Gritchin, researcher of the laboratory of ecology and physiology of microorganisms, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0009-0009-7398-602X, AuthorID 924496. *E-mail: maxim_gm v@mail.ru*

Irina I. Smirnova, junior researcher of the laboratory of ecology and physiology of microorganisms, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0009-0007-2684-3363, AuthorID 924495. *E-mail: irina_smirnova86@bk.ru*

УДК 633.112.1 «321»:631.54(470.56)
Код ВАК 4.1.1
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1329-1339

Биологический прием борьбы с засоренностью посевов яровой твердой пшеницы в условиях степной зоны Южного Урала

В. Ю. Скороходов✉, **Н. А. Максютов, Н. А. Зенкова, Е. Н. Скороходова**
Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия
✉*E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru*

Аннотация. **Цель** – определить воздействие севооборотов с разным составом полевых культур и временем ротации на сорную растительность агроценоза твердой пшеницы на черноземах южных степной зоны Южного Урала. **Методы.** Исследования проводились на стационарном опытном участке отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН в течение 2023–2024 гг. Опыт включен в реестр Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами (аттестат длительного опыта № 172). Данные обрабатывались согласно методам Б. А. Доспехова. Объектом исследования послужили агрофитоценозы с яровой твердой пшеницей. **Результаты.** Обилие сорняков в посевах твердой пшеницы отмечается в последействии черного пара – 44,7 шт/м^2, озимых – 42,2 шт., сидерации – 19,5 шт., занятого (почвозащитного) – 6,5 шт. Численность сорняков при использовании минеральных удобрений в опыте с шестипольными севооборотами составила в последействии черного пара 72,5 шт., почвозащитного пара – 7,5 шт., сидерального – 27,5 шт., озимых – 48,0 шт. В двупольных севооборотах на нулевом (неудобренном) фоне отмечалось засорение посевов многолетней растительностью. **Научная новизна.** Данным образом отмечается воздействие предшественников в двуполье и бессменных посевах на плотность сорняков в агроценозах яровой твердой пшеницы в условиях степной зоны Южного Урала. Применение минеральных удобрений в севооборотах в условиях степной зоны Южного Урала способствует увеличению засоренности посевов яровой твердой пшеницы на удобренном фоне питания.

Ключевые слова: засоренность, твердая пшеница, севооборот, предшественники, минеральные удобрения, бессменный посев

Благодарности. Работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2025–2030 гг. ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (FNWZ-2022-0014).

Для цитирования: Скороходов В. Ю., Максютов Н. А., Зенкова Н. А., Скороходова Е. Н. Биологический прием борьбы с засоренностью посевов яровой твердой пшеницы в условиях степной зоны южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1329–1339. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1329-1339.

Дата поступления статьи: 13.05.2025, ***дата рецензирования:*** 10.06.2025, ***дата принятия:*** 14.07.2025.

© Skorokhodov V. Yu., Maksyutov N. A., Zenkova N. A., Skorokhodova E. N., 2025

Biological method for controlling the contamination of spring durum wheat crops in the steppe zone of the Southern Urals

V. Yu. Skorokhodov✉, **N. A. Maksyutov, N. A. Zenkova, E. N. Skorokhodova**
Federal Scientific Center for Biological Systems and agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian
✉*E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru*

Abstract. **The purpose** is to determine the impact of crop rotations with different compositions of field crops and rotation times on weed vegetation of the durum wheat agrocenosis on the chernozems of the southern steppe zone of the Southern Urals. **Methods.** The studies were conducted at the stationary experimental plot of the Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center of Botanical Gardening of the Russian Academy of Sciences during 2023–2024. The experiment is included in the register of the Geographic network of experiments with fertilizers and other agrochemicals (Certificate of long-term experiment No. 172). The data were processed according to the methods of B. A. Dospekhov. The object of the study was agrophytocenoses with spring durum wheat. **Results.** The total number of weeds in the variant of cultivation of durum wheat after black fallow was 44.7 pcs. per 1 m^2, after soil-protecting fallow – 6.5 pcs., after green manure – 19.5 pcs., after winter crops – 42.2 pcs. The number of weeds in durum wheat crops with the use of mineral fertilizers in the experiment with six-field crop rotations was as a result of black fallow –- 72.5 pcs., after soil-protecting fallow – 7.5 pcs., after green manure – 27.5 pcs., after winter crops – 48.0 pcs. The durum wheat crops cultivated in two-field system are most infested with perennial weeds compared to the background without the use of mineral fertilizers. **Scientific novelty.** In this way, the effect of predecessors in two-field and permanent crops on the density of weeds in agrocenoses of spring durum wheat in the conditions of the steppe zone of the Southern Urals is noted. The use of mineral fertilizers in crop rotations in the conditions of the steppe zone of the Southern Urals contributes to an increase in weed infestation of spring durum wheat crops on a fertilized nutrition background.

Keywords: weed infestation, durum wheat, crop rotation, predecessors, mineral fertilizers, continuous sowing

Acknowledgements. The study was carried out in accordance with the research plan for 2025–2030 of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Biological Systems and agricultural technologies of the Russian Academy of Sciences” (FNWZ-2022-0014).

For citation: Skorokhodov V. Yu., Maksyutov N. A., Zenkova N. A., Skorokhodova E. N. Biological method of controlling the contamination of spring durum wheat crops in the steppe zone of the southern Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1329–1339. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1329-1339. (In Russ.)

Date of paper submission: 13.05.2025, ***date of review:*** 10.06.2025, ***date of acceptance:*** 14.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Среди факторов, положительно влияющих на увеличение урожайности яровой твердой пшеницы, поддержание и повышение почвенного плодородия, достойное место занимают севообороты [1].

В настоящее время уделяется внимание оптимизации фитосанитарной обстановки за счет агротехнических мероприятий, включающих применение средств химической защиты растений и методов биологической направленности, в том числе научно обоснованные севообороты [2].

Увеличение сегетальной флоры в агроценозах приводит к истощению почвы и снижению валовых сборов зерна культуры [3].

В регионах с засушливостью климата засоренность посевов определяется метеоусловиями вегетационного периода [4].

Применение минеральных удобрений способствует увеличению сорной флоры [5].

Применение севооборотов способствует эффективному регулированию засоренности посевов, снижая производственные затраты и себестоимость продукции [6].

Несовпадение циклов развития культурных и сорных растений приводит к эффективному действию севооборотов в снижении засоренности посевов [7].

© Скороходов В. Ю., Максютов Н. А., Зенкова Н. А., Скороходова Е. Н., 2025

Эффективность минеральных удобрений уменьшается ввиду высокой засоренности посевов и увеличения массы сорняков в агрофитоценозах. В совокупности с высоким азотным фоном, повышенной плотностью и влажностью верхнего слоя отмечается вспышка засоренности посевов твердой пшеницы [8].

Несовпадение циклов роста и развития возделываемых культур и сорной флоры подчеркивает эффективное действие севооборотов в снижении засоренности посевных площадей [9].

С увеличением засоренности в посевах снижается эффективность применения минеральных удобрений. Высокий азотный фон, повышенная плотность и влажность верхнего слоя почвы способствуют вспышке засоренности посевов яровой твердой пшеницы малолетней сорной растительностью [10].

Сорная флора хорошо подавляется в поле занятого пара, особенно почвозащитного с летним посевом парозанимающей культуры суданской травы. В первой половине лета в поле с почвозащитным паром борьба с засоренностью ведется агротехническими способами с механическим подрезанием сорняков, во второй – за счет биологического подавления в результате межвидовой конкуренции с парозанимающей быстрорастущей культуры суданской травы. При использовании занятых почвозащитных паров отмечается увеличение многолетней корнеотпрысковой сорной растительности [11].

Выращивание полевых культур в севообороте создает эффективные предпосылки для улучшения гумусного состояния почвы и позитивно влияет на рост и валовый сбор сельскохозяйственной продукции [12].

Учеными Омского аграрного научного центра установлено, что интенсивная агрономическая технология с вовлечением средств защиты растений и применения минеральных удобрений повышает урожайность зерна и его технологические параметры на 30–35 %, предшественники – на 20–25 %, метеорологические условия – на 18–20 %, обработка почвы в севообороте – на 10–12 % [13].

Постоянный мониторинг посевов с выявлением доминирующих сорных растений, болезней и вредителей – является фундаментом защитных мероприятий [14].

Сегетальная флора в посевах сельскохозяйственных культур истребляется механическими обработками и конкуренцией культур севооборота. Координирование биологических и механических способов снижает применение химической обработки в системе комплексной защиты растений [15].

Применение в севооборотах различных видов пара с разнообразными агротехнологическими приемами оказывают последействие на возделывание по ним культур, заключающееся в снижении в посевах плотности стояния однолетней и многолетней сегетальной растительности. Севообороты способствуют фитосанитарному оздоровлению культурных посевов и, ограничивая применения гербицидов, снижают экологическую нагрузку на почву и получаемый урожай [16].

Важное направление сохранения и воспроизводства плодородия почвы, стабилизации урожайности богарных культур в условиях ограниченного ресурсного обеспечения сельского хозяйства связано с применением эколого-биологических факторов [17].

Занятые сидеральные пары в севообороте препятствуют снижению почвенного плодородия и реализуют генетический потенциал сельскохозяйственных культур. Изучение применения удобрений в севооборотах позволяет систематизировать информацию о влиянии их длительного применения на продуктивность возделываемых культур, проследить изменения агрохимических свойств почвы и экологию [18].

Методология и методы исследования (Methods)

Цель исследования – определить воздействие севооборотов с разным составом полевых культур и временем ротации на сорную растительность агроценоза твердой пшеницы на черноземах южных степной зоны Южного Урала.

Опыт включен в реестр Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами (аттестат длительного опыта № 172).

Исследования проводили на опытном поле ФГБНУ ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН в 2023–2024 гг. Координаты участка: 51.775125° с. ш. 55.306547 в. д. Объект исследования – агрофитоценоз твердой пшеницы.

Почва опытного участка – чернозем южный карбонатный среднемощный тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном (0–30 см) слое почвы 3,2–4,0 %. Содержание доступных для растений форм фосфора составляет 1,5–2,5 мг, обменного калия – 30–38 мг / 100 г почвы, общего азота – 0,20–0,30 %, реакция почвенной среды (pH) нейтральная (7,0) – слабощелочная (8,1).

Годовое количество выпавших осадков (среднемноголетние) составляет 250 мм. Низкую обеспеченность растений влагой подтверждает гидротермический коэффициент (по Г. Т Селянинову) – 0,70. Почва промерзает в зимний период на глубину 60–80 см.

В опытах возделывался сорт твердой пшеницы Оренбургская 21. Схема по предшественникам:

I. Шестиполье: 1) пар черный кулисный, 2) пар почвозащитный, 3) пар сидеральный, 4) озимые (рожь и пшеница).

II. Двуполье: 1) мягкая пшеница, 2) кукуруза, 3) ячмень, 4) горох, 5) просо.

III. Бессменный посев твердой пшеницы.

Таблица 1

Метеоусловия вегетационного периода

Месяц вегетационного периода	Температура, °С				Осадки, мм		ГТК*за месяц в 2024 г.
	Среднесуточная		Максимум	Минимум	В 2024 г.	Среднемноголетняя	
	В 2024 г.	Среднемноголетняя					
Май	12,3	15,3	30	–3	39	27	1,02
Июнь	22,4	20,5	38	9	71	37	1,05
Июль	22,0	22,1	35	9	53	39	0,78
Август	19,0	20,5	33	9	41	32	0,70
Среднее	18,9	19,6	38	-3	204	128	0,88

*Примечание. * ГТК – гидротермический коэффициент.*

Table 1

Meteorological conditions of the growing season

Month of the growing season	*Temperature, °C*				*Precipitation, mm*		*HTC* per month in 2024*
	Daily average		*Maximum*	*Minimum*	*In 2024*	*Average annual*	
	In 2024	*Average annual*					
May	*12.3*	*15.3*	*30*	*–3*	*39*	*27*	*1.02*
June	*22.4*	*20.5*	*38*	*9*	*71*	*37*	*1.05*
July	*22.0*	*22.1*	*35*	*9*	*53*	*39*	*0.78*
August	*19.0*	*20.5*	*33*	*9*	*41*	*32*	*0.70*
Average	*18.9*	*19.6*	*38*	*-3*	*204*	*128*	*0.88*

*Note. * HTC – hydro thermal coefficient.*

Численность сорняков определялась в кущение культуры при наложении металлических рамок размером 0,25 м по четырем повторениям и двум фонам почвенного питания.

Размер делянок составляет 7,2 × 90 м, из них 7,2 × 30 м – удобренный ($N_{40}P_{80}K_{40}$) фон, 7,2 × 60 м – неудобренный фон.

За вегетационный период, по данным Оренбургского гидрометцентра, выпало 204 мм осадков (превышение среднемноголетней нормы на 76 мм). Количество осадков в мае составило 39 мм (норма – 27 мм), в июне – 71 мм (норма – 37 мм), в июле – 53 мм (норма – 39 мм), в августе – 41 мм (норма – 32 мм). Холодная погода мая резко поменялась на очень жаркую (в I–II декадах июня). В дневные часы температура воздуха часто поднималась до 38 °С. Значительный перепад температуры воздуха от очень высоких до низких значений создавал стрессовую ситуацию для роста и развития сельскохозяйственных растений (таблица 1).

Результаты (Results)

В 2024 году сложились благоприятные условия для роста и развития сегетальной сорной растительности. В шестипольных севооборотах яровая твердая пшеница расположена первой культурой после паров и второй культурой в севообороте с озимыми. Общее количество сорняков (включающих однолетники и многолетники) составило в варианте возделывания твердой пшеницы по черному пару 44,7 шт. на 1 м^2, по почвозащитному – 6,5 шт., по сидеральному – 19,5 шт., по озимым – 42,2 шт. (таблица 2).

Наибольшее количество сорняков в посевах твердой пшеницы – при возделывании в шестиполье на удобренном фоне питания. Количество сорняков в посевах твердой пшеницы при применении минеральных удобрений в опыте с шестипольными севооборотами составило в последействии черного пара 72,5 шт., почвозащитного пара – 7,5 шт., сидерального – 27,5 шт., озимых – 48,0 шт. При выращивании культуры в последействии черного пара с использованием минеральных удобрений увеличивается численность сорняков в 4,3 раза (46,0 %). В шестиполье по почвозащитному пару отмечалось снижение численности сорняков в агроценозе.

Агротехнология, применяемая в шестипольном севообороте с летним посевом суданской травы в занятом почвозащитном пару, способствует снижению засоренности однолетней и многолетней растительностью. В борьбе с засоренностью посевов эффективность черного пара ниже в сравнении с последействием сидерального и почвозащитного. В двуполье отмечается повышенная засоренность посевов, особенно в вариантах по кукурузе и гороху, и составляет 97,2 и 81,0 шт/м^2 соответственно.

При бессменном возделывании твердой пшеницы засоренность посевов в период кущения культуры составила на неудобренном фоне 22 шт/м^2, на удобренном – 33,5 шт/м^2.

На рис. 1 по засоренности посевов яровой твердой пшеницы однолетними сорняками наглядно видно превалирование их количества на фоне применения минеральных удобрений, особенно в двуполье с чередованием с кукурузой на силос – 166,5 шт., горохом – 113,0 шт. на 1 м^2.

Таблица 2

Засоренность посевов яровой твердой пшеницы в фазе кущения в зависимости от предшественника севооборотов и бессменного посева в 2023–2024 гг., шт/м²

Севооборот, посев	Предшественник	Фон питания		Количество сорняков по двум фонам питания
		Удобренный	Неудобренный	
Шестипольный	Пар черный	72,5	17,0	44,7
	Пар почвозащитный	7,5	5,5	6,5
	Пар сидеральный	27,5	11,5	19,5
	Озимые	48,0	36,5	42,2
Двупольный	Мягкая пшеница	75,5	10,0	42,7
	Кукуруза на силос	166,5	28,0	97,2
	Ячмень	60,5	29,5	45,0
	Просо	31,0	20,0	25,5
	Горох	113,0	49,0	81,0
Бессменный	Твердая пшеница	33,5	22,0	27,7
$НСР_{05}A = 24,07$; $НСР_{05}B = 53,83$				

Table 2

Contamination of spring durum wheat crops in the tillering phase, depending on the predecessor of crop rotations and permanent sowing in 2023–2024, pcs/m²

Crop rotation, sowing	*Predecessor*	*Nutrition background*		*Number of weeds in two nutritional backgrounds*
		Fertilized	*Unfertilized*	
Six-field	*Steam black*	*72.5*	*17.0*	*44.7*
	Soil conservation steam	*7.5*	*5.5*	*6.5*
	Green manure steam	*27.5*	*11.5*	*19.5*
	Winter crops	*48.0*	*36.5*	*42.2*
Double-field	*Soft wheat*	*75.5*	*10.0*	*42.7*
	Corn on the cob	*166.5*	*28.0*	*97.2*
	Barley	*60.5*	*29.5*	*45.0*
	Millet	*31.0*	*20.0*	*25.5*
	Peas	*113.0*	*49.0*	*81.0*
Permanent	*Hard wheat*	*33.5*	*22.0*	*27.7*
$LSD_{05}A = 24.07$; $LSD_{05}B = 53.83$				

На рис. 2 отмечается большее количество сорняков на неудобренном фоне питания, засоренность многолетней растительностью там выше, чем на удобренном фоне. Особенно она высока в варианте твердой пшеницы по просу (10,0 шт/м²) и ячменю (5,5 шт/м²).

При возделывании яровой твердой пшеницы в шестипольных севооборотах в ее посевах в период кущения отмечается отсутствие многолетней сорной растительности. Посевы твердой пшеницы, возделываемые в двуполье, наиболее засорены многолетними на фоне без применения минеральных удобрений. Бессменные посевы яровой твердой пшеницы по уровню засоренности многолетними сорняками соответствуют возделыванию их в шестипольных севооборотах.

С применением гербицидов сильно подавляются отдельные группы почвенных микроорганизмов, в этой связи запускается череда взаимосвязанных процессов, способных снижать почвенное плодородие в несколько раз. При перестройке почвенного ценоза накапливаются патогенные микроорганизмы, в случае, когда на них не действуют применяемые гербициды. Увеличение использования гербицидов в агрофитоценозах в дальнейшем будет усугубляться.

Гумус определялся по методике Тюрина в модификации В. В. Понамаревой и Т. А. Плотниковой, количественное содержание общего гумуса – по ГОСТ 26213-91.

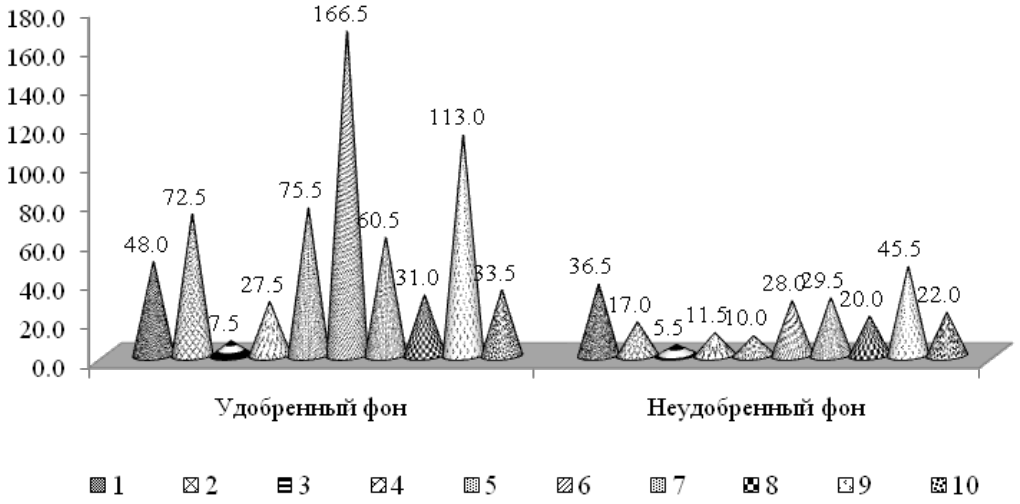


Рис. 1. Засоренность яровой твердой пшеницы однолетними сорняками:
1 – озимые культуры (рожь, пшеница) по черному пару; 2 – черный пар под твердую пшеницу; 3 – почвозащитный пар; 4 – сидеральный пар; 5 – яровая мягкая пшеница (двуполье); 6 – кукуруза на силос (двуполье); 7 – ячмень (двуполье); 8 – просо (двуполье); 9 – горох (двуполье); 10 – твердая пшеница (бессменный посев)

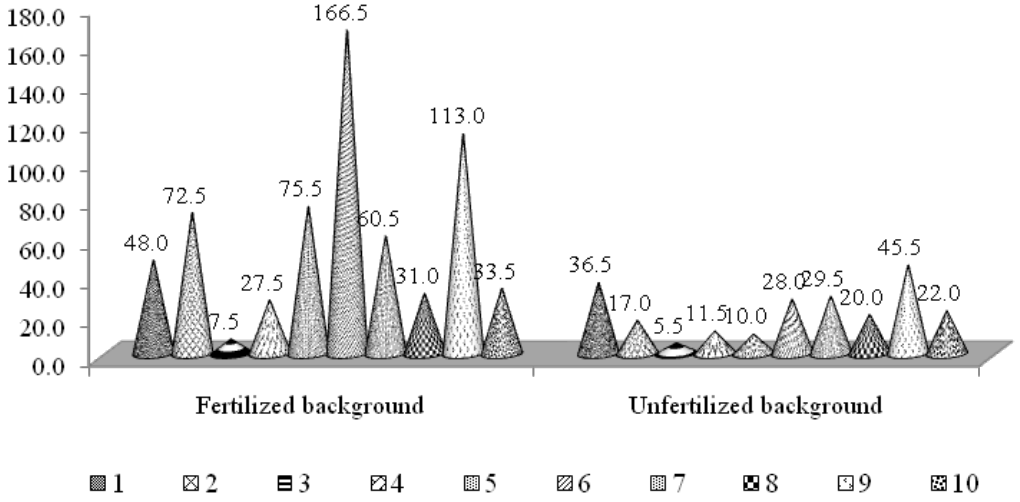


Fig. 1. Infestation of spring durum wheat with annual weeds:
1 – winter crops (rye, wheat) after black fallow; 2 – black fallow under durum wheat; 3 – soil-protecting fallow; 4 – green manure fallow; 5 – spring soft wheat (two-field system); 6 – corn for silage (two-field system); 7 – barley (two-field system); 8 – millet (two-field system); 9 – peas (two-field system); 10 – durum wheat (permanent sowing)

Среди факторов, наиболее эффективно влияющих на содержание питательных веществ и гумуса в почвах, значимое место отводится севообороту.

Правильно подобранное чередование культур и системы удобрений регулируется количеством и качеством растительных остатков после уборки и биомассой сидеральных культур, поддерживающих баланс органического вещества в почве. Процентное содержание гумуса в опытах на неудобренном фоне питания в паровых полях севооборотов составило от 3,11 до 3,79 %, на удобренном фоне – от 3,34 до 3,82 %. В севообороте с сидеральным паром отмечается наибольшее содержание гумуса как на удобренном (3,82 %), так и неудобренном (3,79 %) фонах питания, что объяснятся положительным влиянием применяемой агротехники и сидеральных культур, используемых в качестве зеленых удобрений. Совместное применение минеральных удобрений и зеленой запахиваемой массы в сидеральном севообороте приводит к положительному эффекту (превышение содержания гумуса на удобренном фоне над неудобренным составляет 0,3 %). Агротехнологии, применяемые в варианте почвозащитного севооборота, повышают содержание гумуса до 0,40 %, а внесение минеральных удобрений повышает содержание $C_{орг}$ дополнительно на 0,04 % (до 3,74 %).

В черном пару шестипольного севооборота содержание гумуса – 3,41 %. Реакция почвенного раствора (pH) по вариантам опыта с различными видами паров имеет нейтральные и слабощелочные значения.

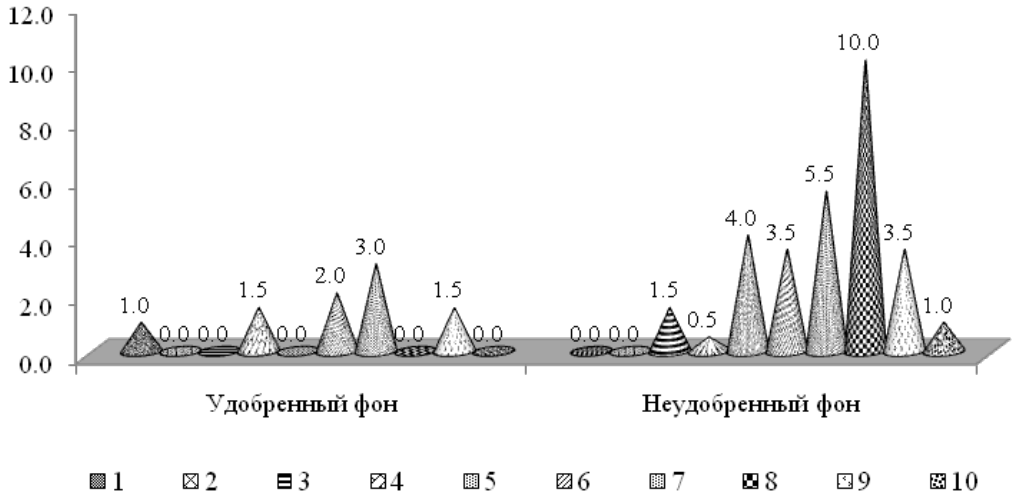


Рис. 2. Засоренность яровой твердой пшеницы многолетними сорняками

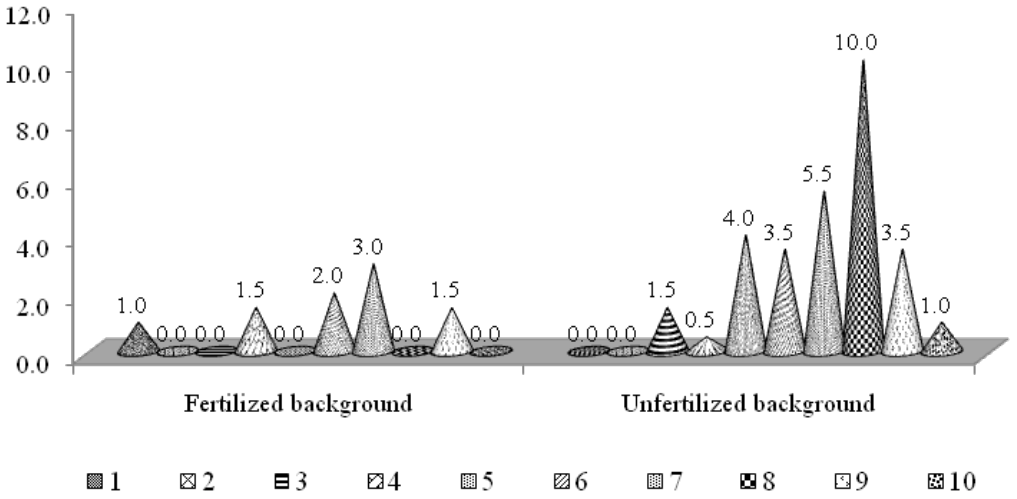


Fig. 2. Infestation of spring hard wheat with perennial weeds

На двух фонах pH по вариантам опыта составляет 7,3–7,6 моль/л. При применении минеральных удобрений в варианте шестипольного севооборота с черным паром отмечается снижение кислотности почвы до значения 7,3 моль/л.

Определение целлюлозолитической почвенной активности применяется при интегральной совокупной оценке последействия и влияния токсикантов на уровень экологического последействия для окружающей среды ввиду интенсификации зернового производства.

Целлюлозоразлагающая активность почвенных микроорганизмов в двупольном севообороте с кукурузой при применении минеральных удобрений – 39,3 %. В многополье под посевом культуры по озимым и кукурузе на силос отмечалась сильная целлюлозоразлагающая активность почвы на фоне без удобрений (55,3 и 52,3 % соответственно), что объясняется положительным последействием (озимых и кукурузы), созданием более благоприятных почвенных условий за счет накопления органических и минеральных веществ и интенсивно разлагающими их микроорганизмами в почве. В шести- и двупольных севооборотах по сидерации и ячменю отмечалось снижение почвенной биоактивности на неудобренном фоне.

Выращивание культуры в севооборотах по озимым культурам и гороху сопровождалось средней активностью почвы при применении минеральных удобрений. На удобренном фоне питания средняя активность почвенных микроорганизмов составила 37,7 и 37,9 % при температуре почвы 21,7 и 22,2 °С. В остальных вариантах опыта под посевом яровой твердой пшеницы отмечалась слабая активность почвенных микроорганизмов на двух фонах питания при температуре почвы 21,3–23,1 °С. Температура почвы значительно влияла на жизнедеятельность микрофлоры. При выращивании яровой твердой пшеницы наиболее эффективными являются варианты: шестипольный севооборот с озимыми культурами и двуполье с кукурузой на силос.

В засушливых условиях отмечается снижение биологической активности почвы по всем вариантам возделывания культуры. В последействии си-

дерального пара биоактивность почвы составила 12,6 %. В севообороте с черным паром доля влияния фактора (биоактивности почвы) составила 51,62 % при положительном коэффициенте корреляции $r = 0,72$ и уровне значимости $p = 0,0005$.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Использование в севообороте чистых паров является эффективным приемом в борьбе с многолетней сорной растительностью [19]. Замена чистых паров занятыми вызывает изменение соотношения сорняков в агроценозе, и в этой связи наблюдается нарастание многолетних сорняков [20; 21].

Таким образом, отмечается влияние предшественников в двупольных севооборотах и монопосевах культуры на засоренность посевов яровой твердой пшеницы. Особенно данное влияние увеличивается при возделывании культуры на фоне применения минеральных удобрений. Агротехнологии, применяемые при обработке различных видов пара, приводят к снижению засоренности посевов в последействии разными группами сорняков. Применение минеральных удобрений в севооборотах способствует увеличению засоренности на удобренном фоне питания.

Величина урожайности полевых культур имеет зависимость не только от общей засоренности посевов, но и от характера размещения сорной растительности на поле. Установлено, что чем больше плотность стояния сорняков, тем в равных условиях выше вредоносность, сопутствующая потере урожайности основной культуры. Вместе с потерей урожайности от сорняков снижается качество получаемой продукции. Возделывание сельскохозяйственных культур в севообороте с различными культурами и видами паров способствует биологическому регулированию засоренности посевов при несовпадении биологических циклов культурных и сорных растений.

Сорная флора севооборотов в большинстве случаев изучается по видовому составу и количественной численности сорняков для сопоставления прогнозов распространения наиболее вредоносных видов и коррекции защитных агротехнических мероприятий. Меньше внимания уделяется анализу пространственной неравномерности засоренности севооборотов, создающейся при влиянии многих факторов длительное время. Самые значимые факторы – это почвенные (в почве сосредоточен громадный запас семян сорняков и вегетативных частей размножения сорняков), метеоусловия особенности биологии возделываемых культур и технологии их возделывания. Сорные растения и их семена в почве по-разному реагируют на нарастающее тепло, влагу и питательные вещества, что является следствием разного содержания элементов питания и кислотности почвы при длительном применении минеральных удобрений.

Ценность проведенных нами исследований заключается в том, что они выполнены в рамках многолетнего стационарного опыта, заложенного в 1988 году в Оренбургском районе Оренбургской области. В рамках сегодняшнего дня стационарный участок – единственный действующий на территории Оренбуржья, и информация, полученная более чем за 30 лет, является уникальной, представляет научный интерес в области земледелия, почвоведения, растениеводства. Данные эксперимента позволяют регулировать засоренность посевов культур в севооборотах, а также урожайность и почвенное плодородие.

Библиографический список

1. Каипов Я. З., Кираев Р. С., Султангазин З. Р. Влияние биологизированного севооборота на содержание гумуса и подвижных форм азота в черноземе обыкновенном // Агрохимический вестник. 2024. № 4. С. 22–27. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-4-005.

2. Скороходов В. Ю. Биологический фактор воспроизводства гумуса и поддержания плодородия почвы в условиях степной зоны Южного Урала // Плодородие. 2021. № 2 (119). С. 55–59. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.15.

3. Кафтан Ю. В. Влияние засоренности посевов ячменя и минерального питания на урожайность в центральной зоне Оренбургской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 104–108. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-90-4-104-108.

4. Кафтан Ю. В. Влияние предшественников и минеральных удобрений на засоренность посевов яровой мягкой пшеницы в Оренбургском Предуралье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3 (83). С. 34–38. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-34-38.

5. Скороходов В. Ю., Зоров А. А. Особенности влияния парового поля на формирование агроценоза и продуктивность яровой пшеницы в полевых севооборотах региона с неустойчивым увлажнением // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 3–8. DOI: 10.31857/S250026272105001X.

6. Романина Я. С., Труфанов А. М., Воронин А. Н., Щукин С. В. Влияние агротехнологий на фитосанитарное состояние посевов и продуктивность сельскохозяйственных культур // Вестник КрасГАУ. 2024. № 3 (204). С. 59–68. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-3-59-68.

7. Шулепова О. В., Фисунов Н. В., Санникова Н. В. Анализ видового и количественного состава сорных растений в пшеничном агрофитоценозе в условиях Зауралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 3 (95). С. 56–60.

8. Шпанев А. М., Фесенко М. А. Влияние минерального питания на фитосанитарную обстановку в посевах ярового рапса на Северо-Западе РФ // Агрохимия. 2022. № 8. С. 44–50.

9. Иванова С. С., Труфанов А. М., Щукин С. В., Казнин Р. Е. Засоренность агрофитоценозов при разных технологиях возделывания в нечерноземной зоне России // Вестник АПК Верхневолжья. 2024. № 2 (66). С. 5–14.

10. Митрофанов Д. В. Сравнительная оценка урожайности зерновых культур в зависимости от лимитирующих факторов в условиях почвозащитного земледелия // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 07. С. 870–884. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-870-884.

11. Swapnavahini K., Bora M., Jyothi N. B., Bora A., Ramesh T. Studies on effects of nitrogen and phosphorus on wheat crop growth and production // Journal of Pharmaceutical Negative Results. 2022. Vol. 13. Pp. 6084–6089. DOI: 10.47750/pnr.2022.13.S10.752.

12. Юшкевич Л. В., Ющенко Д. Н., Щитов А. Г., Кашинская С. П. Сравнительная агротехнологическая оценка возделывания яровой пшеницы в южной лесостепи Западной Сибири // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 03. С. 348–357. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-348-357.

13. Ding J., Li F., Le T., et al. Tillage and seeding strategies for wheat optimizing production in harvested rice fields with high soil moisture // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. Article number 119. DOI: 10.1038/S41598-020-80256-7.

14. Савенкова Е. В., Мистратова Н. А., Ступницкий Д. Н. Фитосанитарный анализ севооборота с использованием принципов органического земледелия в условиях Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2024. № 10 (211). С. 68–73. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-10-68-73.

15. Скороходов В. Ю. Влияние погодных факторов вегетации и фона питания на накопление нитратного азота в почве под сельскохозяйственными культурами на черноземах Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101, № 2. С. 176–185.

16. Комарова О. П., Козенко К. Ю., Земляницина С. В. Биологическая защита растений – одно из основных направлений снижения пестицидной нагрузки на агроценозы // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 9-1 (111). С. 98–102.

17. Бутадаев А. П., Цыдыпов Б. С., Соболев В. А., Гребенщикова Т. В., Цыбиков Б. Б. Продуктивность полевых севооборотов в степной зоне Республики Бурятия // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2024. № 1. С. 158–164. DOI: 10.34655/bgsha.2024.74.1.019.

18. Тимошинов Р. В., Кумаева Е. Ж., Марчук Л. Е., Дубков А. А., Клыков А. Г. Эффективность длительного применения различных систем удобрений в севообороте // Вестник КрасГАУ. 2023. № 4 (193). С. 38–43. DOI: 10.36718/1819-4036-23023-4-38-43.

19. Лунева Н. Н. Выделение уровней фитосанитарного районирования территории в отношениях сорных растений на примере Ленинградской области // Вестник защиты растений. 2020. Т. 103, № 2. С. 119–133.

20. Шпанев А. М., Фесенко М. А., Смук В. В. Эффективность применения минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в полевом севообороте на Северо-Западе РФ // Агрохимия. 2021. № 1. С. 12–22.

21. Жижин В. Н., Глинушкин А. П., Зоров А. А., Скороходов В. Ю. Адаптация технологии защиты проса для получения высоких урожаев // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2012. № 1 (34). С. 35–37.

Об авторах:

Виталий Юрьевич Скороходов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0003-4179-7784, AuthorID 761620. *E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru*

Николай Алексеевич Максютов, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0003-4394-6325, AuthorID 761616. *E-mail:maksyutov.n@mail.ru*

Наталья Анатольевна Зенкова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0003-1873-2245, AuthorID 761453. *E-mail: natalya.zenkova1977mail@mail.ru*

Елена Николаевна Скороходова, соискатель отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0009-0000-9592-2654, AuthorID 1279989. *E-mail: lena.1981.20@mail.ru*

References

1. Kaipov Ya.Z., Kiraev R.S., Sultangazin Z.R. Influence of biologized crop rotation on the content of humus and mobile forms of nitrogen in ordinary chernozem. *Agrochemical Bulletin*. 2024; 4: 22–27. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-4-005. (In Russ.)

2. Skorokhodov V. Yu. Biological factor of humus reproduction and maintenance of soil fertility in the steppe zone of the Southern Urals. *Fertility*. 2021; 2 (119): 55–59. DOI: 10.25680/S19948603.2021.119.15. (In Russ.)

3. Kaftan Yu.V. The influence of barley weed infestation and mineral nutrition on crop yields in the central zone of the Orenburg region. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. 2021; 4 (90): 104–108. DOI: 10.37670 / 2073-0853-2021-90-4-104-108. (In Russ.)

4. Kaftan Yu.V. The influence of predecessors and mineral fertilizers on weed infestation of spring soft wheat crops in the Orenburg Cis-Urals. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. 2020; 3 (83): 34–38. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3-34-38. (In Russ.)

5. Skorokhodov V. Yu., Zorov A. A. Features of the influence of a fallow field on the formation of agrocenosis and productivity of spring wheat in field crop rotations of a region with unstable moisture. *Russian Agricultural Science*. 2021; 5: 3–8. DOI: 10.31857/S250026272105001X. (In Russ.)

6. Romanina Ya. S., Trufanov A. M., Voronin A. N., Shchukin S. V. The influence of agricultural technologies on the phytosanitary condition of crops and the productivity of agricultural crops. *Bulletin of KrasSAU*. 2024; 3 (204): 59–68. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-3-59-68. (In Russ.)

7. Shulepova O. V., Fisunov N. V., Sannikova N. V. Analysis of the species and quantitative composition of weeds in a wheat agrophytocenosis in the Trans-Urals. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*. 2022; 3 (95): 56–60. (In Russ.)

8. Shpanev A. M., Fesenko M. A. Influence of mineral nutrition on the phytosanitary situation in spring rape crops in the North-West of the Russian Federation. *Agrochemistry*. 2022; 8: 44–50. (In Russ.)

9. Ivanova S. S., Trufanov A. M., Shchukin S. V., Kaznin R. E. Weed infestation of agrophytocenoses with different cultivation technologies in the non-chernozem zone of Russia. *Bulletin of the APK of the Upper Volga region*. 2024; 2 (66): 5–14. (In Russ.)

10. Mitrofanov D. V. Comparative assessment of grain crop yields depending on limiting factors under soil conservation agriculture. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 07 (24): 870–884. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-06-870-884. (In Russ.).

11. Swapnavahini K., Bora M., Jyothi N.B., Bora A., Ramesh T. Studies on the effects of nitrogen and phosphorus on wheat crop growth and production. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*. 2022; 13: 6084–6089. DOI: 10.47750/pnr.2022.13.S10.752.

12. Yushkevich L. V., Yushchenko D. N., Shchitov A. G., Kashinskaya S. P. Comparative agrotechnological assessment of spring wheat cultivation in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 03 (24): 348–357. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-348-357. (In Russ.)

13. Ding J., Li F., Le T., et al. Tillage and seeding strategies for wheat optimizing production in harvested rice fields with high soil moisture. *Scientific Reports*. 2021; 11: 119. DOI: 10.1038/S41598-020-80256-7.

14. Savenkova E. V., Mistratova N. A., Stupnitsky D. N. Phytosanitary analysis of crop rotation using the principles of organic farming in the conditions of Krasnoyarsk Territory. *Bulletin of KrasSAU*. 2024; 10 (211): 68–73. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-10-68-73. (In Russ.)

15. Skorokhodov V. Yu. The influence of weather factors of vegetation and nutrition background on the accumulation of nitrate nitrogen in the soil under agricultural crops in the chernozems of the Orenburg region. *Animal Husbandry and Feed Production*. 2018; 2 (101): 176–185. (In Russ.)

16. Komarova O. P., Kozenko K. Yu., Zemlyanitsyna S. V. Biological plant protection is one of the main directions for reducing the pesticide load on agrocenoses. *International Research Journal*. 2021; 9-1 (111): 98–102. (In Russ.)

17. Butadaev A. P., Tsydypov B. S., Sobolev V. A., Grebenshchikova T. V., Tsybikov B. B. Productivity of field crop rotations in the steppe zone of the Republic of Buryatia. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov.* 2024; 1: 158–164. DOI: 10.34655/bgsha.2024.74.1.019. (In Russ.)

18. Timoshinov R. V., Kumaeva E. Zh, Marchuk L. E., Dubkov A. A., Klykov A. G. Efficiency of long-term use of various fertilizer systems in crop rotation. *Bulletin of KrasSAU*. 2023; 4 (193): 38–43. DOI: 10.36718/1819-4036-23023-4-38-43. (In Russ.).

19. Luneva N. N. Allocation of levels of phytosanitary zoning of the territory in relation to weeds on the example of the Leningrad Region. *Bulletin of Plant Protection*. 2020; 103 (2): 119–133. (In Russ.)

20. Shpanev A. M., Fesenko M. A., Smuk V. V. Efficiency of using mineral fertilizers and an integrated plant protection system in field crop rotation in the North-West of the Russian Federation. *Agrochemistry*. 2021; 1: 12–22. (In Russ.)

21. Zhizhin V. N., Glinushkin A. P., Zorov A. A., Skorokhodov V. Yu. Adaptation of millet protection technology to obtain high yields. *Bulletin of the Orel State Agrarian University.* 2012; 1 (34): 35–37. (In Russ.)

Authors' information:

Vitaliy Yu. Skorokhodov, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the department of agriculture and resource-saving technologies, Federal Research Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0003-4179-7784, AuthorID 761620.
E-mail: skorohodov.vitali1975@mail.ru

Nikolay A. Maksyutov, doctor of agricultural sciences, chief researcher at the department of agriculture and resource-saving technologies, Federal Research Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0003-4394-6325, AuthorID 761616.
E-mail:maksyutov.n@mail.ru

Natalya A. Zenkova, candidate of agricultural sciences, senior researcher at the department of agriculture and resource-saving technologies, Federal Research Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0003-1873-2245, AuthorID 761453.
E-mail: natalya.zenkova1977mail@mail.ru

Elena N. Skorokhodova, the applicant, department of agriculture and resource-saving technologies, Federal Research Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0009-0000-9592-2654, AuthorID 1279989. *E-mail: lena.1981.20@mail.ru*

УДК 631.527: 635.132
Код ВАК 4.1.2
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1340-1351

Морковь столовая – ценная культура для Северного Зауралья

А. И. Старых, А. А. Казак✉, А. В. Асеева
Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия
✉*E-mail: kazakaa@gausz.ru*

Аннотация. Морковь столовая – одна из основных культур «борщевого набора». Производство адаптированных к местным условиям сортов и гибридов позволит обеспечивать продовольственную безопасность региона. Селекция адаптированных сортов – это длительный процесс. В данной статье поставлена **цель** рассмотреть исторические сведения о моркови культурной, ботанические и агробиологические особенности моркови, представить результаты изучения образцов моркови в условиях северной лесостепи Тюменской области. В данных исследованиях применены стандартные **методики исследования** столовой моркови. Сделан анализ условий выращивания моркови столовой и потенциал получения наивысших урожаев в условиях Северного Зауралья. Рассмотрены исторические сведения и биологические особенности. Проведено предварительное изучение исходного материала для создания сортов в местных условиях, адаптированных к данной природно-климатической зоне. С 2016 по 2022 г. было изучено 38 сортов и гибридов моркови столовой, из них 29 отечественных и 9 иностранных. В **результате** выявлено, что самая высокая общая и товарная урожайность была у гибрида Зафиро F1 (сортотип Берликум/Нантская) – 57,1 т/га. По товарности корнеплодов выделился гибрид Канада F1 с товарностью 90 %. В данной статье авторам удалось обобщить обзорный материал по перспективам выращивания моркови столовой в условиях региона и Северного Зауралья в целом. **Научная новизна** проведенных исследований – впервые в данных природно-климатических условиях выделили сорта и гибриды моркови столовой, которые на протяжении 2016–2022 гг. сочетали в себе высокую урожайность, экологическую пластичность и высокую устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды с целью проведения последующих скрещиваний и получения ценного селекционного материала и создания новых сортов и гибридов для условий Северного Зауралья.

Ключевые слова: морковь столовая, товарная урожайность, товарность моркови, сорта и гибриды моркови, коллекция моркови

Для цитирования: Старых А. И., Казак А. А., Асеева А. В. Морковь столовая – ценная культура для Северного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1340–1351. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1340-1351.

Дата поступления статьи: 20.02.2024, ***дата рецензирования:*** 12.05.2025, ***дата принятия:*** 22.05.2025.

© Старых А. И., Казак А. А., Асеева А. В., 2025

Carrot canteen is a valuable crop for the Northern Trans-Urals

A. I. Starykh, A. A. Kazak✉, A. V. Aseeva
Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia
✉*E-mail: kazakaa@gausz.ru*

Abstractt. Table carrots are one of the main crops of the borscht set. The production of locally adapted varieties and hybrids will ensure the food security of the region. Breeding of adapted varieties is a long process. **The purpose** of this article is to review historical information about cultural carrots, botanical and agrobiological features of carrots, and to present the results of studying carrot samples in the northern forest-steppe of the Tyumen region. In these studies, standard **methods** for the study of table carrots were used. The analysis of the growing conditions of table carrots and the potential for obtaining the highest yields in the conditions of the Northern Urals is made. Historical information and biological features are considered. A preliminary study of the source material for the creation of varieties in local conditions adapted to this natural and climatic zone has been carried out. From 2016 to 2022, 38 varieties and hybrids of table carrots were studied, of which 29 were domestic and 9 were foreign. As a **result**, it was revealed that the Zafiro F1 hybrid (Variety types Berlikum/Nantskaya) had the highest total and marketable yield – 57.1 t/ha. In terms of marketability of root crops, the Canada F1 hybrid with a marketability of 90% stood out. In this article, the authors managed to summarize an overview of the prospects for growing carrots in the dining room in the region and the Northern Urals as a whole. **The scientific novelty** of the research carried out is that for the first time in these natural and climatic conditions, varieties and hybrids of table carrots were identified, which during 2016-2022. They combined high yields, ecological plasticity and high resistance to adverse environmental factors in order to carry out subsequent crosses and obtain valuable breeding material and create new varieties and hybrids for the conditions of the Northern Trans-Urals.

Keywords: carrot canteen, commodity yield, commodity yield of carrots, carrot variety samples, carrot collection

For citation: Starykh A. I., Kazak A. A., Aseeva A. V. Carrot canteen is a valuable crop for the Northern Trans-Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1340–1351. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1340-1351. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.02.2024, ***date of review:*** 12.05.2025, ***date of acceptance:*** 22.05.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Морковь столовая является одним из основных корнеплодов, выращиваемых в России и в мире. Она ценится за отличные вкусовые качества, высокую урожайность, неприхотливость в выращивании и универсальность использования. В моркови содержится самое большое среди овощных культур количество каротина (от 5 до 30 мг на 100 г сырого вещества), а также большое количество витаминов группы В, РР и С, минеральные соли, сахара, клетчатка, аминокислоты и другие биологически активные вещества [1; 2]. Морковь применяют при лечении авитаминоза, малокровия, при заболеваниях сердечно-сосудистой системы, печени, почек, органов зрения, в диетическом питании. Её используют в фармацевтической промышленности для получения провитамина А, а из семян получают препарат даукарин, применяемый при сердечной недостаточности [1–3].

По данным ФАО, посевные площади, занятые морковью в мире в 2021 году, превысили 1,1 млн га, а валовый сбор достиг 41 млн тонн. В России под морковью занято около 45 тыс. га, валовый сбор – 1,3 млн тонн. При этом в нашей стране наблюдается устойчивая тенденция по снижению как посевных площадей, так и валовых сборов моркови. Причинами такого положения являются ряд системных проблем всей отрасли овощеводства, включая технологическое отставание, рост цен на ГСМ, минеральные удобрения, пестициды и другие производственные ресурсы, зависимость от поставок импортного посевного материала, отсутствие организованного сбыта продукции у малых фермеров, владельцев личных подсобных хозяйств, дачников, дефицит мощностей хранения готовой продукции, недостаточность государственной поддержки овощеводства открытого грунта [4; 5].

Цель исследований – рассмотреть исторические сведения о моркови культурной, ботанические и агробиологические особенности моркови, представить результаты изучения образцов моркови в условиях северной лесостепи Тюменской области.

По мнению многих ученых, родиной большинства видов моркови является Древняя Азия, пред-

© Starykh A. I., Kazak A. A., Aseeva A. V., 2025

положительно территория Древней Персии. По мнению Н. И. Вавилова, культурная морковь имеет два очага происхождения: среднеазиатский, куда входят северо-западная часть Индии, Афганистан, Таджикистан, Узбекистан и западная часть Тянь-Шаня, и переднеазиатский, включающий в себя Малую Азию, Закавказье, Иран и горную часть Туркменистана [4; 6; 7].

В культуру морковь ввели более 4000 лет назад. При археологических раскопках в Иране и Европе обнаружены окаменелые семена и корнеплоды моркови в культурных слоях возрастом около 5000 лет. В Древней Греции и Риме морковь также была известным овощем. В кулинарной книге, датируемой III веком до н. э., римляне описывают рецепты приготовления разнообразных блюд из нее. Морковь была для них большим лакомством, ее употребляли по праздникам или давали в качестве поощрения за труды [8; 9].

Известно, что изначально в древности морковь выращивали не столько ради корнеплодов, сколько для получения ароматной ботвы и семян. В те времена морковь использовали не только в пищу, но и в медицинских целях. Известный древнегреческий врач Гиппократ в своих трудах упоминал морковь в качестве болеутоляющего и противовоспалительного средства. Также морковь была описана в книге древнегреческого ученого Теофраста «Исследования о растениях» в IV–III веках до н. э. Позднее ее применение в качестве лекарственного средства описывал средневековый арабский врач Авиценна в Каноне врачебной науки [7; 10; 11].

В европейских странах, в первую очередь в Испании, морковь появилась в IX веке, куда она попала, очевидно, из Африки. Чуть позже она попала во в Италию и Францию. В XIII веке ее начали выращивать в Китае, Японии и Индии. А в начале XVII века морковь появилась в Америке [12].

Когда морковь попала в Россию достоверно неизвестно, но считается, что ее завезли еще в дохристианские времена купцы из Константинополя. Некоторые историки считают, что кривичи, населявшие Древнюю Русь, рядом с умершими соплеменниками клали морковь, чтобы она служила им пищей на том свете. Морковь подробно описывается в памятнике русской литературы XVI века «Домострое». В «Расходной книге патриаршего приказа кушаньям, подававшимся патриарху Андриану…» XVII века упоминается о «пирогах долгих с морковью» [8; 13].

В Сибири морковь, очевидно, появилась в конце XVI века вместе с первыми переселенцами из европейской России. В 1784 году на запрос из Санкт-Петербурга из Тобольской губернии ответили, что в огородах граждан в летнее время выращиваются капуста, редька, морковь, картофель, лук, чеснок и многие другие овощи. Позже овощеводство стало принимать товарный характер и было сосредоточено в основном вблизи городов – Тобольска, Тюмени, Ялуторовска и Ишима, а также в деревнях, расположенных вдоль Сибирского тракта. Зачастую отдельные деревни специализировались на выращивании только отдельных овощей. Так, вблизи Тюмени огурцы и зелень выращивали в Парфеновой, капусту – в Ошкуковой, а морковь – в деревне Утешева. Также практически каждая крестьянская семья выращивала многие овощи для личных нужд [12].

В настоящее время в Тюменской области в сельскохозяйственных предприятиях всех форм собственности морковь выращивается на площади около 400 га. В основном производство сосредоточено в четырех районах области: Тюменском, Упоровском, Заводоуковском и Ялуторовском. Средняя урожайность превышает 350 ц/га. Валовый сбор составляет 14–15 тыс. тонн, в 2022 году был установлен рекорд – собрано около 20 тыс. тонн корнеплодов, а урожайность достигла 517 ц/га [14].

Изначально в зависимости от происхождения морковь была фиолетового, желтого, белого или красного цвета. Считается, что привычную нам оранжевую морковь вывели голландцы в XVII веке, однако ее описания и изображения встречаются и в более ранних источниках. Так в Кодексе Аниции Юлианы – иллюстрированной рукописи сочинения Диоскорида «О лекарственных веществах» – морковь изображена оранжевой. На живописных полотнах фламандского художника Иоахима Бейкелара можно увидеть, что уже в XVI веке оранжевая морковь была распространена. По мнению различных исследователей, она была получена в результате гибридизации и отбора из других разноокрашенных форм с выделением корнеплодов с высоким содержанием каротина, придающего им ярко-оранжевый цвет [6].

Ботаническая и агробиологическая классификация моркови достаточно сложная, многоступенчатая, постоянно меняющаяся и дополняющаяся. Различные исследователи по-разному подразделяют морковь по видам, подвидам, разновидностям и т. д. Большинство отечественных ученых относит вид морковь (*Daucus carota L.*) к семейству сельдерейные (*Apiaceae*) и подразделяют на два основных подвида: азиатский, или восточный (Ssp. orientalis Rubasch.), и европейский, или западный (Ssp. occidentalis Rubasch.). Азиатский подтип подразделяется на 6 разновидностей, в которые входят одна дикая форма, не образующая корнеплодов, и 5 культурных, отличающихся друг от друга окраской корнеплодов: фиолетовая, черная, оранжевая, желтая и розовая. В европейский подвид входят одна дикая разновидность моркови с жесткими разветвленными корнеплодами и три культурных: белая, желтая и оранжевая, получившая название каротиновая.

Большинство современных сортов, возделываемых в России, относятся к западному подвиду культурной моркови, разновидности каротиновая. Морковь азиатского подвида широко распространена в странах Юго-Восточной и Средней Азии [15].

По современной международной классификации морковь столовая *Daucus carota* subsp. *sativus*, или морковь посевная, или культурная, является подвидом моркови дикой, или моркови обыкновенной (*Daucus carota L.*), с последующим разделением на разновидности, формы, типы и сорта.

Ввиду большого разнообразия сортов моркови европейского подтипа разновидности каротиновая их разделили на сортотипы. В России выделяют семь основных и три промежуточных сортотипа, различающихся формой и размером корнеплода (см. рис. 1). К основным относятся Нантская, Шантенэ, Берликум, Амстердамская, Флакке (Валерия), Парижская каротель и Мини-морковь. К промежуточным, или переходным, сортотипам относятся Берликум/Нантская, Флакке/Каротинная и Шантенэ/Данверс. В европейских странах количество сортотипов моркови превышает 20 и включает в себя такие, как Курода, Геранда, Бразилия, Император и другие.

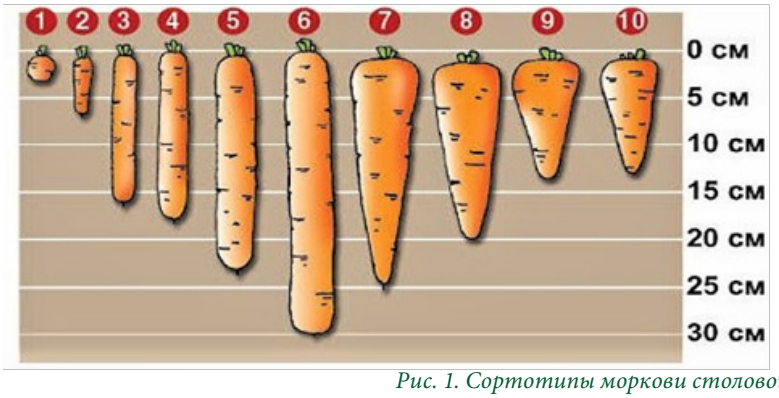
Ботаническая характеристика и биологические особенности моркови

Морковь является двулетним растением. В первый год формирует запасающий орган – мясистый сочный корнеплод с листовой розеткой, на второй формируются стебли, соцветия, цветки, плоды и семена [15].

Стебли у моркови полые (дудчатые), округлые или ребристые, чаще опушенные, сильно- или слаборазветвленные, достигающие в высоту 1,0–1,5 м (до 2,0 м). Окраска стебля может быть зеленая или желто-зеленая, иногда с антоциановой пигментацией.

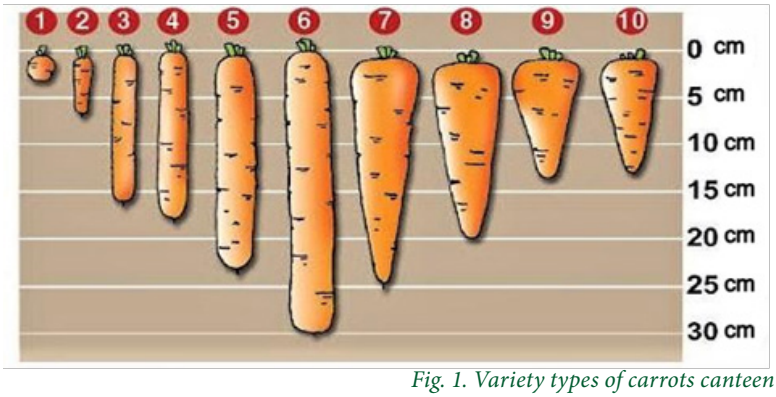
Листья у моркови длинночерешковые, слабо-, средне- или сильноперисто-рассеченные. Сегменты листа бывают ланцетные, линейно-ланцетные, острогородчатые или лопастные, опушенные или голые. Окраска листа может быть от светло- до темно-зеленой или серо-зеленой. Из листьев формируется розетка, бывающая полустоячей, раскидистой или прижатой. Число листьев в розетке может варьироваться от 6–8 до 12–15 [15].

Соцветие у моркови – сложный зонтик, состоящий из отдельных зонтичков. Наружные цветки зонтичков более крупные, чем внутренние. В зонтичке бывает от 10 до 60 цветков. Цветки моркови мелкие, обоеполые, с нижней двугнедной завязью, двумя столбиками и пятью тычинками. Околоцветник сложный пятичленный. Лепестки белые, кремово-белые или бело-зеленые. Плод моркови – двусемянка, состоящая из двух разделяющихся при созревании семян. Семена мелкие, ребристые, с острыми шипиками, покрыты твердой оболочкой, пропитанной эфирными маслами. Масса 1000 семян – 1,0–1,8 г [7; 15].



1. Парижская каротель
2. Мини-морковь
3. Амстердамская
4. Нантская
5. Берликум/Нантская
6. Берликум
7. Флакке (Валерия)
8. Флакке/Каротинная
9. Шантенэ/Данверс
10. Шантенэ

Рис. 1. Сортотипы моркови столовой



1. Parizhskaya karotel'
2. Mini-morkov'
3. Amsterdamska
4. Nantskaya
5. Berlikum/Nantskaya
6. Berlikum
7. Flakke (Valeriya)
8. Flakke/Karotinnaya
9. Shantane/Danvers
10. Shantane

Fig. 1. Variety types of carrots canteen

Корневая система моркови представляет из себя утолщенный сочный корнеплод с тонкими боковыми корешками и большим количеством корневых волосков. Основная масса корней расположена в слое почвы глубиной 25–30 см. Отдельные корешки могут распространяться до 1,8–2,2 м в глубину и на 1,0–1,5 м в ширину. Корнеплод состоит из трех частей: головки, шейки и собственно корня. На внутреннем разрезе он состоит из наружного толстого слоя коры (мякоти, или флоэмы) и внутренней сердцевины (древесины, или ксилемы), соединенных между собой тонким слоем камбия. Форма и окраска корнеплода зависят от сортотипа растения и могут изменятся в зависимости от типа почвы и применяемой технологии выращивания [8, 15].

Морковь является перекрестноопыляющимся энтомофильным растением. Вначале зацветают зонтики центрального стебля, затем – последующих порядков. В пределах зонтика цветение начинается с периферийных зонтичков и распространяется к центру, в каждом зонтичке вначале распускаются периферийные цветки. Цветение отдельного зонтичка длится 4–5 дней, соцветия – 10–15, а всего семенника – 25–50. Цветки раскрываются в утренние часы, а наиболее интенсивное цветение отмечается с 9 до 13 часов [15; 17].

Семена моркови очень медленно прорастают. При благоприятных условиях всходы появляются через две недели, а при холодной или засушливой погоде – через 25–30 дней. Такое медленное прорастание объясняется тем, что семена моркови покрыты твердой оболочкой, пропитанной эфирными маслами, а также особым составом запасных веществ и активностью ферментов.

Морковь относится к растениям длинного дня, а формирование высоких урожаев возможно только при хорошем освещении. При коротком дне замедляются рост и развитие моркови, а при недостатке света, что бывает при загущении посевов, происходит так называемое «стекание» корнеплодов: он удлиняется, но остается тонким, что приводит к снижению товарности.

Морковь более засухоустойчива, чем другие овощные культуры, однако в период прорастания семян и в начале роста и развития растений она предъявляет повышенные требования к обеспеченности влагой (влажность почвы должна быть не менее 70 % от наименьшей влагоемкости). В дальнейшем у моркови развивается достаточно мощная, разветвленная корневая система, что в сочетании с относительно небольшой листовой поверхностью обеспечивает хорошую устойчивость растений к неблагоприятному водному режиму. Однако неравномерное обеспечение посевов влагой в этот период приводит к растрескиванию корнеплодов. В то же время морковь плохо переносит избыточное увлажнение почвы, поэтому при ее выращивании на орошении норму полива уменьшают и регулируют в зависимости от выпадающих осадков [18; 19].

Морковь – холодостойкая культура. Всходы могут переносить заморозки до –2 °С, взрослые растения – до –3…– 4 °С. Однако при низких температурах (ниже +8 °С) семена моркови прорастают медленно, всходы появляются только через 23–25 дней, при температуре +18…+22 °С и оптимальной влажности – через 12–14 дней. Оптимальная температура для роста и развития взрослых растений моркови составляет +18…+20 °С. Высокие температуры воздуха (выше +25…+30 °С) большинство сортов европейского подвида моркови переносят плохо, корнеплоды приостанавливаются в росте, деформируются, становятся грубыми, снижаются их вкусовые качества [19].

Особые требования морковь предъявляет к почвам. Для ее выращивания необходимы плодородные, рыхлые почвы с глубоким пахотным слоем. Оптимальными для нее будут супесчаные, легкосуглинистые, торфяные почвы, а также заливные пойменные и луговые земли с легкими по механическому составу почвы. На плотных почвах корнеплоды вырастают грубыми и разветвленными. Также морковь чувствительна к повышенной концентрации солей и недостатку кислорода в почве [20; 21].

Морковь предъявляет достаточно высокие требования к содержанию питательных веществ в почве. С одной тонной урожая она выносит 3,0–3,2 кг азота, 1,2–1,4 кг фосфора, 4,8–5,2 кг калия, 3,9–4,1 кг кальция и 0,5–0,7 кг магния. Рекомендуемая норма внесения минеральных удобрений под морковь для получения урожая 40–50 т/га на черноземных почвах – $N_{90}P_{90}K_{90}$ плюс 40–50 т/га хорошо перепревшего перегноя или торфа.

Лучшими предшественниками для моркови являются чистый пар, бобовые культуры, картофель, ранняя или средняя капуста, репчатый лук. Нежелательно морковь размещать после самой моркови и других овощных культур семейства сельдерейные, а также после подсолнечника и многолетних трав. На предыдущее место ее следует возвращать не ранее чем через 4–5 лет.

Выращивают морковь на хорошо окультуренных почвах, лучше всего на грядах или гребнях. На ровной поверхности можно выращивать раннюю продукцию или сорта типа Шантенэ с коротким коническим корнеплодом.

Промышленное семеноводство моркови было разработано в конце 70-х годов, и оно предусматривало высадку маточников в грунт на второй год жизни растения. Площади посадок составляли до 5000–10 000 га. Такая технология предусматривала хранение маточников в зимний период и дополнительные материальные затраты. В настоящее время большинство предприятий перешли на инновационную технологию семеноводства моркови столовой –

беспересадочным способом. Данный способ более экономичен и менее затратен в отношении трудового ресурса. Беспересадочный способ используют в регионах с наиболее мягкими зимними периодами, где продолжительность безморозного периода не менее 200 суток. В данной технологии предусматривается посев моркови по типу озимой [22].

Методология и методы исследования (Methods)

В 2016–2022 гг. на полях ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, расположенных в зоне северной лесостепи Тюменской области в коллекционном питомнике, изучалось 38 сортов и гибридов моркови. Почва на опытных участках – преимущественно чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый маломощный. Содержание питательных элементов в почве: азота – низкое, фосфора – среднее, калия – высокое. Содержание органического вещества – 6,9–8,4 %. Реакция почвенного раствора слабокислая (pH 5,7–6,2).

Обработка почвы под морковь – общепринятая для северной лесостепи Тюменской области, осуществляемая в соответствии с рекомендациями НИИСХ Северного Зауралья и СибНИИСХоза с учетом погодных условий года, типа почвы и особенностей культуры. Удобрения не вносились.

Опыты располагались на ровной поверхности поля, без формирования гряд или гребней. Способ посева – широкорядный, с междурядьями 45 см. Площадь одной делянки – 5 м^2, повторность двукратная. Посев проводился вручную, срок посева – I–III декада мая при наступлении физической спелости почвы и в зависимости от погодных условий года. Глубина заделки семян – 1,5–2,5 см. Норма высева – 0,8–1,0 г/м^2 (8–10 кг/га), с последующим прореживанием с таким учетом, чтобы на 1 м^2 оставалось 80–120 растений (0,8–1,2 млн шт/га).

Для равномерности высева и обозначения рядков семена моркови смешивались с песком и быстро всходящей маячной культурой (руккола, горчица, салат и др.). В связи с тем, что морковь очень долго всходит и в первое время медленно развивается, особое внимание при ее выращивании уделялось подготовке почвы и борьбе с сорной растительностью. Исходили из того, что семена должны лечь в прогретую, хорошо увлажненную, чистую от сорняков почву, имеющую мелкокомковатую структуру.

Семенной материал для закладки опытов был получен из ВИГРР (ВИР) им. Н. И. Вавилова, ВНИИССОК (в настоящее время – ФНЦ Овощеводства), отечественных и зарубежных селекционно-семеноводческих компаний (Гавриш, Поиск, Аэлита, Bejo Zaden, Rijk Zwaan, Syngenta, Vilmorin и др.). Следует отметить, что большинство из изученных сортов и гибридов моркови (24) были отечественными, 8 – из Голландии, остальные (6) – из Франции, Германии, Японии и Польши.

Наблюдения и учеты: фенологические наблюдения, урожайность и показатели качества корнеплодов моркови определяли согласно методикам, составленным доктором с.-х. наук, профессором, академиком Россельхозакадемии С. С. Литвиновым[1], обработку урожайных данных провели по методике Б. А. Доспехова[2] с использованием программного обеспечение Excel 2010.

Результаты (Results)

В 2016–2022 гг. сложились контрастные природно-климатические условия с различной длинной безморозного периода, что и позволило полноценно оценить и отобрать исходный материал столовой моркови для дальнейшего включения в селекционный процесс.

Изучаемые сорта и гибриды моркови были представлены семью сортотипами (таблица 1).

Нантская – 11 сортов и гибридов (Нантская 4, Рогнеда, Самсон, Забава, Norway F1 и др.), Шантенэ – 8 (Шантенэ 2461, Московская зимняя А515, Марлинка, Силвано F1 и др.), Флакке – 6 (Роте Ризен, Добрыня, Королева осени, Ярославна, Канада F1), Берликум/Нантская – 5 (Лосиноостровская 13, Витаминная 6, НИИОХ 336, Зафиро F1), Берликум – 4 (Берликум Роял, Ромоса, Дарина), Амстердамская (Амстердамска, Тушон) – 2, Парижская каротель – 2 (Парижская каротель, Внучка).

Один из основных показателей при оценке исходного материала, является длина вегетационного периода или группа спелости (таблица 2).

По степени спелости все сорта и гибриды в питомнике изучения исходного материала (таблица 2) были разделены на 3 основные группы: раннеспелые – 11 сортов и гибридов (Амстердамская, Шантенэ А Кур Руж 2, Ярославна, Внучка и др.), имеющие вегетационный период от 70 до 90 суток, среднеспелые – 16 сортов и гибридов (Нантская 4, Шантенэ 2461, Витаминная 6, Нанте, Тушон, Ромоса и др.), вегетационный период 90–120 суток, позднеспелые – 11 сортов и гибридов (Роте Ризен, Берликум Роял, Карадек F1, Дарина, Norway F1 и др.), вегетационный период – более 120 суток.

Различные сорта и гибриды моркови, относящиеся к одному сортотипу, могут иметь некоторые различия в морфологическом строении надземной части растений (например, форма и размер розетки, листьев, рассеченность листовой пластинки и т. д.), но имеют одинаковую форму, размер, окраску и строение корнеплода.

В таблице 3 представлены сорта и гибриды, выделившиеся в годы исследований по основным учитываемым показателям моркови столовой, для включения в дальнейшую схему селекционного процесса.

[1] Литвинов С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: РАСХН, 2011. 650 с.

[2] Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Таблица 1

Сорта и гибриды, находящиеся в изучении, 2016–2022 гг.

№ п/п	Сортотип	Сорт или гибрид	Год внесения в реестр
1	Нантская	Нантская 4	1943
2		Рогнеда	1987
3		Самсон	2001
4		Забава F1	1994
5		Норвегия F1	2017
6		Нанте	2006
7		Карадек Р3 F1	не внесен
8		Ройал Форто	1997
9		Каллисто F1	1990
10		Лакомка	2005
11		Юкон F1	2006
12	Шантанэ	Шантенэ 2461	1943
13		Московская зимняя А 515	1950
14		Марлинка	2002
15		Силвано F1	2014
16		Шантенэ А Кур Руж 2	не внесен
17		Шантенэ Роял	2006
18		Вита Лонга	1993
19		Шарлотта	2014
20	Флакке/Каротинная	Роте Ризен	1996
21		Добрыня	2013
22		Королева осени	2005
23		Ярославна	2008
24		Канада F1	2001
25		Золотая осень	2013
26	Берликум/Нантская	Лосиноостровская 13	1964
27		Витаминная 6	1969
28		НИИОХ 336	1978
29		Зафиро F1	2010
30		Нандрин F1	не внесен
31	Берликум	Берликум Роял	2006
32		Ромоса	2007
33		Дарина	2006
34		Сластена	2009
35	Амстердамская	Амстердамска	1998
36		Тушон	2009
37	Парижская каротель	Парижская каротель	не внесен
38		Внучка	2015

Table 1

Varieties and hybrids under study, 2016–2022

No.	*Variety type*	*Variety or a hybrid*	*Year of entry in the register*
1	*Nanstkaya*	*Nantskaya 4*	*1943*
2		*Rogneda*	*1987*
3		*Samson*	*2001*
4		*Zabava F1*	*1994*
5		*Norvegiya F1*	*2017*
6		*Nante*	*2006*
7		*Karadek R3 F1*	*the register of breeding achievements has not been entered*
8		*Rojal Forto*	*1997*

9	*Nanstkaya*	*Kallisto F1*	*1990*
10		*Lakomka*	*2005*
11		*Yukon F1*	*2006*
12	*Shantane*	*Shantene 2461*	*1943*
13		*Moskovskaya zimnyaya A 515*	*1950*
14		*Marlinka*	*2002*
15		*Silvano F1*	*2014*
16		*Shantene A Kur Ruzh 2*	*the register of breeding achievements has not been entered*
17		*Shantene Royal*	*2006*
18		*Vita Longa*	*1993*
19		*SHarlotta*	*2014*
20	*Flakke/Karotinnaya*	*Rote Rizen*	*1996*
21		*Dobrynya*	*2013*
22		*Koroleva oseni*	*2005*
23		*Yaroslavna*	*2008*
24		*Kanada F1*	*2001*
25		*Zolotaya osen'*	*2013*
26	*Berlikum/Nantskaya*	*Losinoostrovskaya 13*	*1964*
27		*Vitaminnaya 6*	*1969*
28		*NIIOKH 336*	*1978*
29		*Zafiro F1*	*2010*
30		*Nandrin F1*	*the register of breeding achievements has not been entered*
31	*Berlikum*	*Berlikum Royal*	*2006*
32		*Romosa*	*2007*
33		*Darina*	*2006*
34		*Slastena*	*2009*
35	*Amsterdamska*	*Amsterdamska*	*1998*
36		*Tushon*	*2009*
37	*Parizhskaya karotel'*	*Parizhskaya karotel'*	*the register of breeding achievements has not been entered*
38		*Vnuchka*	*2015*

Таблица 2

Группа спелости сортов и гибридов столовой моркови, 2016–2022 гг.

Раннеспелые (70–90 суток)	**Среднеспелые (90–120 суток)**	**Позднеспелые (более 120 суток)**
Амстердамская Шантенэ А Кур Руж 2 Лакомка Ярославна Забава F1 Марлинка Силвано F1 Парижская каротель Нандрин F1 Внучка Юкон F1	Нантская 4 Шантенэ 2461 Витаминная 6 Нанте Тушон Ромоса Рогнеда Самсон Каллисто F1 Московская зимняя А 515 Шантенэ Роял Вита Лонга Шарлотта Лосиноостровская 13 НИИОХ 336 Зафиро F1	Роте Ризен Берликум Роял Карадек Р3 F1 Дарина Норвегия F1 Роял Форто Добрыня Канада F1 Королева осени Сластена Золотая осень
11 сортов и гибридов	**16** сортов и гибридов	**11** сортов и гибридов

Table 2

Maturity group of table carrot varieties and hybrids, 2016–2022

Early ripening (70–90 days)	***Medium ripening (90–120 days)***	***Late ripening (> 120 days)***
Amsterdamska *Shantene A Kur Ruzh 2* *Lakomka* *Yaroslavna* *Zabava F1* *Marlinka* *Silvano F1* *Parizhskaya karotel'* *Nandrin F1* *Vnuchka* *Yukon F1*	*Nantskaya 4* *Shantene 2461* *Vitaminnaya 6* *Nante* *Tushon* *Romosa* *Rogneda* *Samson* *Kallisto F1* *Moskovskaya zimnyaya A 515* *SHantene Royal* *Vita Longa* *Sharlotta* *Losinoostrovskaya 13* *NIIOKH 336* *Zafiro F1*	*Rote Rizen* *Berlikum Royal* *Karadek R3 F1* *Darina* *Norvegiya F1* *Royal Forto* *Dobrynya* *Kanada F1* *Koroleva oseni* *Slastena* *Zolotaya osen'*
11 *varieties and hybrids*	***16*** *varieties and hybrids*	***11*** *varieties and hybrids*

Таблица 3

Урожайность и отдельные показатели качества корнеплодов моркови столовой в условиях Тюменской области, 2016–2022 гг.

№ п/п	Сорт, гибрид	Сортотип	Масса корнеплода, г	Урожайность общая, т/га	Товарность, %	Урожайность товарная, т/га
Раннеспелые						
1	Силвано F1	Шантенэ	89,3	48,2	87	41,9
2	Ярославна	Флакке	98,6	31,4	85	26,7
3	Амстердамская	Амстердамская	78,7	28,2	79	22,3
4	Внучка	Парижская каротель	65,3	24,5	81	19,8
$НСР_{05}$			14,3	10,5	4	9,9
Среднеспелые						
1	Нантская 4	Нантская	91,2	45,1	86	38,8
2	Самсон	Нантская	102,0	53,4	89	47,5
3	Шантенэ 2461	Шантенэ	80,6	36,7	82	30,1
4	Витаминная 6	Берликум/Нантская	101,2	50,6	83	42,0
5	Зафиро F1	Берликум/Нантская	102,8	57,1	86	49,1
6	Ромоса	Берликум	108,7	42,3	87	36,8
$НСР_{05}$			10,1	7,6	3	7,1
Позднеспелые						
1	Дарина	Берликум	101,5	34,8	84	29,2
2	Канада F1	Флакке	102,4	46,9	90	42,2
$НСР_{05}$			0,6	8,6	4	9,2

Table 3

Yield and individual indicators of the quality of carrot root crops in the conditions of the Tyumen region, 2016–2022

No.	***Variety sample***	***Variety type***	***Root-fetal mass, g***	***Total yield, t/ha, t/ga***	***Product, %***	***Commodity yield, m/za***
Early ripening						
1	*Silvano F1*	*Shantene*	*89.3*	*48.2*	*87*	*41.9*
2	*Yaroslavna*	*Flakke*	*98.6*	*31.4*	*85*	*26.7*
3	*Amsterdamska*	*Amsterdamska*	*78.7*	*28.2*	*79*	*22.3*
4	*Vnuchka*	*Parizhskaya karotel'*	*65.3*	*24.5*	*81*	*19.8*
LSD_{05}			*14.3*	*10.5*	*4*	*9.9*
Medium ripening						
1	*Nantskaya 4*	*Nantskaya*	*91.2*	*45.1*	*86*	*38.8*
2	*Samson*	*Nantskaya*	*102.0*	*53.4*	*89*	*47.5*

3	Shantene 2461	Shantene	80.6	36.7	82	30.1
4	Vitaminnaya 6	Berlikum/Nantskaya	101.2	50.6	83	42.0
5	Zafiro F1	Berlikum/Nantskaya	102.8	57.1	86	49.1
6	Romosa	Berlikum	108.7	42.3	87	36.8
LSD_{05}			10.1	7.6	3	7.1
Late ripening						
1	Darina	Berlikum	101.5	34.8	84	29.2
2	Kanada F1	Flakke	102.4	46.9	90	42.2
LSD_{05}			0.6	8.6	4	9.2

Как показал анализ полученных данных (таблица 3), наибольшая масса одного корнеплода была у сорта Ромоса, относящегося к сортотипу Берликум (108,7 г), наименьшая (65,3 г) – у сорта Внучка, сортотип Парижская каротель. Самая высокая общая урожайность была зафиксирована у гибрида Зафиро F1 (сортотип Берликум/Нантская) – 57,1 т/га, самая низкая (24,5 т/га) – у сорта Внучка. Лучшая товарность корнеплодов (90 %) была у гибрида Канада F1, наименьшая (79 %) – у сорта Амстердамска. Наивысшая товарная урожайность (49,1 т/га) была получена у гибрида Зафиро F1, а самая низкая (19,8 т/га) – у сорта Внучка.

В данном опыте по комплексу основных селекционно-ценных показателей выделились 4 раннеспелых сорта и гибрида столовой моркови Силвано F1, Ярославна, Амстердамска, Внучка; 6 среднеспелых – Нантская 4; Самсон; Шантенэ 2461; Витаминная 6; Зафиро F1; Ромоса; и 2 образца позднеспелых – сорт Дарина и гибрид Канада F1.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате проведенных исследований были выделены сорта и гибриды моркови столовой, сочетающие в себе высокую урожайность, экологическую пластичность и высокую устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды с целью проведения последующих скрещиваний и получения ценного селекционного материала и создания новых сортов и гибридов для условий Северного Зауралья.

Предлагаем включить в схему селекционного процесса сорта и гибриды, выделившиеся по основным селекционно-ценным показателям: 4 раннеспелых сорта и гибрида столовой моркови Силвано F1, Ярославна, Амстердамска, Внучка; 6 среднеспелых – Нантская 4; Самсон; Шантенэ 2461; Витаминная 6; Зафиро F1; Ромоса; и 2 образца позднеспелых – сорт Дарина и гибрид Канада F1.

Библиографический список

1.Ториков В. Е., Сычев С. М. Овощеводство: учебное пособие для вузов / Под общей редакцией В. Е. Торикова. 4-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 124 с.

2. Наумкин В. Н., Коцарева Н. В., Манохина Л. А., Крюков А. Н. Пищевые и лекарственные свойства культурных растений: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 400 с.

3. Пакусина А. П., Тимошенко Э. В., Платонова Т. П. Биохимические особенности сортов и гибридов моркови в условиях // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17, № 3. С. 36–42. DOI: 10.22450/19996837_2023_3_36.

4. Харалгина О. С., Старых А. И. История и перспективы развития селекции и семеноводства овощных культур в Тюменской области // Современные научно-практические решения в АПК: сборник статей II всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Тюмень, 2018. С. 153–159.

5. Тимошенко Э. В. Сравнительная оценка сортов моркови столовой для возделывания в условиях Амурской области // Агронаука. 2023. Т. 1, № 1. С. 125–133.

6. Щербакова Н. А., Селиверстова А. П. Происхождение и современное значение столовой моркови // Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях: материалы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной году экологии в России. Соленое Займище, 2017. С. 310–313.

7. Прянишникова В. Е., Хмелинская Т. В. Оценка генофонда моркови по урожайности и качеству на Волгоградской опытной станции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, № 4. С. 65–70. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-65-70.

8. Степанов В. А., Федорова М. И., Вюртц Т. С. Сорта и гибриды моркови столовой для промышленных технологий // Известия ФНЦО. 2023. № 3. С. 7–16. DOI: 10.18619/2658-4832-2023-3-7-16.

9. Косенко М. А. Оценка коллекционного материала моркови по хозяйственно-полезным признакам // Journal of Agriculture and Environment. 2023. № 12 (40). DOI: 10.23649/JAE.2023.40.21.

10. Губанова В. М. Практикум по овощеводству: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2020. 316 с.

11. Юсупова Л. А., Ховрин А. Н., Котлярова О. В. Экологическое сортоиспытание моркови столовой селекции ФГБНУ ФНЦО в условиях юга Ростовской области // Овощи России. 2022. № 5. С. 63–67. DOI: 10.18619/2072-9146-2022-5-63-67.

12. Ветрова С. А., Вюртц Т. С., Заячковская Т. В., Степанов В. А. Современное состояние рынка овощных корнеплодов в РФ и пути решения проблемы продовольственной безопасности // Овощи России. 2020. № 2. С. 16–22. DOI: 10.18619/2072-9146-2020-2-16-22.

13. Культурная флора СССР / Под общ. руководством акад. Н. И. Вавилова; под ред. проф. Е. В. Вульф. Ленинград: Колос, 1971. 435 с.

14. Казак А. А. Перспективы развития селекции овощных культур в Тюменской области // Агропродовольственная политика России. 2022. № 4-5. С. 29–32.

15. Котов В. П., Адрицкая Н. А., Пуць Н. М. Овощеводство: учебное пособие для вузов. 7-е изд., испр. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 496 с.

16. Приманченко Д. П., Лопаева Н. Л. Технология и способы хранения моркови [Электронный ресурс] // Молодежь и наука. 2023. № 8. URL: https://elibrary.ru/item.asp?edn=gkchrs (дата обращения: 19.04.2024).

17. Габибова Е. Н. Современные технологии выращивания моркови в условиях юга России // АгроФорум. 2022. № 4. С. 70.

18. Дубенок Н. Н., Шумакова Р. И., Мартынова А. А. Совершенствование технологии выращивания столовой моркови при капельном орошении на грядах // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 4 (60). С. 27–39. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-02.

19. Сычев С. М., Сычева И. В., Рыченкова В. М. Адаптивные технологии выращивания овощных культур в Центральном регионе РФ: учебно-методическое пособие. Брянск: Брянский ГАУ, 2021. 45 с.

20. Лящева Л. В. Оценка хозяйственных признаков новых гибридов моркови для возделывания в северной лесостепи юга Тюменской области // Пермский аграрный вестник. 2019. № 4 (28). С. 52–59.

21. Капитанова Г. И., Терехова О. Б., Родыгина Н. В. Влияние сортовых особенностей и режимов хранения на лежкость и сохраняемость моркови столовой // Вестник Нижегородского государственного агротехнологического университета. 2023. № 2 (38). С. 71–74.

22. Сирота С. М., Степанов В. А., Подорогин В. А., Кривенко Л. В., Шевченко Т. Е., Хаваева Н. П. Инновационная технология семеноводства моркови столовой беспересадочным способом для условий Северного Кавказа: коллективная монография. Москва: Федеральный научный центр овощеводства, 2019. 28 с.

Об авторах:

Алексей Иванович Старых, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории овощных и технических культур Центра селекции и семеноводства, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0009-0003-4053-1834, AuthorID 442646.
E-mail: starykhai@gausz.ru

Анастасия Афонасьевна Казак, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой биотехнологии и селекции в растениеводстве им. Ю. П. Логинова, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0002-0563-3806, AuthorID 704874. *E-mail: kazakaa@gausz.ru*

Анна Васильевна Асеева, аспирант кафедры биотехнологии и селекции в растениеводстве им. Ю. П. Логинова, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия;
ORCID 0009-0000-0754-7170, AuthorID 1140099. *E-mail: bezborodova.av@ati.gausz.ru*

References

1. Torikov V. E., Sychev S. M. *Vegetable growing: a textbook for universities*. Saint Petersburg: Lan’, 2022. 124 p. (In Russ.)

2. Naumkin V. N., Kotsareva N. V., Manokhina L. A., Kryukov A. N. *Nutritional and medicinal properties of cultivated plants*: a textbook. Saint Petersburg: Lan’, 2022. 400 p. (In Russ.)

3. Pakusina A. P., Timoshenko E. V., Platonova T. P. Biochemical features of carrot varieties and hybrids in the conditions of priamurye. *Far Eastern Agricultural Journal*. 2023; 3 (17): 36–42. DOI: 10.22450/19996837_2023_3_36. (In Russ.)

4. Kharalgina O. S., Starykh A. I. History and prospects of development of vegetable crop breeding and seed production in the Tyumen region. *Modern scientific and practical solutions in agriculture: collection of articles of the II All-Russian (national) scientific and practical conference*. Tyumen, 2018. Pp. 153–159. (In Russ.)

5. Timoshenko E. V. Comparative evaluation of table carrot varieties for cultivation in the amur region. *Agroscience*. 2023; 1 (1): 125–133. (In Russ.)

6. Shcherbakova N. A., Seliverstova A. P. The origin and modern significance of table carrots. *Prospects for the development of science and education in modern environmental conditions: proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the Year of Ecology in Russia*. Solenoe Zaymishche, 2017. Pp. 310–313. (In Russ.)

7. Pryanishnikova V. E., Khmelinskaya T. V. Evaluation of the carrot gene pool in terms of yield and quality at the Volgograd experimental station of the VIR. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020; 4 (181): 65–70. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-65-70. (In Russ.)

8. Stepanov V. A., Fedorova M. I., Wurtz T. S. Varieties and hybrids of canteen carrots for industrial technologies. *News of FSVC*. 2023; 3: 7–16. DOI: 10.18619/2658-4832-2023-3-7-16. (In Russ.)

9. Kosenko M. A. An evaluation of carrot collection material for economic traits. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023; 12 (40). DOI: 10.23649/JAE.2023.40.21. (In Russ.)

10. Gubanova V. M. Practical training on vegetable growing: the training manual. Saint-Petersburg: Lan', 2020. 316 p. (In Russ.)

11. Yusupova L. A., Khovrin A. N., Kotlyarova O. V. Ecological study of carrots of the canteen selection of the federal scientific vegetable center in the conditions of the south of the Rostov region. *Vegetable Crops of Russia*. 2022; 5: 63–67. DOI: 10.18619/2072-9146-2022-5-63-67. (In Russ.)

12. Vetrova S. A., Vyurtts T. S., Zayachkovskaya T. V., Stepanov V. A. Current state of the vegetable root crop market in the Russian Federation and ways to solve the problem of food security. *Vegetable Crops of Russia*. 2020; 2: 16–22. DOI: 10.18619/2072-9146-2020-2-16-22. (In Russ.)

13. Cultural flora USSR. Under the general supervision of Academician N. I. Vavilov; edited by Professor E. V. Wulf. Leningrad: Kolos, 1971. 435 p. (In Russ.)

14. Kazak A. A. Prospects for the development of vegetable crop breeding in the Tyumen region. *Agro-Food Policy in Russia*. 2022; 4–5: 29–32. (In Russ.)

15. Kotov V. P., Adritskaya N. A., Puts' N. M. *Vegetable growing*: a textbook for universities. Saint-Petersburg: Lan', 2022; 496 p. (In Russ.)

16. Primanchenko D. P., Lopaeva N. L. Technology and methods of storing carrots. *Youth and Science* [Internet]. 2023 [cited 2023]; 8: 41. Available from: https://elibrary.ru/item.asp?id=55080342. (In Russ.)

17. Gabibova E. N. Modern technologies of carrot cultivation in the conditions of southern Russia. *AgroForum*. 2022; 4: 70. (In Russ.)

18. Dubenok N. N., Shumakova R. I., Martynova A. A. Improvement of the technology of cultivation of table carrots with drip irrigation. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2020; 4 (60): 27–39. DOI 10.32786/2071-9485-2020-04-02. (In Russ.)

19. Sychev S. M., Sycheva I. V., Rychenkova V. M. *Adaptive technologies for growing vegetable crops in the Central region of the Russian Federation*: an educational and methodological guide. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2021. 45 p. (In Russ.)

20. Lyashcheva L. V. Economic characteristics evaluation of new carrot hybrids for cultivation in the northern forest-steppe of the south of the Tyumen region. *Perm Agrarian Journal*. 2019; 4 (28): 52–59. (In Russ.)

21. Kapitanova G. I., Terekhova O. B., Rodygina N. V. Influence of varietal characteristics and modes of storage on storability and persistence carrot. *Vestnik of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University*. 2023; 2 (38): 71–74. (In Russ.)

22. Sirota S. M., Stepanov V. A., Podorogin V. A., Krivenko L. V., Shevchenko T. E., Khavaeva N. P. *Innovative technology of carrot seed production in a non-stop manner for the conditions of the North Caucasus*: a collective monograph. Moscow: Federal Scientific Center of Vegetable Growing, 2019. 28 p. (In Russ.)

Authors' information:

Aleksey I. Starykh, candidate of agricultural sciences, senior researcher at the laboratory of vegetable and industrial crops of the center for breeding and seed production, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0009-0003-4053-1834, AuthorID 442646. *E-mail: starykhai@gausz.ru*

Anastasiya A. Kazak, doctor of agricultural sciences, head of the Yu. P. Loginov department of biotechnology and plant breeding, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia;
ORCID 0000-0002-0563-3806, AuthorID 704881. *E-mail: kazakaa@gausz.ru*

Anna V. Aseeva, postgraduate of the Yu. P. Loginov department of biotechnology and plant breeding, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0009-0000-0754-7170, AuthorID 1140099. *E-mail: bezborodova.av@ati.gausz.ru*

УДК: 631.8:633.11
Код ВАК 4.1.1
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1352-1360

Влияние биопрепаратов и минерального удобрения на продуктивность озимой пшеницы

А. А. Тедеева, В. В. Тедеева✉
Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Федерального центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Россия
✉*E-mail: vikkimarik@bk.ru*

Аннотация. В 2021–2023 гг. в лесостепной зоне РСО-Алания проведены исследования по применению регулятора роста «Бигус ВР» и комплексных удобрений «Нутривант Плюс», «Ультрамаг Комби» на озимой пшенице сортов Баграт и Алексеич. **Цель работы** – повышение урожайности озимой пшеницы с высокими качественными показателями продовольственного зерна за счет применения биопрепаратов и минерального удобрения. **Научная новизна.** Для достижения цели проведен сравнительный анализ морфологических показателей озимой пшеницы в зависимости от влияния регулятора роста, минерального удобрения и микроудобрения. **Методы.** На карбонатно-каштановых почвах степной зоны РСО-Алания Моздокского района в богарных условиях опыты закладывались на двух сортах озимой пшеницы Баграт и Алексеич. **Результаты.** В результате исследований выявлено, что применяемые регулятор роста и комплексные удобрения оказывают положительный эффект при возделывании озимой пшеницы. Выявлено, что в период весеннего развития высота растений изучаемых сортов озимой пшеницы колебалась в пределах 21,6–27,3 см, в фазу выхода в трубку 38,4–52,7 см, в период фазы колошения – 62,4–74,7 см, в молочную спелость – 66,5–75,1 см. По сорту Алексеич на контрольном варианте урожайность составила 3,79 т/га, при внесении регулятора роста «Бигус» – 4,43 т/га, комплексного удобрения «Ультрамаг Комби» – 4,47 т/га. Максимальные значения по урожайности зерна отмечены по обоим изучаемым сортам с применением комплексного удобрения «Нутривант Плюс», где она составила 4,59 и 4,70 т/га, что превышает значения контрольного варианта на 0,7 и 0,8т/га. С применением «Нутриванта Плюс», чистый доход составил 25,43 руб/га, уровень рентабельности – 74,2 %. По сорту озимой пшеницы Баграт наибольшая урожайность отмечена также на варианте с применением «Нутриванта Плюс»: 4,70т/га при уровне рентабельности 78,4 %.

Ключевые слова: озимая пшеница, биопрепараты, микроудобрения, качество зерна, биологическая активность почвы, экономическая эффективность, урожайность

Для цитирования: Тедеева А. А., Тедеева В. В. Влияние биопрепаратов и минерального удобрения на продуктивность озимой пшеницы // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1352–1360. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1352-1360.

Дата поступления статьи: 26.02.2024, ***дата рецензирования:*** 07.04.2025, ***дата принятия:*** 22.05.2025.

© Тедеева А. А., Тедеева В. В., 2025

The influence of biopreparations and mineral fertilizers on the productivity of winter wheat

A. A. Tedeeva, V. V. Tedeeva✉
North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – a branch of the Federal Center "Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" of North Ossetia – Alania, Mikhaylovskoe village, RNO-Alania, Russia
✉*E-mail: vikkimarik@bk.ru*

Abstract. In 2021–2023, in the forest-steppe zone of North Ossetia-Alania, research was carried out on the use of a growth regulator – "Bigus VR" and complex fertilizers "Nutrivant Plyus", "Ul'tramag Kombi" on winter wheat of different varieties Bagrat and Alekseich. **The purpose** of the study is to increase the yield of winter wheat with high quality indicators of food grain through the use of biopreparations and mineral fertilizers. **Scientific novelty** is to achieve the goal, a comparative analysis of the morphological parameters of winter wheat was carried out depending on the influence of a growth regulator and complex fertilizers. **Methods**. On carbonate-chestnut soils of the steppe zone of North Ossetia-Alania, Mozdok region, under rainfed conditions, experiments were carried out on two varieties of winter wheat, Bagrat and Alekseich. **Results.** As a result of the research, it was revealed that the growth regulator and complex fertilizers used have a positive effect when cultivating winter wheat. It was revealed that during the period of spring development, the height of plants of the studied varieties of winter wheat ranged from 21.6–27.3 cm, during the booting phase – 38.4–52.7 cm, during the heading phase - 62.4-74.7 cm, and in milk ripeness – 66.5–75.1 cm. For the Alekseich variety in the control variant, the yield was 3.79 t/ha, with the addition of the growth regulator Bigus – 4.43 t/ha and the complex fertilizer "Ul'tramag Kombi" – 4.47 t/ha. The maximum values for grain yield were noted for both studied varieties using the complex fertilizer "Nutrivant Plyus", where it was 4.59 and 4.70 t/ha, which exceeds the control variant by 0.7 and 0.8 t/ha. With the use of "Nutrivant Plyus", the net income was 25.43 rubles/ha, the profitability level was 74.2 %. For the winter wheat variety Bagrat, the highest yield was also noted in the variant using "Nutrivant Plyus" – 4.70 t/ha, with a profitability level of 78.4 %.

Keywords: winter wheat, biological products, microfertilizers, grain quality, soil biological activity, economic efficiency, yield

For citation: Tedeeva A. A., Tedeeva V. V. The influence of biopreparations and mineral fertilizers on the productivity of winter wheat. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1352–1360. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1352-1360. (In Russ.)

Date of paper submission: 26.02.2024, ***date of review:*** 07.04.2025, ***date of acceptance:*** 22.05.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Одной из наиболее ценных и важных продовольственных культур среди зерновых является озимая пшеница. Одним из ведущих ее производителей в мире – Российская Федерация. Главной задачей сельскохозяйственных товаропроизводителей является получение экологически чистой продукции с высокими качественными показателями с сохранением почвенного плодородия [1–3].

В настоящее время совершенствование агротехнических приемов и повышение качественных показателей получаемой продукции является актуальной задачей. Решить эти задачи можно, применив недорогие, но важные способы при возделывании озимой пшеницы. Один из таких способов – применение регуляторов роста в сочетании с комплексными удобрениями. Правильный подбор в различных почвенно-климатических условиях и уточнение доз, сроков и кратность их внесения является актуальной задачей [4–6].

Регуляторы роста и комплексные удобрения влияют на иммунный потенциал растений, устойчивость к фитопатогенам и в конечном счете на качество и урожайность сельскохозяйственных культур. Микробиологические препараты с биофунгицидной активностью подавляют развитие инфекций, способствуют повышению устойчивости к неблагоприятным условиям [7–10].

Использование регулятора роста и комплексных удобрений улучшает жизнедеятельность почвенной микрофлоры, играет важную роль в повышении эффективности производства зерна озимых зерновых культур [11–13].

Следовательно, проведение исследований по вопросам применения биопрепаратов и минерального удобрения является актуальной задачей сельскохозяйственного производства.

Цель работы – совершенствование элементов технологии возделывания озимой пшеницы, направленных на улучшение показателей продуктив-

© Tedeeva A. A., Tedeeva V. V., 2025

ности и качества зерна, за счет применения биопрепаратов и минерального удобрения.

Задачи исследований:

– провести сравнительный анализ морфометрических показателей озимой пшеницы и всхожести под влиянием биопрепаратов и микроудобрений;

– установить влияние изучаемых регулятора роста растений и биопрепаратов на урожай и качество получаемой продукции;

– дать экономическую оценку применения регулятора роста растений и комплексных удобрений на озимой пшенице.

Методология и методы исследования (Methods)

В 2021–2023 гг. научные исследования были проведены в степной зоне Моздокского района Республики Северная Осетия-Алания на опытных полях, принадлежащих Владикавказскому научному центру. Степная зона по климату отличается от горной зоны жарким летом, малоснежной зимой с неустойчивым снежным покровом высотой 12–17 см. Осадки варьируют от 400 до 500 мм.

Почвы каштаново-карбонатные тяжелосуглинистые, с глубиной превращаются в легкосуглинистые с малым содержанием гумуса (2–4 %), pH сол. 7,0–7,05.

Схема опыта:

1. Контроль (без регулятора роста и комплексного удобрения).

2. «Бигус ВР» – регулятор роста (0,3 л/га) – опрыскивание растений в фазе развития (весной, фаза кущения).

3. «Нутривант Плюс» – комплексное удобрение (2 кг/га) – опрыскивание растений (весной, в фазе 2–3 листьев).

4. «Ультрамаг Комби» – комплексное удобрение (2 л/га) – опрыскивание в фазе 2–3 листьев.

Регуляторы роста вносились путем опрыскивания ранцевым опрыскивателем Orion в фазы кущения и колошения. Расход рабочего раствора – 300 л/га. Объектом исследований являлись сорта озимой пшеницы Баграт и Алексеич Краснодарской селекции им. П. П. Лукьяненко, предшествующей культурой являлся лен.

Общая площадь опыта – 1800 м^2. Учетная площадь – 54 м^2. Размещение вариантов рендомизированное. Повторность опыта трехкратная.

При посеве озимой пшеницы применяли комплексное удобрение «Сульфоаммофос» (азотно-фосфорное удобрение) с дозой внесения 120 кг/га. Под зяблевую вспашку вносили $N_{90}P_{90}K_{90}$ – нитроаммофоску. После зяблевой вспашки почвы провели дискование, следом культивацию культиватором КРН-5,6. Посев проводился сеялкой Amazone D9, глубина заделки семян – 5–6 см, после чего посевы озимой пшеницы прикатывались катками.

Учеты, наблюдения, отбор растительных и почвенных образцов проводили по методике Б. А. Доспехова [14].

Таблица 1

Густота стояния и перезимовка растений озимой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов (в среднем за три года)

Варианты	Алексеич			Баграт		
	Количество растений, шт/м^2		Перезимовавших растений, %	Количество растений, шт/м^2		Перезимовавших растений, %
	Кущение осеннее	Кущение весеннее		Кущение осеннее	Кущение весеннее	
1. Контроль	354	306	83,0	381	320	86,1
2. Бигус ВР, 0,3 л/га	375	326	86,0	432	402	90,1
3. Нутривант Плюс, 2 кг/га	387	348	90,0	438	407	93,1
4. Ультрамаг Комби, 2 л/га	380	333	84,1	435	404	91,7

Table 1

Density of standing and overwintering of winter wheat plants depending on the studied factors (average for three years)

Options	*Alekseich*			*Bagrat*		
	Number of plants, pcs/m^2		*Overwintered plants, %*	*Number of plants, pcs/m^2*		*Overwintered plants, %*
	Autumn tillering	*Spring tillering*		*Autumn tillering*	*Spring tillering*	
1. Control	*354*	*306*	*83,0*	*381*	*320*	*86.1*
2. Bigus VR, 0.3 l/ha	*375*	*326*	*86,0*	*432*	*402*	*90.1*
3. Nutrivant Plyus, 2 kg/ha	*387*	*348*	*90,0*	*438*	*407*	*93.1*
4. Ul'tramag Kombi, 2 l/ha	*380*	*333*	*84,1*	*435*	*404*	*91.7*

Результаты (Results)

При возделывании озимой пшеницы главным фактором в осенний период является получение хороших, дружных всходов. Этот период развития характеризуется важными физиологическими и морфологическими процессами, что в дальнейшем влияет на перезимовку и урожайность [15]. В наших исследованиях регулятор роста, минеральное удобрение и микроудобрение во всех вариантах опытов повышали густоту стояния растений по-разному (таблица 1).

Выявлено, что изучаемые факторы повышали густоту стояния растений и процент перезимовавших растений. Так, по изучаемому сорту Алексеич густота стояния растений в фазу осеннего кущения под влиянием регулятора роста «Бигус ВР» была выше контрольного варианта на 21 шт/м^2. Минеральное удобрение «Нутривант Плюс» увеличивал этот показатель на 33 шт/м^2, перезимовавших растений больше по данному сорту по сравнению с контролем на 7,0 %.

По сорту озимой пшеницы Баграт получены лучшие результаты. Густота стояния растений в фазу осеннего кущения на контроле составила 381 шт/м^2, с применением регулятора роста «Бигус ВР» – 432 шт/м^2, что на 51 шт/м^2, или 13,3 %, больше. С применением минерального удобрения «Нутривант Плюс» данный показатель увеличивался на 57 шт/м^2, или на 14,9 %, по сравнению с контролем.

У изучаемого сорта озимой пшеницы Баграт процент перезимовавших растений на контроле составил 86,1 %, с применением регулятора роста «Бигус ВР» этот показатель был незначительно выше и составил 90,1 %.

Наиболее высокий процент перезимовки наблюдался по варианту применения минерального удобрения «Нутривант Плюс» (с нормой 2 кг/га) и составил 93,1 %.

Жизненный цикл растений характеризуется ростом и развитием, которые неразрывно связаны между собой. Ростовые процессы у растений зависят от внешних и внутренних факторов, от генетических признаков каждого сорта. Применение регулятора роста и условий внешней среды могут приводить к изменениям в процессах роста и развития растений [16; 17].

Выявлено, что в период весеннего развития высота растений изучаемых сортов озимой пшеницы колебалась в пределах 21,6–27,3 см, в фазу выхода в трубку – 38,4–52,7 см, в период фазы колошения – 62,4–74,7 см, в молочную спелость – 66,5–75,1 см (таблица 2).

Таблица 2

Действие регулятора роста, минерального удобрения и микроудобрения на высоту растений озимой пшеницы, см (в среднем за три года)

Варианты	Сорта	Период вегетации			
		Фаза кущения (весенняя)	Фаза выхода в трубку	Фаза колошения	Фаза молочной спелости
1. Контроль	Алексеич	21,6	38,4	62,4	66,5
2. Бигус ВР, 0,3 л/га		25,1	49,1	72,7	74,6
3. Нутривант Плюс, 2 кг/га		27,3	52,7	74,7	75,1
4. Ультрамаг Комби, 2 л/га		26,0	49,5	73,2	74,0
1. Контроль	Баграт	22,1	39,5	63,7	67,2
2. Бигус ВР, 0,3 л/га		26,7	49,2	73,3	75,3
3. Нутривант Плюс, 2 кг/га		28,0	53,2	75,2	76,1
4. Ультрамаг Комби, 2 л/га		26,7	50,3	74,2	74,3

Table 2

Effect of growth regulator, mineral fertilizer and microfertilizer on the height of winter wheat plants, cm (average for three years)

Options	*Varieties*	*Growing season – phases*			
		Phase tillering (spring)	*Tubing phase*	*Phase heading*	*Milk stage*
1. Control	*Alekseich*	*21.6*	*38.4*	*62.4*	*66.5*
2. Bigus VR, 0.3 l/ha		*25.1*	*49.1*	*72.7*	*74.6*
3. Nutrivant Plyus, 2 kg/ha		*27.3*	*52.7*	*74.7*	*75.1*
4. Ul'tramag Kombi, 2 l/ha		*26.0*	*49.5*	*73.2*	*74.0*
1. Control	*Bagrat*	*22.1*	*39.5*	*63.7*	*67.2*
2. Bigus VR, 0.3 l/ha		*26.7*	*49.2*	*73.3*	*75.3*
3. Nutrivant Plyus, 2 kg/ha		*28.0*	*53.2*	*75.2*	*76.1*
4. Ul'tramag Kombi, 2 l/ha		*26.7*	*50.3*	*74.2*	*74.3*

Таблица 3

Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов, т/га (в среднем за три года)

Варианты	Сорта	Вес 1000 семян, г	Продуктивность, т/га	Прибавка, т/га	Натура зерна, г/л	Белок, %	Клейковина, %
1. Контроль	Алексеич	38,8	3,79	–	760	13,10	20,8
2. Бигус ВР, 0,3 л/га		40,7	4,43	0,64	769	15,29	21,2
3. Нутривант Плюс, 2 кг/га		42,7	4,59	0,8	781	16,00	25,4
4. Ультрамаг Комби, 2 л/га		40,3	4,47	0,68	771	15,10	24,9
$НСР_{05}$			0,39				
1. Контроль	Баграт	39,7	4,00	–	766	13,90	21,0
2. Бигус ВР, 0,3 л/га		41,7	4,57	0,57	774	15,20	22,5
3. Нутривант Плюс, 2 кг/га		44,2	4,70	0,7	788	16,10	26,8
4. Ультрамаг Комби, 2 л/га		43,0	4,45	0,45	776	15,23	25,1
$НСР_{05}$			0,45				

Table 3

Productivity of winter wheat depending on the factors studied, t/ha (on average for three years)

Options	*Varieties*	*Weight of 1000 seeds, g*	*Productivity, t/ha*	*Increase, t/ha*	*Nature of grain, g/l*	*Protein, %*	*Gluten,%*
1. Control	*Alekseich*	*38.8*	*3.79*	–	*760*	*13.10*	*20.8*
2. Bigus VR, 0.3 l/ha		*40.7*	*4.43*	*0.64*	*769*	*15.29*	*21.2*
3. Nutrivant Plyus, 2 kg/ha		*42.7*	*4.59*	*0.8*	*781*	*16.00*	*25.4*
4. Ul'tramag Kombi, 2 l/ha		*40.3*	*4.47*	*0.68*	*771*	*15.10*	*24.9*
LSD_{05}			*0.39*				
1. Control	*Bagrat*	*39.7*	*4.00*	–	*766*	*13.90*	*21.0*
2. Bigus VR, 0.3 l/ha		*41.7*	*4.57*	*0.57*	*774*	*15.20*	*22.5*
3. Nutrivant Plyus, 2 kg/ha		*44.2*	*4.70*	*0.7*	*788*	*16.10*	*26.8*
4. Ul'tramag Kombi, 2 l/ha		*43.0*	*4.45*	*0.45*	*776*	*15.23*	*25.1*
LSD_{05}			*0.45*				

По сорту озимой пшеницы Баграт получены аналогичные показатели. С применением регулятора роста «Бигус ВР» (с нормой внесения 0,3 л/га) высота растений в конце фазы весеннего кущения составила от 26,7 см, в фазу выхода в трубку – 49,2 см, в период колошения – 73,3 см, в фазу молочной спелости – 75,3 см. В обоих изучаемых сортах наивысшие показатели по высоте растений наблюдаются с применением комплексного удобрения «Нутривант Плюс» (с нормой 2 кг/га). По сорту Алексеич в фазу молочной спелости показатель составил 75,1 см, по сорту Баграт – 76,1 см. Интенсивный рост наблюдался в период фазы выхода в трубку – колошения, где высота растений увеличивалась в 1,3–1,5 раза по сравнению с контролем. Менее интенсивный рост растений отмечен в период от фазы колошения до фазы молочной спелости и составил несколько сантиметров в зависимости от рассматриваемых препаратов.

В исследованиях установлено, что число продуктивного стеблестоя озимой пшеницы по сорту Алексеич на контрольном варианте составило 316,1 шт/м^2, количество семян в одном колосе – 27,3 шт., масса одного колоса – 1,26 г, масса 1000 семян – 38,8 г. В условиях нашего опыта изучаемые факторы способствовали повышению этих показателей по обоим изучаемым сортам независимо от вида вносимых биопрепаратов. Применение комплексного удобрения «Нутривант Плюс» (с нормой 2 кг/га) оказало влияние на все элементы структуры урожая, по сорту Алексеич продуктивный стеблестой составил 379,0 шт/м^2, количество зерен – 33,5 шт, масса одного колоса – 1,39 г, масса 1000 зерен – 42,7 г.

По сорту озимой пшеницы Баграт получены аналогичные показатели: на контрольном варианте масса 1000 зерен составила 39,7 г, с применением комплексного удобрения «Нутривант Плюс» –

44,2 г, что выше контрольного варианта на 4,5 г. Наиболее весомый колос был сформирован по сорту озимой пшеницы Баграт – 1,42 г на варианте применения «Нутриванта Плюс». Из изучаемых факторов наименьшие показатели получены при обработке растений озимой пшеницы регулятором роста «Бигус ВР», где по сорту озимой пшеницы Алексеич стеблестой составил 355,2 шт/м^2, число зерен в одном колосе – 30,3 шт., зерен с 1 колоса – 1,35 г, масса 1000 семян – 40,7 г, хотя по сорту Баграт эти показатели были выше. Применение комплексного удобрения «Ультрамаг Комби» (с нормой применения 2 л/га) немного уступал варианту с «Нутривантом Плюс».

Одним из определяющих показателей эффективности ведения сельскохозяйственного производства является урожайность (таблица 3).

По сорту Алексеич на контрольном варианте урожайность составила 3,79 т/га, при внесении регулятора роста «Бигус ВР» – 4,43 т/га, комплексного удобрения «Ультрамаг Комби» – 4,47 т/га. Максимальные значения по урожайности зерна отмечены по обоим изучаемым сортам с применением комплексного удобрения «Нутривант Плюс», где она составила 4,59 и 4,70 т/га, что превышает значения контрольного варианта на 0,7 и 0,8 т/га соответственно. Применение препаратов «Бигус ВР» и «Ультрамаг Комби» повысило урожайность в среднем на 16,8–17,9 % по сорту Алексеич и на 11,3–14,3 % по сорту Баграт по сравнению с контрольным вариантом (таблица 3).

Таблица 4

Экономическая эффективность в зависимости от применения регулятора роста, минерального удобрения и микроудобрения на посевах озимой пшеницы (в среднем за три года)

Варианты	Сорта	Урожайность зерна, т/га	Стоимость затрат на 1 га, тыс. руб.	Себестоимость 1 тонны, руб.	Стоимость в ценах реализации, тыс. руб.	Себестоимость реализационной продукции, тыс. руб.	Чистый доход с 1 га, тыс. руб.	Уровень рентабельности, %
1. Контроль	Алексеич	3,79	32,00	8,44	49,27	32,00	17,27	53,9
2. Бигус ВР, 0,3 л/га		4,43	32,72	7,38	57,59	32,72	24,87	76,0
3. Нутривант Плюс, 2 кг/га		4,59	34,24	7,45	59,67	34,24	25,43	74,2
4. Ультрамаг Комби, 2 л/га		4,47	32,68	7,31	58,11	32,68	25,43	77,8
1. Контроль	Баграт	4,00	32,00	8,00	52,00	32,00	20,00	62,5
2. Бигус ВР, 0,3 л/га		4,57	32,72	7,15	59,41	32,72	26,69	81,5
3. Нутривант Плюс, 2 кг/га		4,70	34,24	7,28	61,10	34,24	26,86	78,4
4. Ультрамаг Комби, 2 л/га		4,45	32,68	7,34	57,85	32,68	25,17	77,0

Примечание. Реализационная цена 1 т пшеницы – 13 000 руб. Стоимость регулятора роста «Бигус ВР» – 215 руб/л. Стоимость регулятора роста «Нутривант Плюс» – 1122 руб/л. Стоимость регулятора роста «Ультрамаг Комби» – 342 руб/л.

Table 4

Economic efficiency depending on the use of growth regulator, mineral fertilizer and microfertilizer on winter wheat crops (on average for three years)

Options	*Varieties*	*Grain yield, t/ha*	*Cost of expenses per 1 ha, thousand/rub*	*Cost of 1 tonn, rub.*	*Cost in selling prices, thousand/rub*	*Cost of sales products, thousand/rub*	*Net income from 1 ha, thousand/rub*	*Profitability level, %*
1. Control	*Alekseich*	*3.79*	*32.00*	*8.44*	*49.27*	*32.00*	*17.27*	*53.9*
2. Bigus VR, 0.3 l/ha		*4.43*	*32.72*	*7.38*	*57.59*	*32.72*	*24.87*	*76.0*
3. Nutrivant Plyus, 2 kg/ha		*4.59*	*34.24*	*7.45*	*59.67*	*34.24*	*25.43*	*74.2*
4. Ul'tramag Kombi, 2 l/ha		*4.47*	*32.68*	*7.31*	*58.11*	*32.68*	*25.43*	*77.8*
1. Control	*Bagrat*	*4.00*	*32.00*	*8.00*	*52.00*	*32.00*	*20.00*	*62.5*
2. Bigus VR, 0.3 l/ha		*4.57*	*32.72*	*7.15*	*59.41*	*32.72*	*26.69*	*81.5*
3. Nutrivant Plyus, 2 kg/ha		*4.70*	*34.24*	*7.28*	*61.10*	*34.24*	*26.86*	*78.4*
4. Ul'tramag Kombi, 2 l/ha		*4.45*	*32.68*	*7.34*	*57.85*	*32.68*	*25.17*	*77.0*

Note. Selling price 1t. wheat – 13 000 rub. The cost of the growth regulator "Bigus VR" is 215 rubles/l. The cost of the growth regulator "Nutrivant Plyus" is 1122 rubles/l. The cost of the growth regulator "Ul'tramag Kombi" is 342 rubles/l.

Исследованиями установлено, что применяемые препараты улучшили показатели качества зерна озимой пшеницы. При внесении комплексного удобрения «Нутривант Плюс» (с нормой применения 2 кг/га) натура зерна составила по сорту Алексеич 781 г/л, по сорту Баграт – 788 г/л, тогда как на контрольном варианте натура зерна составила 760 и 766 л/га соответственно. Показатели натуры зерна на всех вариантах опыта превосходили показатели контрольного варианта. У изучаемых сортов озимой пшеницы процентное содержание белка составило 13,10–16,10 %. Содержание клейковины в зависимости от применения препаратов в зерне озимой пшеницы определялось изучаемыми факторами. Так, на контрольном варианте содержание клейковины по сорту озимой пшеницы Алексеич составило 13,10 %, с обработкой регулятором роста «Бигус ВР» оно увеличилось на 2,19 %, по комплексным удобрениям «Нутривант Плюс» – на 2,9 %, «Ультрамаг Комби» – на 2,0 %.

По сорту озимой пшеницы Баграт получены аналогичные показатели по содержанию клейковины. Наибольшие показатели клейковины получены на варианте опыта, где обработка посевов проведена «Нутривантом Плюс» по сорту озимой пшеницы Баграт и составила 26,8 %, что на 5,8 % выше контрольного варианта.

Применение регулятора роста, минерального удобрения и микроудобрения оказало положительное влияние на экономическую эффективность при возделывании озимой пшеницы в степной зоне РСО-Алания (таблица 4).

Из таблицы 4 видно, что применяемые регулятор роста и комплексные удобрения оказывают положительный эффект при возделывании озимой пшеницы. По сорту озимой пшеницы Алексеич при максимальной урожайности 4,59 т/га с применением «Нутриванта Плюс» чистый доход составил 25,43 руб/га, уровень рентабельности – 74,2 %.

По сорту озимой пшеницы Баграт наибольшая урожайность отмечена также на варианте с применением комплексного удобрения «Нутривант Плюс», где прибавка составила от 0,4 до 0,8 т/га.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По обоим изучаемым сортам с применением комплексного удобрения «Нутривант Плюс» урожайность составила 4,59–4,70 т/га, что превышает значения контрольного варианта на 0,7 0,8 т/га. Применение препаратов «Бигус ВР» и «Ультрамаг Комби» повысили урожайность в среднем на 3,9 и 4,8 % по сорту Алексеич, 5,0 и 8,3 % по сорту Баграт.

Применяемые регулятор роста и комплексные удобрения оказывают положительный эффект при возделывании озимой пшеницы. По сорту озимой пшеницы Алексеич при максимальной урожайности 4,59 т/га с применением «Нутриванта Плюс» чистый доход составил 25,43 руб/га, уровень рентабельности – 74,2 %. По сорту озимой пшеницы Баграт наибольшая урожайность отмечена также на варианте с применением «Нутриванта Плюс» – 4,70 т/га при уровне рентабельности 78,4 %.

Библиографический список

1. Маркин В. Д., Маркин П. В., Щетинин П. Б. Посевные качества семян сортов озимой пшеницы [Электронный ресурс] // 2021. Т. 4., № 3. URL: https://elibrary.ru/eyelet (дата обращения: 22.08.2025).

2. Мамсиров Н. И., Кишев А. Ю., Мнатсаканян А. А. Оптимизация питательного режима озимой пшеницы // Аграрный Вестник Урала. 2022. № 10 (225). С. 21–32. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-225-10-21-32.

3. Горяников Ю. В., Хубиева З. Х. Влияние посевных качеств семян на всхожесть сортов пшеницы мягкой озимой // Вестник АПК Ставрополья. 2019. № 4 (36). С. 60–64. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-36-60-64.

4. Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Дробот И. А. Зимостойкий сорт озимой пшеницы Изаура для сложных климатических условий Уральского региона // Аграрный вестник Урала. 2023. № 04 (233). С. 40–50. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-233-04-40-50.

5. Ленточкин А. М. Слагаемые продуктивности сортов яровой пшеницы // Аграрный вестник Урала. 2023. № 09 (238). С. 41–51. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-09-41-51.

6. Тедеева В. В., Абаев А. А., Тедеева А. А., Мамиев Д. М. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста нового поколения на посевах озимой пшеницы в условиях степной зоны РСО-Алания [Электронный ресурс] // Известия Горского государственного аграрного университета. 2020. Т. 57, № 1. URL: https://elibrary.ru/rippqd (дата обращения: 22.08.2025).

7. Юсов В. С., Евдокимов М. Г., Шпигель А.Л. Комбинационная способность сортов и линий яровой твердой пшеницы по элементам продуктивности и качеству клейковины // Аграрный вестник Урала. 2022. № 9. С. 59–70. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-59-70.

8. Девтерова Н. И., Благополучная О. А. Урожайность пшеницы озимой в зависимости от использования биологических, химических факторов и возобновляемых биоресурсов при уменьшении интенсивности обработки почвы [Электронный ресурс] // Новые технологии. 2018. № 3. URL: https://elibrary.ru/vnpurt (дата обращения: 22.08.2025).

9. Лаптина Ю. А., Гиченкова О. Г., Куликова Н. А., Ситкалиев А. П. Оценка эффективности биопрепаратов-деструкторов на микробиологическую активность светло-каштановой почвы под овощными культурами // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 211–219. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-22.

10. Мнатсаканян А. А., Васюков П. П., Чуварлеева Г. В., Лесовая Г. М. Агротехнологические основы применения регуляторов роста и водорастворимого микробиоудобрения на озимой пшенице [Электронный ресурс] // Таврический вестник аграрной науки. 2017. №. 3. URL: https://elibrary.ru/zwqstt (дата обращения: 22.08.2025).

11. Радченко Л. А., Ганоцкая Т. Л., Радченко А. Ф., Бабанина С. С. Сроки сева и их влияние на урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6 (78). С. 95–103. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-95-103.

12. Оленин О. А., Зудилин С. Н. Элементы органической технологии возделывания ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрный вестник Урала. 2022. № 3. С. 13–23. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-218-03-13-23.

13. Тедеева А. А., Абаев А. А., Мамиев Д. М., Тедеева В. В., Хохоева Н. Т. Эффективность гербицидов на посевах озимой пшеницы в условиях степной зоны республики Северная Осетия-Алания // Аграрный вестник Урала. 2020. № 2 (193). С. 20–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-20-26.

14. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Книга по требованию, 2013. 349 с.

15. Kishev A. Y., Berbekov K. Z., Shibzukhova Z. S., Shibzukhov Z. G. S., Mamsirov N. I. Improvement of cultivation technology of winter durum wheat in the conditions of the Kabardino-Balkarian Republic // В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. “International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations”, FARBA 2021”. 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202125402028.

16. Vorotnikov I. L., Ukolova N. V., Monakhov S. V., Shikhanova Yu. A., Neifeld V. V. Economic aspects of the development of the “digital agriculture” system // Scientific Papers. Series: Management, Economic Engineering and Rural Development. 2020. Vol. 20, No. 1. Pp. 633–638.

17. Effect of iron nanopowder on the physiological resistance of winter wheat to low temperatures Nazarova A. A. // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Dushanbe, 2022. Article number 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012037.

Об авторах:

Альбина Ахурбековна Тедеева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Федерального центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Россия; ORCID 0000-0002-0638-5269, AuthorID 611912.
E-mail: tedeeva64@bk.ru

Виктория Витальевна Тедеева, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Федерального центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Россия; ORCID 0000-0001-7543-8355, AuthorID 936219.
E-mail: vikkimarik@bk.ru

References

1. Markin V. D., Markin P. V., Shchetinin P. B. Sowing qualities of seeds of winter wheat varieties [Internet]. 2021 [cited 2025 April 22]; 4 (3). Available from: https://elibrary.ru/eyaqef. (In Russ.)

2. Mamsirov N. I., Kishev A. Yu., Mnatsakanyan A. A. Optimization of the nutritional regime of winter wheat. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2022; 10 (225): 21–32. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-225-10-21-32. (In Russ.)

3. Goryanikov Yu. V., Khubieva Z. Kh. Influence of sowing qualities of seed on germination of sorts of wheat soft winter-annual. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region.* 2019; 4 (36): 60–64. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-36-60-64. (In Russ.)

4. Filippova E. A., Bannikova N. Yu., Drobot I. A. Winter-hardy winter wheat variety Izaura for the difficult climatic conditions of the Ural region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 04 (233): 40–50. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-233-04-40-50 (In Russ.)

5. Lentochkin A. M. Productivity components of spring wheat varieties. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 09 (238): 41–51. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-09-41-51. (In Russ.)

6. Tedeeva V. V., Abaev A. A., Tedeeva A. A., Mamiev D. M. Efficiency of using microfertilizers and new generation growth regulators on winter wheat crops in the steppe zone of North Ossetia-Alania. *News of the Gorsky State Agrarian University* [Internet]. 2020 [cited 2025 Apr 22]; 57 (1). Available from: https://elibrary.ru/rippqd. (In Russ.)

7. Yusov V. S., Evdokimov M. G., Shpigel` A. L. Combination ability of varieties and lines of spring durum wheat in terms of productivity elements and gluten quality. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2022; 9: 59–70. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-59-70. (In Russ.)

8. Devterova N. I., Blagopoluchnaya O. A. Winter wheat yield depending on the use of biological, chemical factors and renewable bioresources with reduced tillage intensity. *New Technologies* [Internet]. 2018 [cited 2025 Apr 22]; 3. Available from: https://elibrary.ru/vnpurt. (In Russ.)

9. Laptina Yu. A., Gichenkova O. G., Kulikova N. A., Sitkaliev A. P. Evaluation of the effectiveness of biological destructor products on the microbiological activity of light chestnut soil under vegetable crops. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex.* 2020; 3 (59): 211–219. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-22. (In Russ.)

10. Mnatsakanyan A. A., Vasyukov P. P., Chuvarleeva G. V., Lesovaya G. M. Agrotechnological basis for the use of growth regulators and water-soluble microbial fertilizers on winter wheat. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences* [Internet]. 2017 [cited 2025 Apr 22]; 3: 88–100. Available from: https://elibrary.ru/zwqstt. (In Russ.)

11. Radchenko L. A., Ganoczkaya T. L., Radchenko A. F., Babanina S. S. Sowing dates and their influence on the yield and grain quality of winter wheat varieties. *Grain Economy of Russia.* 2021; 6 (78): 95–103. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-95-103. (In Russ.)

12. Olenin O. A., Zudilin S. N. Elements of organic technology for the cultivation of spring barley in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 3: 13–23. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-218-03-13-23. (In Russ.)

13. Tedeeva A. A., Abaev A. A., Mamiev D. M., Tedeeva V. V., Khokhoeva N. T. The effectiveness of herbicides on winter wheat crops in the steppe zone of the Republic of North Ossetia-Alania. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; 2 (193): 20–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-20-26. (In Russ.)

14. Dospekhov B. A. *Field experience methodology: with the basics of statistical processing of research results.* Moscow: Book on Demand, 2013. 349 p. (In Russ.)

15. Kishev A. Y., Berbekov K. Z., Shibzukhova Z. S., Shibzukhov Z. G. S., Mamsirov N. I. Improvement of cultivation technology of winter durum wheat in the conditions of the Kabardino-Balkarian Republic. *In: E3S Web of Conferences. Ser. "International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations", FARBA 2021*. 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202125402028.

16. Vorotnikov I. L., Ukolova N. V., Monakhov S. V., Shikhanova Yu. A., Neifeld V. V. Economic aspects of the development of the "digital agriculture" system. *Scientific Papers. Series: Management, Economic Engineering and Rural Development.* 2020; 20 (1): 633–638.

17. Nazarova A. A. Effect of iron nanopowder on the physiological resistance of winter wheat to low temperatures. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Dushanbe, 2022. Article number 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/1010/1/012037.

Authors' information:

Albina A. Tedeeva, candidate of biological sciences, senior researcher, North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – a branch of the Federal Center "Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" of North Ossetia – Alania, Mikhaylovskoe village, RNO-Alania, Russia;
ORCID 0000-0002-0638-5269, AuthorID 611912. *E-mail: tedeeva64@bk.ru*

Viktoriya V. Tedeeva, candidate of agricultural sciences, senior researcher, North Caucasus Research Institute of Mountain and Foothill Agriculture – a branch of the Federal Center "Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" of North Ossetia – Alania, Mikhaylovskoe village, RNO-Alania, Russia;
ORCID 0000-0001-7543-8355, AuthorID 936219. *E-mail: vikkimarik@bk.ru*

УДК 633.12
Код ВАК 4.1.1
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1361-1371

Формирование продуктивности гречихи при разных сроках посева в условиях Амурской области

Э. В. Тимошенко[1]✉, **А. Г. Клыков**[2]
[1] Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия
[2] Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки, Уссурийск, п. Тимирязевский, Россия
✉*E-mail: tim.blag@mail.ru*

Аннотация. **Целью** исследований являлось определение оптимальных сроков посева гречихи сорта Девятка в условиях южной сельскохозяйственной зоны Амурской области для повышения ее продуктивности, в сравнении с традиционным для региона сортом Амурская местная. **Методы.** Полевой опыт был заложен на опытном поле Дальневосточного государственного аграрного университета в период 2020–2023 гг. Повторность опыта четырехкратная. Изучены различные агрономические сроки посева – от ранних майских до поздних июньских. Предпосевная подготовка почвы включала ранневесеннее боронование и несколько предпосевных культиваций. Общая площадь одной делянки составляла 66 м^2, учетная – 40 м^2. Способ посева – рядовой, с междурядьями 15 см, норма высева – 3,0 млн всхожих семян на гектар. Учеты и наблюдения проводились согласно методикам государственного сортоиспытания. **Научная новизна** заключается в сравнительной оценке нового для региона и традиционного сорта гречихи в условиях Амурской области, что позволило определить оптимальные сроки посева для повышения урожайности и улучшения качества зерна. **Результаты** исследования показали, что оптимальный срок посева для сорта Девятка – III декада мая, что обеспечивает максимальную урожайность до 16,5 ц/га, в то время как для сорта Амурская местная наиболее благоприятным является посев в первую декаду июня. Преждевременные и поздние сроки посева приводят к значительному снижению урожайности, обусловленному неблагоприятными погодными условиями. Полученные данные могут служить основой для разработки технологий возделывания гречихи в Амурской области, способствующих повышению урожайности и увеличению производства.

Ключевые слова: гречиха, сорт, срок посева, высота растений, масса 1000 зерен, урожайность

Для цитирования: Тимошенко Э. В., Клыков А. Г. Формирование продуктивности гречихи при разных сроках посева в условиях Амурской области // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1361–1371. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1361-1371.

Дата поступления статьи: 03.02.2025, ***дата рецензирования:*** 08.04.2025, ***дата принятия:*** 23.05.2025.

© Timoshenko E. V., Klykov A. G., 2025

Formation of buckwheat productivity at different sowing dates in the Amur region

E. V. Timoshenko[1]✉, **A. G. Klykov**[2]
[1] Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia
[2] A. K. Chaika Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Far East, Ussuriysk, Timiryazevskiy settlement, Russia
✉*E-mail: tim.blag@mail.ru*

Abstract. **The purpose** of the research was to determine the optimal sowing dates of buckwheat variety Devyatka in the conditions of the southern agricultural zone of the Amur region, to increase its productivity, in comparison with the traditional for the region variety Amurskaya mestnaya. **Methods.** The field experiment was laid on the experimental field of the Far Eastern State Agrarian University in the period of 2017–2018 and 2022–2023. Repetition of the experiment is fourfold. Various agronomic sowing dates were studied, from early May, to late June. Pre-sowing soil preparation included early spring harrowing and several pre-sowing cultivations. The total area of one plot was 66 m^2, the accounting area was 40 m^2. The sowing method was row sowing with row spacing of 15 cm, seeding rate was 3,0 million germinated seeds per hectare. Surveys and observations were carried out according to the methods of the state variety testing. **Scientific novelty** consists in the comparative analysis of new for the region and traditional buckwheat variety in the conditions of the Amur region, which allowed to determine the optimal sowing dates to increase yield and improve grain quality. **The results** of the study showed that the optimal sowing period for the Devyatka variety is the third decade of May, which ensures a maximum yield of up to 16.5 c/ha. While for Amurskaya mestnaya variety the most favorable is sowing in the first decade of June. Premature and late sowing dates lead to a significant decrease in yield due to unfavorable weather conditions. The data obtained can serve as a basis for the following.

Keywords: buckwheat, variety, sowing date, plant height, 1000 grain weight, yield

For citation: Timoshenko E. V., Klykov A. G. Formation of buckwheat productivity at different sowing dates in the Amur region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1361–1371. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1361-1371.

Date of paper submission: 03.02.2025, ***date of review:*** 08.04.2025, ***date of acceptance:*** 23.05.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Гречиха – ценная продовольственная культура. По вкусовым и питательным качествам она занимает одно из первых мест среди крупяных культур, богата легкоусвояемыми белками и углеводами, содержит большое количество органических кислот, минеральных солей и витаминов [1]. Гречиха характеризуется высоким содержанием лизина и низким содержанием глутаминовой кислоты. Благодаря своей пользе для здоровья и возможности использования в качестве функционального продукта приобретает все большую популярность [2]. Гречиха известна как отличный медонос [3]. Благодаря короткому вегетационному периоду гречиху можно использовать как страховую культуру при гибели ранних яровых зерновых культур, как покосную или пожнивную культуру [4]. Она способна угнетать однолетние сорные растения, это отличный предшественник для большинства полевых культур [5].

Принимая во внимание все полезные качества и незаменимость гречихи как продукта питания, остается проблема нестабильных и низких урожаев этой культуры [6]. Одной из главных причин являются несовершенства технологии возделывания, которая часто не учитывает изменений погодных условий конкретного региона возделывания. Решающий прием агротехники возделывания гречихи – срок посева [7]. При этом основой является знание требований гречихи к факторам внешней среды и понимание ее биологии [8]. Оптимальный срок посева должен обеспечивать такие условия для растений, чтобы всходы не попали под весенние заморозки, а период цветения – плодообразования, который продолжается в среднем 40–50 дней, не совпал с сухой и жаркой (> 30 °С) погодой. Лучшие сроки посева наступают при устойчивом прогревании почвы на глубине 8–10 см до 12–14 °С.

Проведенные исследования коллективом авторов под руководством В. М. Важова в условиях лесостепи Алтая говорят о том, что «на урожайность гречихи основополагающе влияет равномерность распределения осадков в наиболее ответственные периоды роста и развития растений гречихи. Больший объем осадков не оказывает положительного влияния на размер урожайности гречихи, также как

© Тимошенко Э. В., Клыков А. Г., 2025

меньший объем не ведет напрямую к ее уменьшению. Важнейшим аспектом здесь является равномерность распределения осадков в течение всей вегетации. Таким образом, срок посева должен быть подобран так, чтобы растения не испытывали в начальный период дефицита влаги, и ее избыточное количество во время цветения также крайне нежелательно» [9].

По данным В. П. Наумкина, «рациональные сроки посева дают большие перспективы организации в хозяйствах цветочно-нектарного конвейера, позволяющего значительно продлить медосбор и получить дополнительно высокие урожаи зерна и меда. Применение оптимальных агротехнических сроков посева позволяет увеличить нектаропродуктивность растений и урожайность зерна в 2–3 раза» [10].

В Амурской области за последние годы площадь посевов гречихи в среднем сократилась с 10–12 тыс. га до 3–4 тыс. га. Частично проблема снижения посевных площадей связана с нестабильной урожайностью по годам, которая, в свою очередь, является следствием нарушения основных агротехнологических сроков, особенно сроков посева. Таким образом, цель исследований – определить наиболее оптимальный срок посева гречихи относительно нового для региона исследований, сорта Девятка при выращивании в условиях южной сельскохозяйственной зоны Амурской области. В задачи исследований входило проанализировать изменения морфологических показателей растений, качественных характеристик зерна и урожайности гречихи сорта Девятка при посеве в разные агротехнические сроки в сравнении с традиционным для Амурской области сортом гречихи Амурская местная.

Методология и методы исследования (Methods)

Полевой опыт был проведен на опытном поле Дальневосточного государственного аграрного университета (с. Грибское Благовещенского района Амурской области). Территория опытного поля относится к южной сельскохозяйственной зоне Амурской области. Почва участка луговая черноземовидная среднемощная тяжелосуглинистая. Содержание гумуса в пахотном слое составляет 3,8–4,0 %; азота аммонийного – 11,1 ± 1,1 мг/кг, азота нитратного – 5,9 ± 1,8 мг/кг; $pH_{сол}$ = 5,5, $pH_{водн}$ = 6,3. Отмечено низкое содержание подвижного фосфора (63 ± 13 мг/кг) и высокое – обменного калия (235 ± 35 мг/кг).

Лабораторные исследования проводились на кафедре общего земледелия, растениеводства и селекции факультета агрономии и экологии Дальневосточного ГАУ [11].

Исследования по изучению сроков посева проведены в 2020–2023 гг. на двух сортах гречихи Амурская местная и Девятка. Повторность полевого опыта четырехкратная. Предпосевная обработка почвы состояла из ранневесеннего боронования и нескольких предпосевных культивациях. Посев проводили селекционной сеялкой СС-11. Сроки посева согласно схеме опыта (таблица 1).

Способ посева – рядовой, с междурядьями 15 см, норма высева – 3,0 млн всхожих семян на гектар. Глубина заделки семян – 4–5 см. Общая площадь одной делянки составляла 66 м^2, учетная – 40 м^2. Учеты и наблюдения проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989 г.). Учет и уборку урожая зерна гречихи вели при побурении на растениях 75–80 % плодов. Результаты исследований математически обработаны по методике Б. А. Доспехова с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010.

Результаты (Results)

В условиях южной сельскохозяйственной зоны Амурской области низкая влагообеспеченность и нестабильный температурный режим являются наиболее частыми причинами, ограничивающими возделывание гречихи. В случае дефицита влаги в почве на протяжении мая и июня можно наблюдать слабые всходы, а при резком колебании температуры ночью и днем – угнетенные посевы. У растений гречихи критический период потребления влаги приходится на фазы цветения и плодоношения. Для конкретного сорта гречихи важно подобрать оптимальные сроки посева, учитывая длительность его вегетационного периода. Это позволит растениям получить достаточно влаги для начала роста, во время обильного цветения не попасть в период засухи, а до наступления пониженных температур достичь полной спелости зерен 75–80 % от всего посева.

Агрометеорологические условия в годы исследований (рис. 1, 2) характеризовались нестабильными колебаниями температурного режима и неравномерным выпадением осадков, температура воздуха ниже нормы на 2–3 °С сменялась аномальной жарой, после периодов засухи наступало критическое переувлажнение почвы (выше нормы в 4–5 раз).

В 2020 году при майских сроках посева наблюдался недостаток тепла и влаги. Температурный режим второй половины июня и первой половины июля также отмечен прохладной погодой, но с достаточным количеством осадков. Чрезмерно избыточное количество осадков (выше нормы в 2,5 раза) в начале августа отрицательно сказалось на урожайности зерна гречихи.

Агрометеорологические условия 2021 года в начальный период роста и развития растений, который пришелся на II–III декаду июня, отмечены достаточно прохладной температурой воздуха. Критическое переувлажнение почвы отмечены в июле и августе, в основной период цветения и формирования урожая.

Таблица 1

Схема опытов по годам исследований

2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
II декада мая III декада мая I декада июня II декада июня	II декада мая III декада мая I декада июня	II декада мая III декада мая I декада июня	II декада мая III декада мая I декада июня

Table 1

The scheme of experiments by years of research

2020	*2021*	*2022*	*2023*
II decade of May *III decade of May* *I decade of June* *II decade of June*	*II decade of May* *III decade of May* *I decade of June*	*II decade of May* *III decade of May* *I decade of June*	*II decade of May* *III decade of May* *I decade of June*

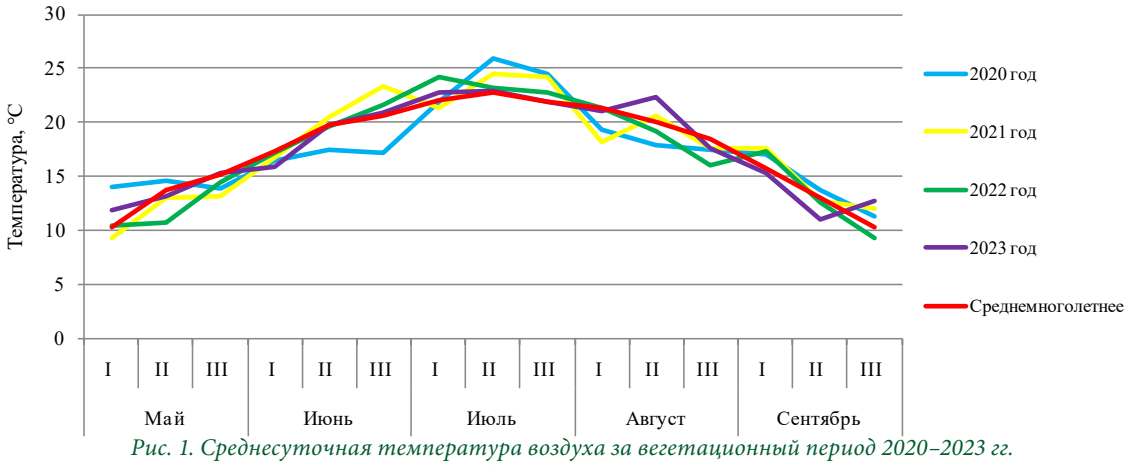


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха за вегетационный период 2020–2023 гг. в сравнении со среднемноголетними значениями, °С

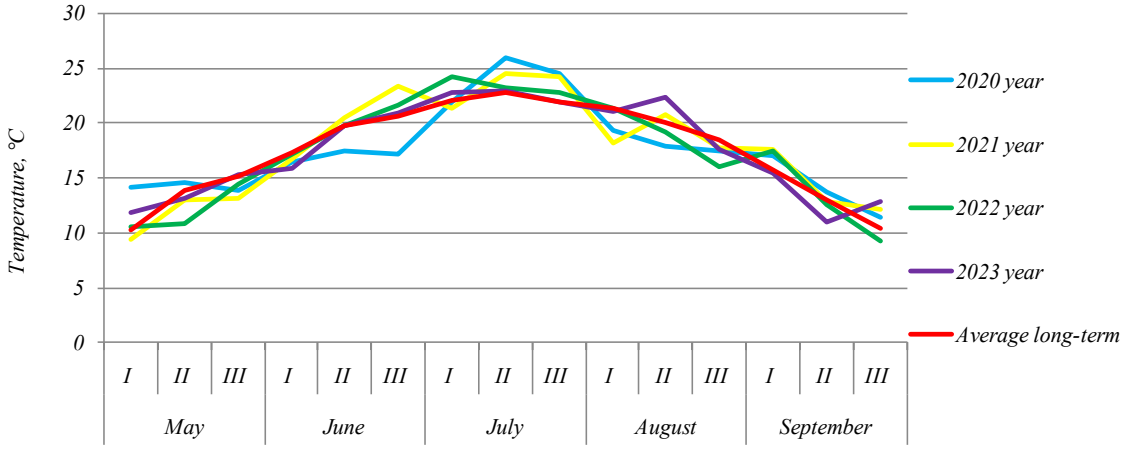


Fig. 1. The average daily air temperature for the growing season 2020–2023 in comparison with the average annual values, °C

Наиболее благоприятные погодные условия для возделывания гречихи отмечены в 2022 и в 2023 годах, без резких колебаний температурного режима и относительно равномерным выпадением осадков.

Высокий урожай гречихи обусловлен хорошими показателями развития растений, которыми являются рост растений в высоту, наличие боковых ветвей, количество и масса зерен с одного растения. Данные показатели зависят от условий и времени посева как на первоначальных этапах, так и период созревания плодов (таблица 2).

Высота стебля оказывает влияние на размер урожая: увеличивается количество боковых ветвей и кистей, цветков и плодов, а также площадь листовой поверхности, что способствует более интенсивному освещению посева, а также к этому прибавляется увеличение продуктивности фотосинтеза и накопления сухого вещества. Однако чрезмерно высокие растения могут снижать механические свойства тканей стебля, что приводит к полеганию растений [12–14].

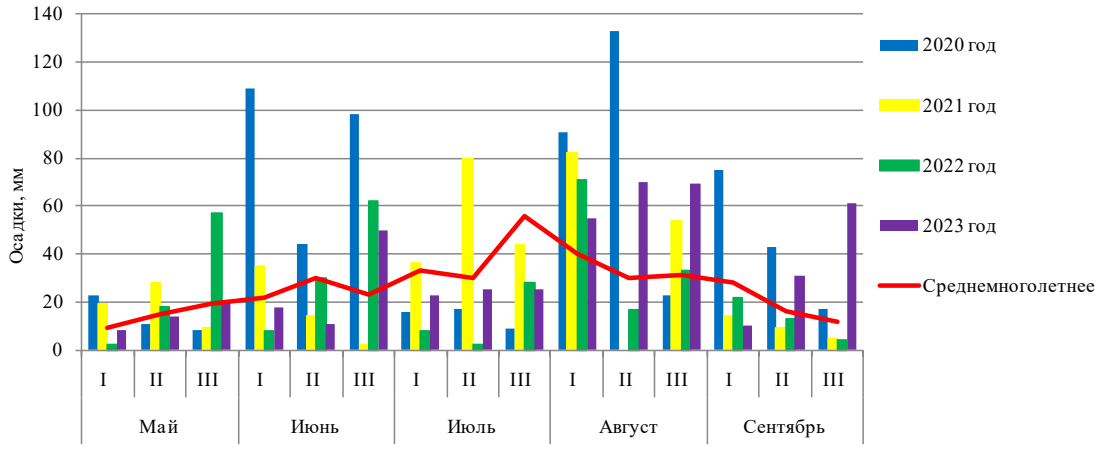


Рис. 2. Атмосферные осадки за вегетационный период 2020–2023 гг. в сравнении со среднемноголетними значениями, мм

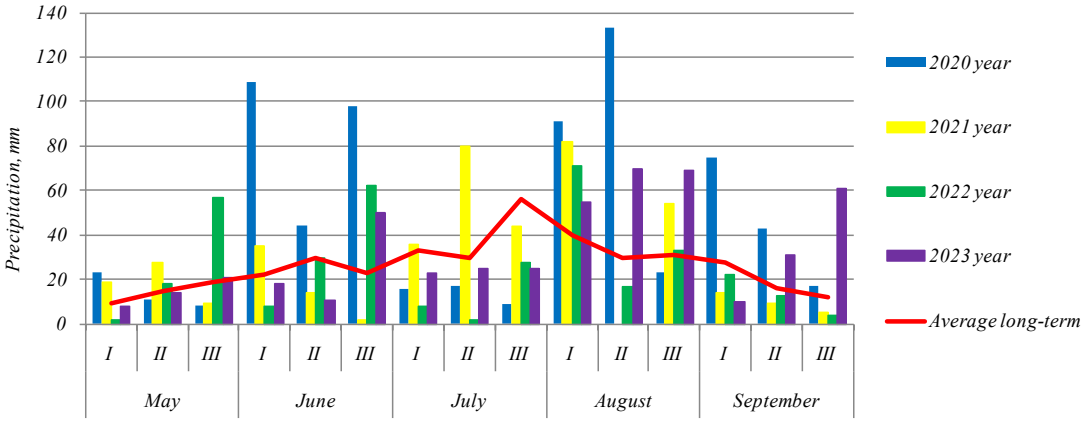


Fig. 2. Atmospheric precipitation for the growing season 2020–2023 in comparison with the average annual values, mm

Таблица 2

Морфологические показатели растений гречихи при разных сроках посева (2020–2023 гг.)

Вариант	Девятка				Амурская местная			
	Количество боковых ветвей, шт.	Высота растений, см	Количество зерна, шт/раст	Масса зерна, г/раст	Количество боковых ветвей, шт.	Высота растений, см	Количество зерна, шт/раст	Масса зерна, г/раст
II декада мая	3	107,1	104	2,9	3	103,3	48	1,3
III декада мая	6	98,2	207	7,6	2	84,0	67	1,8
I декада июня	5	96,5	170	5,3	4	94,3	213	5,9
II декада июня	4	93,6	127	5,0	4	97,7	135	3,8
$НСР_{05}$		5,2	12	0,5	1	4,7	14	0,5

Table 2

Morphological parameters of buckwheat plants at different sowing dates (2020–2023)

Option	*Devyatka*				*Amurskaya mestnaya*			
	Number of side branches, pieces	*Plant height, cm*	*Number of grains, pcs/plant*	*Grain weight, g/plant*	*Number of side branches, pieces*	*Plant height, cm*	*Number of grains, pcs/plant*	*Grain weight, g/plant*
II decade of May	*3*	*107.1*	*104*	*2.9*	*3*	*103.3*	*48*	*1.3*
III decade of May	*6*	*98.2*	*207*	*7.6*	*2*	*84.0*	*67*	*1.8*
I decade of June	*5*	*96.5*	*170*	*5.3*	*4*	*94.3*	*213*	*5.9*
II decade of June	*4*	*93.6*	*127*	*5.0*	*4*	*97.7*	*135*	*3.8*
LSD_{05}		*5.2*	*12*	*0.5*	*1*	*4.7*	*14*	*0.5*

Таблица 3

Урожайность зерна гречихи при разных сроках посева (среднее за 2020–2023 гг.)

Срок посева	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее X_i
II декада мая	6,8/7,5	9,5/13,8	7,0/14,8	7,2/14,2	7,6/12,6
III декада мая	7,8/8,2	9,7/18,7	9,5/15,7	11,5/17,3	9,6/15,0
I декада июня	8,5/6,5	9,5/6,9	12,8/11,2	13,1/11,0	11,0/8,9
II декада июня	3,6/2,4	–	–	–	3,6*/2,4*
$\sum X_i j$	26,7/24,6	28,7/39,4	29,3/41,7	31,8/42,5	
Среднее $X_i j$	6,7/6,2	9,6/13,1	9,8/13,9	10,6/14,2	
$НСР_{05}$	0,4/0,5	0,2/0,3	0,3/0,6	1,0/1,2	

Примечание. В числителе показаны данные по гречихе сорта Амурская местная; в знаменателе – по гречихе сорта Девятка.
**– данные за один год.*

Table 3

Buckwheat grain yield at different sowing dates (average for 2020–2023)

Sowing date	*2020*	*2021*	*2022*	*2023*	*Average X_i*
II decade of May	*6.8/7.5*	*9.5/13.8*	*7.0/14.8*	*7.2/14.2*	*7.6/12.6*
III decade of May	*7.8/8.2*	*9.7/18.7*	*9.5/15.7*	*11.5/17.3*	*9.6/15.0*
I decade of June	*8.5/6.5*	*9.5/6.9*	*12.8/11.2*	*13.1/11.0*	*11.0/8.9*
II decade of June	*3.6/2.4*	–	–	–	*3.6*/2.4**
$\sum X_i j$	*26.7/24.6*	*28.7/39.4*	*29.3/41.7*	*31.8/42.5*	
Mean $X_i j$	*6.7/6.2*	*9.6/13.1*	*9.8/13.9*	*10.6/14.2*	
LSD_{05}	*0.4/0.5*	*0.2/0.3*	*0.3/0.6*	*1.0/1.2*	

*Note. The numerator shows data on buckwheat of the Amurskaya mestnaya variety; the denominator shows data on buckwheat of the Devyatka. *– one-year data.*

Анализ данных, представленных в таблице 2, говорит о том, что срок посева оказывает прямое влияние на морфологические показатели растений. У исследуемого сорта гречихи Девятка более продуктивные растения отмечены при втором сроке посева (III декада мая). Так, количество боковых ветвей при втором сроке составило 6 шт/растение при оптимальной высоте растений – 98,2 см. Также при втором сроке отмечена наибольшая озерненность в пересчете на одно растение (207 шт/растение) с массой зерна 7,6 г/растение.

Таким образом, более высокие и продуктивные показатели растений гречихи сорта Девятка были получены при посеве в III декаде мая. В этот период почва достаточно прогрета, нет пониженных температур в ночное время. Цветение проходит при оптимальных условиях. При более ранних посевах растения страдают от недостатка тепла, а при июньских сроках цветение растений проходит в июльский зной, сменяющийся проливными дождями, что отрицательно сказывается на продуктивности растений.

Для гречихи сорта Амурская местная, учитывая биометрические показатели, лучшим сроком посева определена I декада июня. При посеве в этот период растения отличались повышенной ветвистостью (5 шт/растение) и озерненностью (228 шт/растение) с массой зерна 6,4 г/растение.

Самым важным и определяющим критерием всех агрономических исследований является урожайность, так как именно количество и качество полученного урожая определяет эффективность изучаемого приема технологии. По представленным данным можно сделать вывод о результатах изучения сроков посева (таблица 3).

В результате исследований установлено, что относительно новый для региона сорт гречихи Девятка отличается более высокой урожайностью в сравнении с традиционным здесь сортом Амурская местная. Урожайность обоих сортов имеет значительные колебания по годам и по срокам посева.

У сорта Девятка за годы исследований максимальная урожайность наблюдается при посеве в III декаде мая, средняя урожайность составляет 16,0 ц/га. Вторым по урожайности (13,8 ц/га) является посев во II декаду мая. Остальные сроки отмечены более низкими показателями. У сорта Амурская местная, наоборот, урожайность увеличивается с более поздними сроками посева, достигая максимума при посеве в I декаде июня (10,6 ц/га).

Далее представлены графики взаимосвязи сроков посева и урожайности гречихи сортов Девятка и Амурская местная (рис. 3, 4).

По обоим сортам уравнения регрессии и коэффициент R^2 указывают на достаточно высокую степень корреляции между переменными. Это свидетельствует о том, что изменение срока посева существенно влияет на уровень урожая.

Масса 1000 зерен и выход крупы являются важнейшими качественными показателями, определяющими не только урожайность, но и качество продукции переработки. Оба эти показателя тесно взаимосвязаны. Чем крупнее и плотнее зерно, тем больший выход крупы можно ожидать при его пе-

реработке. Крупные зерна имеют большую долю эндосперма, которая является основным компонентом крупы, поэтому их использование приводит к увеличению выхода готового продукта. Кроме того, крупные зерна легче поддаются обрушиванию, очистке и шлифовке, что также способствует повышению эффективности технологического процесса.

Выход крупы показывает, сколько конечного продукта можно получить из определенного объема зерна. Оба параметра влияют на экономическую эффективность переработки: чем крупнее зерно и выше выход крупы, тем больше продукции можно произвести, что снижает затраты и увеличивает прибыль.

Выход крупы определяется как процентное соотношение массы полученного продукта (крупы) к исходному сырью (зерен). Этот показатель имеет большое значение для производителей и переработчиков, так как он напрямую влияет на рентабельность процесса переработки. Высокий выход крупы означает, что из каждого килограмма сырья можно получить больше готовой продукции, что снижает производственные издержки и увеличивает прибыль предприятия [15; 16] (таблица 4).

При анализе показателя выхода крупы отмечено, что у сорта Девятка в целом этот показатель выше, чем у сорта Амурская местная. Выход ядра у сорта Девятка снижается с более поздними сроками посева. Максимальный показатель получен при посеве в III декаде мая – 77,3 %. У сорта Амурская местная выход ядра при посеве в I декаде июня получен – 76,6 %, что выше, чем при остальных сроках посева.

Масса 1000 зерен представляет собой важный показатель, характеризующий крупность и выполненность зерна, и широко применяется в агрономических исследованиях для оценки влияния различных факторов на качество урожая. Этот параметр отражает среднюю массу 1000 зерен и служит показателем степени развития растений и удовлетворенности условиями, в которых они находились в период вегетации.

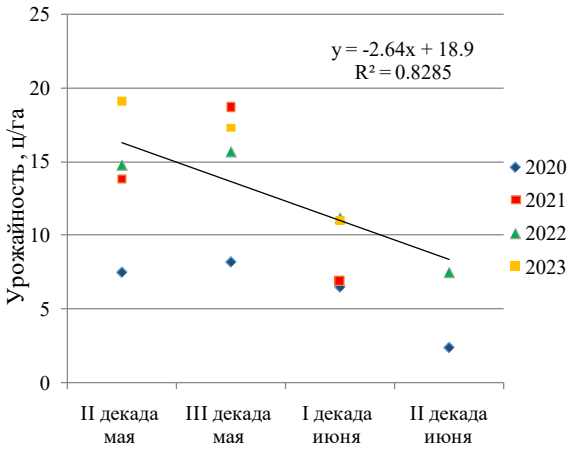


Рис. 3. Математическая зависимость влияния срока посева (X) на формирование урожая зерна (Y) гречихи сорта Девятка

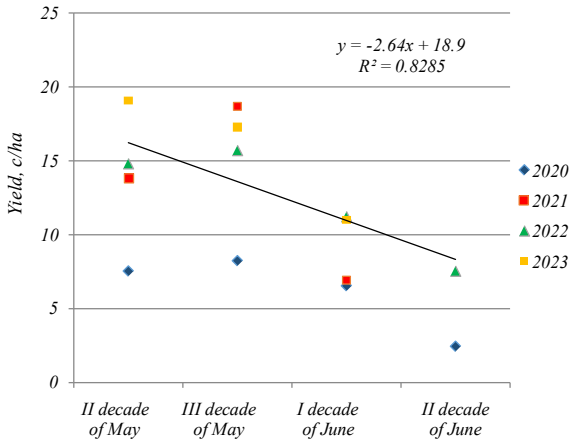


Fig. 3. Mathematical dependence of the influence of sowing date (X) on the formation of grain yield (Y) of buckwheat variety Devyatka

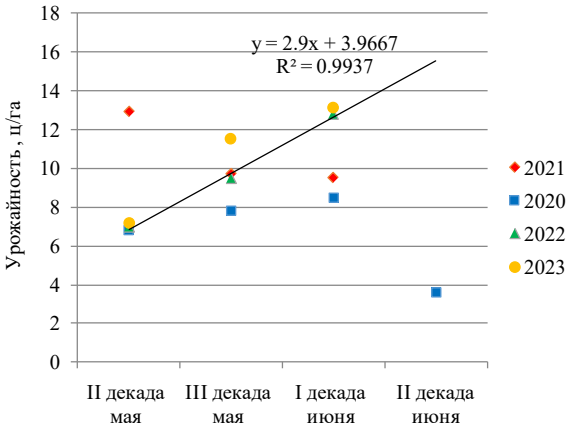


Рис. 4. Математическая зависимость влияния срока посева (X) на формирование урожая зерна (Y) гречихи сорта Амурская местная

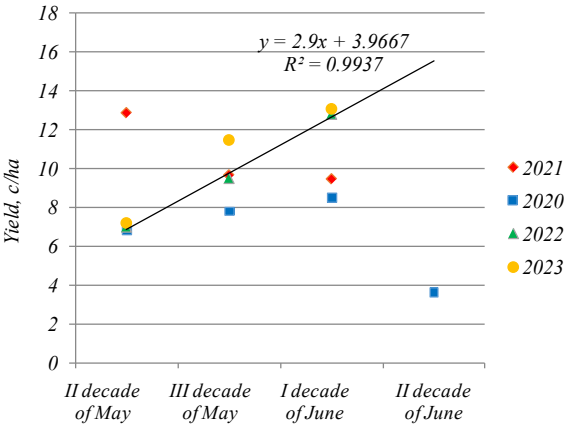


Fig. 4. Mathematical dependence of the effect of sowing date (X) on the formation of grain yield (Y) of buckwheat variety Amurskaya mestnaya

Таблица 4

Технологические показатели зерна сортов гречихи при различных сроках посева (2020–2023 гг.)

Вариант	Девятка		Амурская местная	
	Пленчатость, %	Выход крупы, %	Пленчатость, %	Выход крупы, %
II декада мая	23,8	76,2	24,5	75,5
III декада мая	22,7	77,3	24,1	75,9
I декада июня	25,4	74,6	23,4	76,6
II декада июня	26,8	73,2	27,1	72,9

Table 4

Technological quality indicators of buckwheat grain varieties under different sowing times (2020–2023)

Option	*Devyatka*		*Amurskaya mestnaya*	
	Filminess, %	*Groat yield, %*	*Filminess, %*	*Groat yield, %*
II decade of May	*23.8*	*76.2*	*24.5*	*75.5*
III decade of May	*22.7*	*77.3*	*24.1*	*75.9*
I decade of June	*25.4*	*74.6*	*23.4*	*76.6*
II decade of June	*26.8*	*73.2*	*27.1*	*72.9*

Таблица 5

Масса 1000 зерен гречихи при разных сроках посева (среднее за 2020–2023 гг.)

Срок посева	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее по сроку посева
II декада мая	22,3/28,3	23,3/30,3	23,2/32,8	24,6/32,7	23,4/31,0
III декада мая	23,3/28,9	24,8/34,6	25,5/35,8	25,8/33,9	24,9/33,3
I декада июня	24,7/27,4	25,0/29,9	27,1/34,6	26,3/32,1	25,8/31,0
II декада июня	25,8/26,1	–	–		25,8*/26,1*
Среднее по году исследования	24,0/27,8	24,4/31,6	24,3/34,4	25,6/32,9	

Примечание. В числителе показаны данные по гречихе сорта Амурская местная; в знаменателе – по гречихе сорта Девятка.
**– данные за один год.*

Table 4

The mass of 1000 buckwheat grains at different sowing dates (average for 2020–2023)

Option	*2017*	*2018*	*2022*	*2023*	*Average by sowing date*
II decade of May	*22.3/28.3*	*23.3/30.3*	*23.2/32.8*	*24.6/32.7*	*23.4/31.0*
III decade of May	*23.3/28.9*	*24.8/34.6*	*25.5/35.8*	*25.8/33.9*	*24.9/33.3*
I decade of June	*24.7/27.4*	*25.0/29.9*	*27.1/34.6*	*26.3/32.1*	*25.8/31.0*
II decade of June	*25.8/26.1*	–	–		*25.8*/26.1**
Average by year of research	*24.0/27.8*	*24.4/31.6*	*24.3/34.4*	*25.6/32.9*	

*Note. The numerator shows data for the buckwheat variety Amurskaya mestnaya ; the denominator shows data for the buckwheat variety Devyatka. *– one-year data.*

В условиях проведения исследований по изучению влияния различных сроков посева на продуктивность гречихи масса 1000 зерен использовалась как индикатор, позволяющий оценить влияние конкретных сроков посева на формирование качественных характеристик зерна. Этот показатель помогает определить, насколько благоприятными были условия для роста и развития растений в разные периоды времени после посева.

Чем больше масса 1000 зерен, тем выше считается качество зерна, поскольку оно свидетельствует о том, что растения получили достаточное количество питательных веществ и влаги, необходимых для формирования полноценного и крупного зерна. Соответственно, если растения попали в более комфортные условия, такие как оптимальное сочетание температуры, влажности почвы и освещения, то зерно, как правило, получается более крупным и качественным. Анализируя изменения массы 1000 зерен в зависимости от срока посева, можно сделать вывод о том, какие условия являются наиболее подходящими для выращивания, и, соответственно, выбрать оптимальный срок посева для достижения максимальной продуктивности и высокого качества урожая (таблицы 5).

Исследования показали, что сорт Девятка формирует стабильно более высокие показатели массы 1000 зерен по сравнению с сортом Амурская местная, разница в среднем составляет 6–8 г, что делает его предпочтительным для возделывания сельхоз-

товаропроизводителями. Изучение сроков посева гречихи показало, что получение более качественного зерна гречихи сорта Девятка отмечено при посеве в III декаде мая, для гречихи сорта Амурская местная – в I декаде июня.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Настоящее исследование дает ценное представление о влиянии сроков посева на продуктивность различных сортов гречихи (Fagopyrum esculentum) в агроклиматических условиях Амурской области. Результаты исследований демонстрируют, что срок посева оказывает значительное влияние на различные компоненты продуктивности растений и в конечном счете на урожайность зерна.

Таким образом, на основе анализа полученных данных по морфологическим показателям, урожайности и технологическим качествам зерна было выявлено, что оптимальный срок посева гречихи сорта Девятка приходится на III декаду мая, тогда как для сорта Амурская местная более подходит начало июня (I декада). Более ранние и поздние посевы нецелесообразны из-за низкой урожайности. Ранние сроки посева могут привести к всходам при низких температурах, что замедляет развитие растений и снижает их продуктивность. Более поздние сроки посева совпадают с наступлением пониженных ночных температур в ранний осенний период, что приводит к формированию неполноценного зерна. Проведенные исследования свидетельствуют о важности и необходимости определения сроков посева для каждого сорта.

В заключение можно сделать вывод о том, что тщательно выбранный срок посева имеет решающее значение для реализации максимального потенциала продуктивности гречихи. Отклонение от этого оптимального срока (ранний или поздний посев) приводит к снижению вегетативного роста, ухудшению репродуктивного развития и повышению восприимчивости к абиотическим стрессам, таким как засуха или ранние заморозки. Конкретный диапазон дат, определенный в данном исследовании, является практическим руководством для сельхозпроизводителей Амурской области, стремящихся повысить продуктивность гречихи.

Библиографический список

1. Полухин А. А., Панарина В. И. Современное положение культуры гречихи на российском рынке // АПК: экономика, управление. 2021. № 2. С. 41–45. DOI: 10.33305/212-41.

2. Molska M., Regula J., Zielinska-Dawidziak M., Tomczak A., Swieca M. Starch and protein analysis in buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) sprouts enriched with probiotic yeast // LWT-Food Science and Technology. 2022. Vol. 168. Article number 113903. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113903.

3. Феднина А. С., Макарцева М. Г., Курдюков Е. Е. Современное состояние исследований химического состава некоторых представителей рода Fagopyrum // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2023. Т. 26, № 9. С. 27–32. DOI: 10.29296/25877313-2023-09-04.

4. Гамботова М. У., Базгиев М. А., Бадургова К. Ш., Гандаров М. Х. Продуктивность и качество крупяных культур при возделывании в условиях лесостепной зоны Республики Ингушетии // Орошаемое земледелие. 2022. № 3. С. 25–28. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-3-4.

5. Vieites-Alvarez Y., Hussain M. I., Reigosa M. J., Kolmanic A., Meglic V., Cepkov P. H., Zhou M., Janovska D., Sanchez-Moreiras A. M. Potential of different common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) buckwheat accessions to sustainably manage surrounding weeds // European Journal of Agronomy. 2023. Vol. 153. Article number 127040. DOI: 10.1016/j.eja.2023.127040.

6. Муханов Н. К., Стыбаев Г. Ж., Байтеленова А. А. Влияние сроков посева и норм высева семян на урожайность зерна гречихи в условиях Акмолинской области // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2023. № 2 (117). С. 239–250. DOI: 10.51452/kazatu.2023.2.(117).1399.

7. Domingos Israel F. N., Bilsborrow Paul E. The effect of variety and sowing date on the growth, development, yield and quality of common buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) // European Journal of Agronomy. 2021. Vol. 126. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126264.

8. Щукин Р. А., Заволока И. П., Богданов О. Е. Формирование урожая и показатели качества зерна гречихи в зависимости от сорта и срока посева в условиях ЦЧР // Агропромышленные технологии Центральной России. 2022. № 4 (26). С. 76–86. DOI: 10.24888/2541-7835-2022-26-76-86.

9. Важов В. М., Одинцев А. В., Козил В. Н. Влияние условий выращивания на урожайность гречихи в колочной лесостепи Алтая // Международный журнал экспериментального образования. 2012. № 5. С. 25–27.

10. Наумкин В. П. Основы повышения урожайности и медопродуктивности гречихи посевной // Инновационные направления возделывания сельскохозяйственных культур: материалы Межрегиональной научно-практической видеоконференции среди специалистов, молодых ученых, аспирантов и студентов в рамках мероприятий, посвященных Году науки и технологий. Орел, 2021. С. 152–156.

11. Тимошенко Э. В. Продуктивность гречихи при разных сроках посева в условиях южной зоны Амурской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 13–17.

12. Romanovskaja D., Razukas A., Asakaviciute R. Influence of morphostructural elements for buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) productivity in different agricultural systems // Plants. 2022. Vol. 11, No. 18. Article number 2382. DOI: 10.3390/plants11182382.

13. Erol S., Arslan Ö., Aşik B. B., Budakli Çarpici E. The effects of different sowing times and harvest stages on forage yield and quality in buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) // Turkish Journal of Field Crops. 2022. Vol. 27, No. 1. Pp. 78–86. DOI: 10.17557/tjfc.1071283.

14. Hassona M. M., Abd El-Aal H. A., Morsy N. M., Hussein A. Abiotic and biotic factors affecting crop growth and productivity: unique buckwheat production in Egypt // Agriculture. 2024. Vol. 14, No. 8. Article number 1280. DOI: 10.3390/agriculture14081280.

15. Мазец Ж. Э., Хук К. А. Особенности ростовых процессов и продуктивности гречихи под влиянием электромагнитного воздействия // Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. 2021. № 1 (107). С. 19–27.

16. Kumar A., Singh R., Avasthe R. K., et al. Growth and production potential of buckwheat genotypes under organic farming in the Eastern Himalayan region of India // Proceedings of the Indian National Science Academy. 2024. DOI: 10.1007/s43538-024-00299-6.

Об авторах:

Эльвира Васильевна Тимошенко, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры общего земледелия, растениеводства и селекции, Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия; ORCID 0000-0002-5187-1557, AuthorID 717063. *E-mail: tim.blag@mail.ru*

Алексей Григорьевич Клыков, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, заведующий отделом селекции и биотехнологии сельскохозяйственных культур, Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки, Уссурийск, п. Тимирязевский, Россия; ORCID 0000-0002-2390-3486, AuthorID 96183. *E-mail: alex.klykov@mail.ru*

References

1. Polukhin A. A., Panarina V. I. The current state of buckwheat culture on the Russian market. *AIC: Economics, Management.* 2021; 2: 41–45. (In Russ).

2. Molska M., Regula J., Zielinska-Dawidziak M., Tomczak A., Swieca M. Starch and protein analysis in buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) sprouts enriched with probiotic yeast. *LWT-Food Science and Technology*. 2022; 168: 113903. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113903.

3. Fednina A. S., Makartseva M. G., Kurdyukov E. E. Current status of research into the chemical composition of certain representatives of the genus *Fagopyrum*. *Issues in Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry.* 2023; 26 (9): 27–32. DOI: 10.29296/25877313-2023-09-04. (In Russ).

4. Gambotova M. U., Bazgiev M. A., Badurgova K. Sh., Gandarov M. H. Productivity and quality of cereal crops cultivated in the forest-steppe zone of the Republic of Ingushetia. *Irrigated Agriculture*. 2022; 3: 25–28. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-3-4. (In Russ).

5. Vieites-Alvarez Y., Hussain M. I., Reigosa M. J., Kolmanic A., Meglic V., Cepkov P. H., Zhou M., Janovska D., Sanchez-Moreiras A. M. Potential of different common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn.) buckwheat accessions to sustainably manage surrounding weeds. *European Journal of Agronomy.* 2023; 153: 127040. DOI: 10.1016/j.eja.2023.127040.

6. Mukhanov N. K., Stybaev G. Zh., Baitelenova A. A. The influence of sowing dates and seed rates on buckwheat grain yield in the Akmola region. *Bulletin of Science of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin.* 2023; 2 (117): 239–250. DOI: 10.51452/kazatu.2023.2.(117).1399. (In Russ).

7. Domingos Israel F. N., Bilsborrow Paul E. The effect of variety and sowing date on the growth, development, yield and quality of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *European Journal of Agronomy.* 2021; 126: 126264. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126264.

8. Shchukin R. A., Zavoloka I. P., Bogdanov O. E. Yield formation and buckwheat grain quality indicators depending on variety and sowing date in the conditions of the Central Black Earth Region. *Agricultural Technologies in Central Russia.* 2022; 4 (26): 76-86. DOI: 10.24888/2541-7835-2022-26-76-86. (In Russ).

9. Vazhov V. M., Odintsev A. V. V., Kozil V. N. The influence of growing conditions on buckwheat yield in the Altai forest-steppe. *International Journal of Experimental Education.* 2012; 5: 25–27. (In Russ).

10. Naumkin V. P. Fundamentals of increasing the yield and honey productivity of buckwheat. *Innovative approaches to crop cultivation:* materials from the Interregional Scientific and Practical Video Conference among specialists, young scientists, postgraduates and students as part of the events dedicated to the Year of Science and Technology. Orel, 2021. Pp. 152–156. (In Russ).

11. Timoshenko E. V. Buckwheat productivity at different sowing times in the southern zone of the Amur Region. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2020; 2: 13–17. (In Russ).

12. Romanovskaja D., Razukas A., Asakaviciute R. Influence of morphostructural elements for buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) productivity in different agricultural systems. *Plants*. 2022; 11 (18): 2382. DOI: 10.3390/plants11182382.

13. Erol S., Arslan Ö., Aşik B. B., Budakli Çarpici E. The effects of different sowing times and harvest stages on forage yield and quality in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Turkish Journal of Field Crops*. 2022; 27 (1): 78–86. DOI: 10.17557/tjfc.1071283.

14. Hassona M. M., Abd El-Aal H. A., Morsy N. M., Hussein A. Abiotic and biotic factors affecting crop growth and productivity: unique buckwheat production in Egypt. *Agriculture.* 2024; 14 (8): 1280. DOI: 10.3390/agriculture14081280.

15. Mazets J. E., Huk K. A. Features of growth processes and buckwheat productivity under the influence of electromagnetic exposure. *Vesci BDPU. Series 3. Physics. Mathematics. Informatics. Biology. Geography.* 2021; 1 (107): 19–27. (In Russ).

16. Kumar A., Singh R., Avasthe R. K., et al. Growth and production potential of buckwheat genotypes under organic farming in the Eastern Himalayan region of India. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. 2024. DOI: 10.1007/s43538-024-00299-6.

Authors' information:

Elvira V. Timoshenko, candidate of agricultural sciences, associate professor, associate professor of the department of general agriculture, crop production and breeding, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russia; ORCID 0000-0002-5187-1557, AuthorID 717063. *E-mail: tim.blag@mail.ru*

Aleksey G. Klykov, academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of biological sciences, head of the department of breeding and biotechnology of agricultural crops, A. K. Chaika Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Far East, Ussuriysk, village Timiryazevskiy, Russia; ORCID 0000-0002-2390-3486, AuthorID 96183. *E-mail: alex.klykov@mail.ru*

УДК 636.2.034
Код ВАК 4.2.4
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1372-1383

Валидация первого метода прогнозирования молочной продуктивности первотелок по комплексному баллу линейных признаков

В. В. Гарт✉, **С. Г. Куликова, Е. В. Камалдинов, А. Ф. Петров, К. Н. Нарожных**
Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия
✉*E-mail: gvlvl@yandex.ru*

Аннотация. **Цель исследования** – валидация метода ранней оценки молочной продуктивности первотелок голштинской породы, основанного на использовании комплексного балла, рассчитанного методом последовательного суммирования скорректированных оценок линейных признаков по убыванию их индивидуальной корреляции с общим показателем продуктивности**. Методы.** Оценка качества модели производилась методом кросс-валидации на основе первичных данных, включающих комплексный балл, удой и выход жира за 305 дней. Оценка предсказательной способности комплексного балла производилась на уровне отдельных животных (путем расчета корреляции) и на уровне групп с одинаковым комплексным баллом экстерьера (с применением кросс-валидации полиномиальных моделей, построенных на средних значениях по группам). Такой подход позволил всесторонне оценить возможности использования комплексного балла экстерьера для непрямой оценки молочной продуктивности в практической селекционной работе. **Результаты исследования.** Установлено, что полиномиальные модели, построенные для средних значений продуктивности групп животных, агрегированных на основании одинакового комплексного балла, имеют высокую прогностическую способность. Так, кросс-валидированный R^2 для удоя равнялся 0,7566 при статистических ошибках RMSE 257,87 кг и MAE 177,84 кг, а для выхода жира кросс-валидированный R^2 составил 0,9688 при RMSE и MAE 3,61 кг и 2,78 кг соответственно. Результаты Post-hoc-анализа показали, что расчетная статистическая мощность полиномиальных моделей третьей степени для средних значений продуктивности была очень высокой (100 % для удоя и выхода жира) и статистически достоверной ($\alpha < 0{,}001$). Метод непрямой оценки и прогнозирования среднего уровня молочной продуктивности групп первотелок, объединенных по значению комплексного балла, может иметь практическое применение при оценке потенциала партий ремонтного молодняка, а также для принятия общих управленческих решений на уровне стада. **Научная новизна** проведенных исследований заключается в валидации нового способа раннего прогнозирования продуктивности первотелок голштинской породы по комплексу экстерьерных показателей.

Ключевые слова: голштинская порода, первотелки, прогнозирование продуктивности, удой, молочный жир, Западная Сибирь, экстерьер, линейная оценка, комплекс линейных признаков, кросс-валидация, регрессионная модель

Благодарности. Исследование выполнено по теме Государственного задания № FESF-2023-0016.

Для цитирования: Гарт В. В., Куликова С. Г., Камалдинов Е. В., Петров А. Ф., Нарожных К. Н. Валидация первого метода прогнозирования молочной продуктивности первотелок по комплексному баллу линейных признаков // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1372–1383. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1372-1383. (In Russ.)

Дата поступления статьи: 10.07.2025, ***дата рецензирования:*** 28.07.2025, ***дата принятия:*** 12.08.2025.

© Гарт В. В., Куликова С. Г., Камалдинов Е. В., Петров А. Ф., Нарожных К. Н., 2025

Validation of the first method for predicting milk productivity in first-calf heifers based on a composite score of linear type traits

V. V. Gart✉, S. G. Kulikova, E. V. Kamaldinov, A. F. Petrov, K. N. Narozhnykh
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
✉*E-mail: gvlvl@yandex.ru*

Abstract. **The purpose** of this study was to validate a method for the early assessment of milk productivity in Holstein first-calf heifers. This method is based on a composite score calculated by sequentially summing the adjusted scores of linear type traits, ranked in descending order of their individual correlation with a total productivity indicator. **Methods.** The model quality was assessed using cross-validation on primary data, which included the composite score, 305-day milk yield, and fat yield. The predictive ability of the composite score was evaluated at two levels: for individual animals (by calculating correlation) and for groups of animals with the same exterior composite score (by applying cross-validation to polynomial models based on group mean values). This comprehensive approach allowed for a thorough assessment of the potential of using the exterior composite score for the indirect evaluation of milk productivity in practical breeding work. **Results.** It was established that polynomial models developed for the mean productivity values of animal groups, aggregated by their composite score, demonstrate high predictive ability. Specifically, the cross-validated R^2 for milk yield was 0.7566, with statistical errors RMSE of 257.87 kg and MAE of 177.84 kg. For fat yield, the cross-validated R^2 reached 0.9688, with RMSE and MAE of 3.61 kg and 2.78 kg, respectively. Post-hoc power analysis revealed that the statistical power of the third-degree polynomial models for mean productivity values was very high (100 % for both milk and fat yield) and statistically significant ($p < 0.001$). The method of indirect assessment and prediction of the average milk productivity level for groups of first-calf heifers, unified by their composite score, can be practically applied to evaluate the potential of replacement heifer batches and to make general management decisions at the herd level. **The scientific novelty** of this research lies in the validation of a new method for the early prediction of productivity in Holstein first-calf heifers based on a complex of exterior indicators.

Keywords: Holstein breed, first-calf heifers, productivity prediction, milk yield, milk fat yield, Western Siberia, conformation, linear type traits, composite score, cross-validation, regression model

Acknowledgements. The study was carried out on the topic of the State Assignment No. FESF-2023-0016.

For citation: Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Petrov A. F., Narozhnykh K. N. Validation of the first method for predicting milk productivity in first-calf heifers based on a composite score of linear type traits. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1372–1383. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1372-1383. (In Russ.)

Date of paper submission: 10.07.2025, ***date of review:*** 28.07.2025, ***date of acceptance:*** 12.08.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Эффективная селекция является ключевым фактором повышения рентабельности молочного животноводства и обеспечения продовольственной безопасности. Основным критерием селекции традиционно выступает молочная продуктивность, оцениваемая по удою и качественным показателям молока (содержание жира, белка) за определенный период лактации (обычно 305 дней) или за несколько полных лактаций [1].

Однако прямая оценка продуктивности требует завершения значительной части первой лактации, что откладывает принятие решений по отбору и выбраковке животных, увеличивает затраты на их содержание и замедляет темпы селекционного прогресса. В связи с этим активно ведутся поиски методов непрямой оценки продуктивности, позволяющих прогнозировать будущие показатели в более ранние сроки выращивания или хозяйственного использования животных [2; 3].

Экстерьер животного отражает его конституциональные особенности, функциональное состояние и потенциал продуктивного долголетия. В частности, линейная оценка позволяет стандартизированно описывать признаки экстерьера, связанные с развитием молочной железы, конечностей, туловища, которые опосредованно могут влиять на способность животного к высокой продуктивности и продолжительности хозяйственного использования. Одним из перспективных направлений яв-

© Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Petrov A. F., Narozhnykh K. N., 2025

ляется использование признаков телосложения в качестве прогностических показателей молочной продуктивности [4–7].

Многочисленные исследования показали, что корреляция между отдельными признаками линейной оценки экстерьера и молочной продуктивностью, как правило, является низкой [8–11]. Это ограничивает возможность использования отдельных признаков для точного прогнозирования удоя или содержания жира у конкретного животного.

Для повышения прогностической ценности оценки экстерьера предлагается использовать не отдельные признаки, а их комбинации или комплексные индексы [12]. Такие комплексные показатели, объединяющие информацию о нескольких экстерьерных признаках, могут иметь более сильную связь с продуктивностью. Публикации в отечественной научной литературе свидетельствуют об активных исследованиях в этом направлении [13; 14].

В работе [15] был предложен подход к косвенной оценке уровней молочной продуктивности первотелок голштинской породы на основе комплексного балла линейных признаков оценки экстерьера (КБ). Авторы описали два алгоритма составления такого комплекса: первый основан на последовательном включении оценок признаков по убыванию их индивидуальной корреляции с общим показателем продуктивности, а второй – на выборе признаков, максимально увеличивающих коэффициент корреляции при добавлении к уже сформированному комплексу. В указанной работе было показано, что полиномиальные зависимости между рассчитанным КБ и средними значениями удоя и выхода молочного жира в группах животных характеризуются высокими коэффициентами детерминации (R^2 > 0,95) [15].

Несмотря на представленные высокие показатели аппроксимации, важным аспектом оценки практической применимости любой прогностической модели является ее валидация на независимых данных или с использованием строгих методов кросс-валидации [16].

Высокий R^2 при подгонке модели, особенно полиномиальной высокой степени, к ограниченному набору агрегированных данных (средних по группам с малым числом этих групп) может быть результатом переобучения [17] и не гарантирует аналогичной прогностической способности на новых данных. Кроме того, высокая аппроксимация средних значений по группам не равнозначна точной предсказательной способности для отдельных животных [18; 19].

Методология и методы исследования (Methods)

Оценка качества модели производилась для алгоритма составления КБ, рассчитываемого путем последовательного суммирования оценок линейных признаков в порядке убывания значений их индивидуальной корреляции с общим показателем продуктивности [15].

Статистический анализ в рамках валидации предложенного метода непрямой оценки продуктивности на основе КБ проводился отдельно для двух разных типов данных для индивидуальных значений продуктивности каждого животного и для средних значений продуктивности групп животных, объединенных по значению КБ.

При оценке связи между КБ экстерьера и индивидуальными показателями молочной продуктивности, такими как удой за 305 дней лактации и выход молочного жира, был рассчитан ранговый коэффициент корреляции Спирмена (rs). Этот непараметрический метод был выбран в связи с вероятным несоответствием распределения КБ критериям нормальности и использования в исходной методике его расчета преобразованных оценок признаков. Ранговая корреляция позволяет оценить силу и направление связи между двумя переменными, что является адекватным подходом при анализе связи между порядковыми или количественными данными имеющими распределение отличное от нормального [20].

Расчеты проводились отдельно для пары КБ и индивидуального удоя, а также для пары КБ и индивидуального выхода молочного жира.

Статистическая значимость полученных коэффициентов оценивалась стандартными методами при уровне значимости $\alpha < 0{,}05$. Интерпретация силы корреляционной связи выполнялась с опорой на общепринятые градации величины коэффициента корреляции [21].

Для оценки предсказательной способности КБ на уровне групп животных был применен многоэтапный статистический подход, воспроизводящий логику анализа, представленную в исходной работе [15].

Первым шагом было агрегирование данных: индивидуальные записи по каждой первотелке были сгруппированы на основе их КБ. Для каждой группы животных с одинаковым значением КБ были рассчитаны средние арифметические значения удоя и выхода молочного жира за 305 дней лактации. Одновременно определялась численность каждой группы (количество животных), поскольку репрезентативность средней оценки прямо зависит от объема данных, на которых она основана.

Следующим этапом стала фильтрация агрегированных данных. В соответствии с методикой исходной работы, из дальнейшего анализа были исключены те группы КБ, численность которых составила менее 10 наблюдений. Такой подход позволяет работать с более надежными оценками средних значений, минимизируя влияние выбросов и случайной вариабельности, особенно заметной в малочисленных группах [22]. В результате

для последующего моделирования использовался набор средних значений продуктивности, соответствующих только тем значениям КБ, для которых имелось достаточное количество индивидуальных наблюдений.

На наборе средних значений продуктивности по группам КБ были построены полиномиальные регрессионные модели 3-й степени. Выбор именно этой формы зависимости (полином 3-й степени) обусловлен тем, что, согласно исходной работе, она наилучшим образом аппроксимировала эмпирические зависимости средних показателей продуктивности от КБ. Были построены две отдельные модели: одна для прогнозирования среднего удоя группы по значению ее КБ, другая – для прогнозирования среднего выхода молочного жира. Формально модели описывались как: средний удой ≈ f(КБ) и средний выход жира ≈ g(КБ), где f и g являются полиномами третьей степени.

Для оценки того, насколько точно построенные на средних значениях полиномиальные модели будут предсказывать продуктивность для новых, ранее неиспользуемых групп КБ, была применен метод кросс-валидации (Leave-One-Out Cross-Validation, LOOCV) [23]. При LOOCV каждая из групп КБ последовательно исключалась из набора данных. Полиномиальная модель 3-й степени обучалась на оставшихся группах, а затем использовалась для предсказания среднего значения продуктивности для исключенной группы. Этот процесс повторялся для каждой группы**,** что позволило получить набор «кросс-валидированных» предсказаний для всех групп КБ, участвовавших в анализе. Качество этих предсказаний оценивалось с помощью стандартных метрик: среднеквадратическая ошибка (Root Mean Squared Error, RMSE), средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error, MAE) и кросс-валидированный R-квадрат (R^2_{cv}). Эти показатели дали количественную оценку точности прогноза на уровне групп и доли объясненной вариации средних значений продуктивности на данных, не использованных непосредственно при подгонке модели [24; 25].

Для критической оценки статистической значимости результатов, полученных при аппроксимации средних значений молочной продуктивности полиномиальными моделями (что соответствует подходу, использованному в оригинальной работе [15]), был проведен Post-hoc-анализ статистической мощности. Целью данного анализа являлось определение вероятности того, что на основании F-теста, используемого для оценки общей значимости регрессионной модели, можно было бы обоснованно принять или отклонить нулевую гипотезу (отсутствие связи между КБ и средней продуктивностью) при наблюдаемой в исследовании силе эффекта и имеющемся размере выборки (n = 12 агрегированных групп).

Все описанные статистические расчеты были выполнены в среде программирования R с использованием соответствующих пакетов для обработки данных.

Результаты (Results)

Анализ данных и валидация методов непрямой оценки молочной продуктивности на основе КБ проводились в два этапа: оценка связи КБ с индивидуальными показателями продуктивности и оценка прогностической способности моделей на агрегированных данных с использованием кросс-валидации.

На первом этапе была исследована взаимосвязь между КБ, представленным в исследуемой выборке (n = 1243), и индивидуальными значениями удоя и выхода молочного жира за 305 дней первой лактации. Был рассчитан ранговый коэффициент корреляции Спирмена (r_s). Ранговый коэффициент корреляции между КБ и индивидуальным удоем: r_s = 0,287, а между КБ и индивидуальным выходом молочного жира: r_s = 0,230.

Оба полученных коэффициента корреляции являются статистически значимыми при объеме выборки 1243 животных ($\alpha < 0{,}001$). Однако, согласно общепринятым шкалам интерпретации силы корреляции, значения r_s в диапазоне 0,2–0,3 считаются слабой связью [21]. Таким образом, несмотря на статистическую достоверность, КБ, использованный в данном исследовании, имеет ограниченную предсказательную способность для прогнозирования молочной продуктивности у отдельного животного.

Вариабельность удоя и выхода жира у индивидуальных коров в значительной степени определяется факторами, не отраженными в данном КБ.

На втором этапе для оценки возможности использования КБ для непрямой оценки продуктивности на уровне групп животных мы сгруппировали индивидуальные данные по значениям КБ и рассчитали средние показатели продуктивности для каждой группы. Всего в исходной выборке присутствовали животные с КБ в диапазоне от 36 до 55. После фильтрации, исключившей группы с численностью менее 10 наблюдений, для дальнейшего анализа были отобраны данные по 12 группам с КБ от 42 до 53. Средние значения удоя и выхода молочного жира представлены в таблице 1.

Анализируя таблицу 1, можно отметить явную тенденцию к увеличению среднего удоя и среднего выхода жира с ростом КБ, хотя строгой зависимости не наблюдается (например, средние значения для КБ = 46 немного ниже, чем для КБ = 45). Для описания такой зависимости в исходной работе использовались полиномиальные модели 3-й степени.

Таблица 1

Средние значения удоя и выхода молочного жира по группам КБ с численностью 10 и более голов

КБ	Численность группы первотелок, голов	Среднее значение	
		Удой, кг	Выход жира, кг
42	22	9 070,41	347,27
43	28	9 602,04	357,61
44	54	9 744,56	368,21
45	99	9 697,25	378,36
46	134	9 687,28	374,43
47	183	10 001,82	384,67
48	237	10 085,94	390,53
49	209	10 310,91	395,06
50	140	10 478,97	403,91
51	72	10 680,11	405,45
52	30	10 770,73	407,89
53	12	10 829,67	416,36

Table 1

Mean milk yield and milk fat yield by Complex Score (CS) groups with 10 or more first-calf heifers

CS	*Number of heifers in the group, heads*	*Mean value*	
		Milk yield, kg	*Milk fat yield, kg*
42	*22*	*9 070.41*	*347.27*
43	*28*	*9 602.04*	*357.61*
44	*54*	*9 744.56*	*368.21*
45	*99*	*9 697.25*	*378.36*
46	*134*	*9 687.28*	*374.43*
47	*183*	*10 001.82*	*384.67*
48	*237*	*10 085.94*	*390.53*
49	*209*	*10 310.91*	*395.06*
50	*140*	*10 478.97*	*403.91*
51	*72*	*10 680.11*	*405.45*
52	*30*	*10 770.73*	*407.89*
53	*12*	*10 829.67*	*416.36*

Полиномиальные регрессионные модели 3-й степени были построены на средних значениях, представленных в таблице 1. Анализ подгонки этих моделей ко всем 12 точкам показал очень высокие коэффициенты детерминации: R^2 для модели удоя составил 0,9538, а для модели выхода жира – 0,9845. Эти значения соответствуют данным, представленным в исходной работе [15], и указывают на то, что полином 3-й степени способен очень хорошо описывать наблюдаемую зависимость на имеющихся средних точках.

Для оценки прогностической способности моделей на уровне групп с использованием независимых данных была выполнена кросс-валидация на 12 группах (таблица 1). Результаты LOOCV представлены в таблице 2.

Результаты кросс-валидации показывают, что полиномиальные модели, построенные на средних значениях, обладают существенной прогностической способностью для предсказания продуктивности на уровне групп КБ. Для среднего удоя кросс-валидированный R^2 составил 0,7566. Это указывает на то, что модель способна объяснить около 76% вариации среднего удоя между группами при проверке на независимых данных. Ошибки предсказания среднего удоя группы составляет около 178 кг (MAE) и 258 кг (RMSE). Для среднего выхода молочного жира прогностическая способность модели оказалась еще выше, R^2_{cv} для этой модели достиг 0,9688, т. е. полиномиальный тренд способен объяснить почти 97 % вариации среднего выхода жира между группами. Соответственно, ошибки предсказания среднего выхода жира группы очень низкие: MAE = 2,78 кг, RMSE = 3,61 кг.

Визуальное представление результатов LOOCV, где фактические средние значения по группам сравниваются с предсказанными моделью значениями (рис. 1 для удоя и рис. 2 для выхода жира), наглядно демонстрирует точность предсказаний на уровне групп. Точки на графиках располагаются близко к диагональной линии $y = x$, выполненной красным пунктиром. Особенно выраженно это для выхода молочного жира, что подтверждает высокий R^2_{cv} и низкие ошибки предсказания на агрегированных данных.

Таблица 2

Метрики качества полиномиальных моделей 3-й степени, построенных на средних значениях продуктивности по группам КБ (LOOCV, *n* = 12 групп)

Модель для среднего показателя	RMSE (кг)	MAE (кг)	R^2_{cv}
Средний удой	257,87	177,84	0,7566
Средний выход жира	3,61	2,78	0,9688

Table 2

Quality metrics of the third-degree polynomial models fitted to mean productivity values by CS groups (LOOCV, n = 12 groups)

Model for the average indicator	*RMSE (kg)*	*MAE (kg)*	R^2_{cv}
Mean milk yield	*257.87*	*177.84*	*0.7566*
Mean milk fat yield	*3.61*	*2.78*	*0.9688*

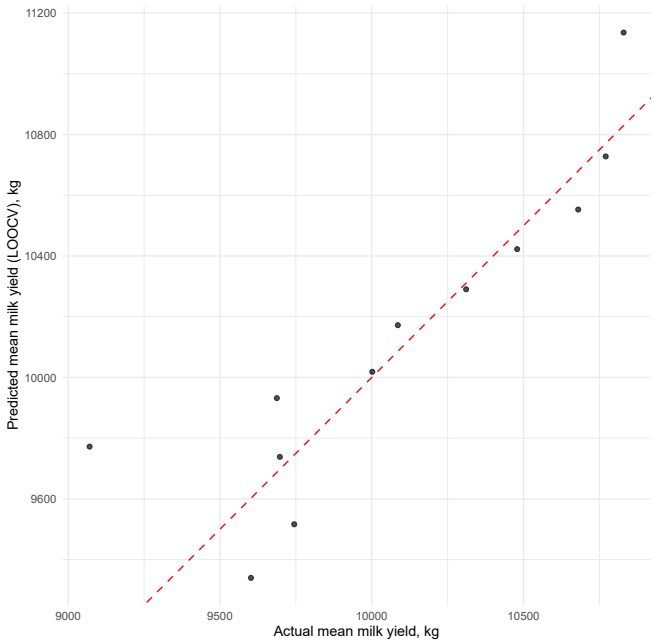


Рис. 1. Предсказанный и фактический средний удой (R^2_{cv} = 0,7566; RMSE = 257,87; MAE = 177,84)

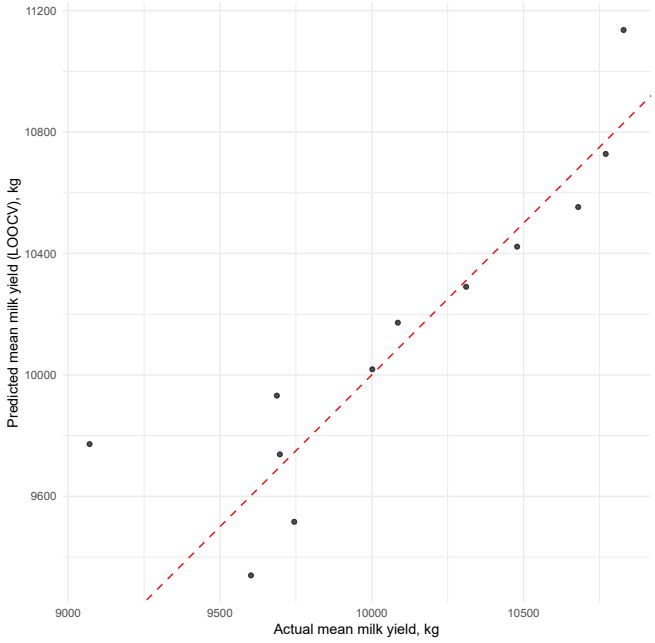


Fig. 1. Predicted vs actual mean milk yield from Leave-One-Out Cross-Validation (R^2_{cv} = 0.7566; RMSE = 257.87; MAE = 177.84)

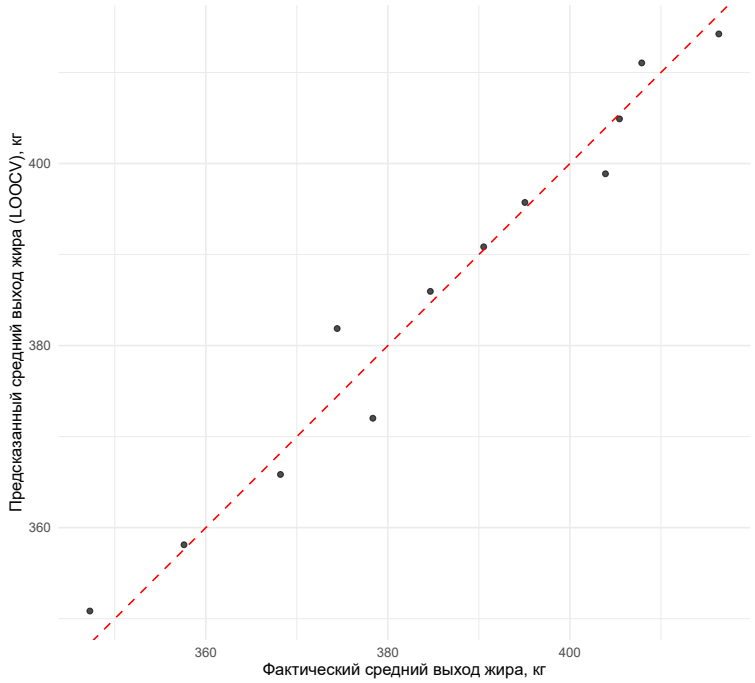


Рис. 2. Предсказанный и фактический средний выход жира (R^2_{cv}=0,9688; RMSE=3,61; MAE=2,78)

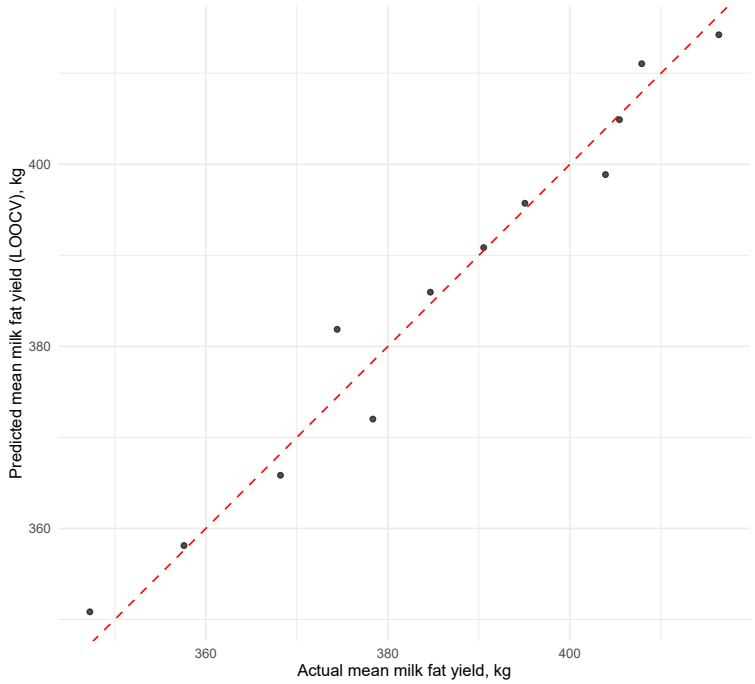


Fig. 2. Predicted vs actual mean milk fat yield from Leave-One-Out Cross-Validation (R^2_{cv} > = 0.9688; RMSE = 3.61; MAE = 2.78)

Проведенный Post-hoc-анализ статистической мощности (таблица 3) показал, что при наблюдаемых размерах эффекта вероятность обнаружить статистически значимую связь на уровне α = 0,05 составляла 100 %. Это согласуется с крайне низкими *p*-value ($p < 0{,}001$), полученными для *F*-теста моделей в целом.

Высокая расчетная мощность в данном контексте является прямым следствием очень сильной аппроксимации средних значений полиномом при небольшом количестве этих средних. Это свидетельствует о том, что наблюдаемые высокие значения R^2 (для средних по группам) статистически достоверно отличаются от нуля ($\alpha < 0{,}001$).

Таблица 3

Результаты Post-hoc-анализа статистической мощности полиномиальных моделей третьей степени для средних значений продуктивности (n = 12 групп)

Модель для среднего показателя	Наблюдаемый R^2	Наблюдаемый эффект f^2	Расчетная мощность (%)
Средний удой	0,9538	20,66	100,0
Средний выход жира	0,9845	63,53	100,0

Примечание. Анализ мощности проведен для F-теста модели при α = 0,05 на 12 группах, при числителе степеней свободы u = 3 и знаменателе степеней свободы v = 8.

Table 3

Results of the Post-hoc power analysis for the third-degree polynomial models fitted to mean productivity values (n = 12 groups)

Model for the average indicator	*Observed R^2*	*Observed effect f^2*	*Rated power (%)*
Mean milk yield	*0.9538*	*20.66*	*100.0*
Mean milk fat yield	*0.9845*	*63.53*	*100.0*

Note. Power analysis was conducted for the model's F-test at α = 0.05 on 12 groups, with numerator degrees of freedom u = 3 and denominator degrees of freedom v = 8.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенное исследование было направлено на валидацию первого метода непрямой оценки молочной продуктивности первотелок голштинской породы с использованием КБ, из двух предложенных в работе [15]. Результаты анализа позволяют всесторонне оценить предсказательную способность данного комплексного показателя, как на уровне индивидуальных животных, так и при работе с агрегированными данными по группам.

Анализ связи КБ с индивидуальными показателями удоя и выхода молочного жира выявил статистически значимую, но при этом слабую корреляцию ($r_s \approx 0{,}23\ldots0{,}29$). Этот результат согласуется с многочисленными литературными данными, указывающими на низкую или умеренную взаимосвязь между отдельными признаками экстерьера и продуктивностью на уровне индивидуальных животных [26–28].

Несмотря на то что КБ, основанный на ряде линейных признаков, имеет высокую прогностическую способность для групп животных, его предсказательная возможность для точного прогнозирования продуктивности конкретной первотелки остается ограниченной. Это вполне объяснимо, так как на молочную продуктивность животного оказывает влияние огромное количество факторов, помимо морфологических особенностей экстерьера, включая генетический потенциал (не связанный с экстерьером), условия содержания, качество кормления, состояние здоровья, микроклимат и другие средовые воздействия. Эти многочисленные факторы создают значительную индивидуальную вариабельность продуктивности, которая существенно маскирует влияние экстерьерных признаков.

Однако, когда анализ был переведен на уровень агрегированных данных, мы получили иные результаты. Группировка животных по КБ и расчет средних показателей продуктивности для достаточно многочисленных групп (с численностью не менее 10 голов) позволила сгладить значительную часть индивидуальной вариабельности, или «шума». На этом уровне была выявлена выраженная зависимость средних показателей продуктивности от КБ, которая, как показал анализ в исходной работе и подтвердило наше исследование, хорошо описывается полиномиальными трендами 3-й степени.

Результаты кросс-валидации наглядно продемонстрировали высокую прогностическую способность полиномиальных моделей для предсказания средних значений продуктивности групп, агрегированных на основании одинакового КБ. Высокие значения кросс-валидированного R^2 (≈0,76 для удоя и ≈0,97 для выхода жира) указывают на то, что эти модели способны объяснять значительную долю вариации средних значений продуктивности между группами даже при оценке на данных, не использовавшихся напрямую при подгонке модели. Особенно впечатляющие результаты были получены для предсказания среднего выхода молочного жира, где модель показала практически полную объясняющую и прогностическую способность на уровне групп. Это говорит о том, что зависимость среднего выхода жира от КБ является более устойчивой и менее подверженной влиянию остаточной вариабельности даже после агрегации.

Таким образом, валидация подтверждает, что предложенный в исходной работе КБ и метод построения полиномиальных трендов на агрегированных данных могут быть эффективно использованы для непрямой оценки и прогнозирования среднего уровня молочной продуктивности в группах первотелок, объединенных по значению этого балла. Такая оценка на уровне групп может быть полезна в ряде практических сценариев: например, при оценке потенциала партий ремонтного молодняка, при

сравнении групп животных разного происхождения или выращенных в разных условиях, а также для принятия общих управленческих решений на уровне стада. Возможность косвенной оценки средней продуктивности групп становится особенно актуальной в контексте развития технологий автоматизированной и бесконтактной линейной оценки экстерьера [29; 30], которые могут оперативно предоставлять данные для расчета КБ.

Ограничениями настоящего исследования являются использование данных, которые, вероятно, были частью выборки, использованной при разработке метода (что снижает степень независимости валидации), фокусировка только на первотелках голштинской породы и анализ продуктивности только за первую лактацию. Для более полной картины необходима валидация на полностью независимых выборках, включающих животных других пород, а также оценка взаимосвязи КБ с продуктивностью в последующих лактациях и с показателями продолжительности хозяйственного использования.

Необходимо отметить, что, хотя в исходной работе оба метода расчета КБ демонстрировали схожие высокие R^2 при аппроксимации средних данных, второй алгоритм также нуждается в проведении валидации его прогностической способности.

Таким образом, проведенная валидация подтверждает пригодность предложенного в исходной работе КБ и соответствующего метода построения полиномиальных трендов для непрямой оценки и прогнозирования средней молочной продуктивности на уровне групп первотелок голштинской породы. Этот подход может служить полезным инструментом в селекционно-племенной работе и при принятии управленческих решений, позволяя проводить предварительную оценку потенциала групп животных, особенно в условиях массового использования автоматизированных систем линейной оценки экстерьера.

Библиографический список

1. Коник Н. В., Калиниченко Э. Б., Каиров В. Р., Кубатиева З. А., Капитонова Е. А. Эффективность производственного использования коров молочных пород // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 01. С. 51–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-01-51-60.

2. Татаркина Н. И., Свяженина М. А., Пономарева Е. А. Применение экстерьерной оценки в селекции крупного рогатого скота голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 10. С. 81–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-81-90.

3. Романова Е. А., Тулинова О. В. Моделирование селекционного индекса для айрширской породы молочного скота с использованием экстерьерных показателей // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 150–155. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155.

4. Девяткина Г. С., Молчанова Н. В., Сельцов В. И., Сулима Н. И. Линейная оценка коров черно-пестрой породы и ее связь с молочной продуктивностью // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2010. № 2. С. 59–64.

5. Новиков А. В., Лешонок О. И. Взаимосвязь экстерьера и молочной продуктивности коров-первотелок // Агропродовольственная политика России. 2014. № 4 (28). С. 49–51.

6. Батанов С. Д., Шайдуллина М. М. Продуктивные качества и экстерьерные особенности коров черно-пестрой породы разных линий // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2019. Т. 239, № 3. С. 29–34. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-239-3-29-35.

7. Новоселова К. С. Связь молочной продуктивности коров-первотелок с экстерьером в СХПК-СХА (колхоз) «Первое Мая» // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. № 21. С. 356–359.

8. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia // Veterinaria y Zootecnía. 2014. Vol. 8, No. 1. Pp. 35–47.

9. Batanov S., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal's conformation // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. Vol. 26, No. 6. Pp. 1286–1291.

10. Misztal I., Lawlor T. J, Short T. H., VanRaden P. M. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model // Journal of Dairy Science. 1992. Vol. 75, No. 2. Pp. 544–551. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77791-1.

11. Контэ А. Ф., Карликова Г. Г. Генетическая изменчивость показателей продуктивности и оценки экстерьера голштинских коров в зависимости от типа телосложения // Аграрный вестник Урала. 2021. № 09 (212). С. 53−62. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-212-09-53-62.

12. Toghiani S., VanRaden P. M. National index correlations and actual vs expected use of foreign sires // Leeuwarden. 2021. Vol. 56. Pз. 52–59.

13. Гарт В. В., Куликова С. Г., Богданова О. В., Норкина В. М., Камалдинов Е. В., Петров А. Ф. Полиномиальная сопряженная изменчивость признаков линейной оценки экстерьера и удоя высокопродуктивного

голштинского скота // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 5. С. 86–100. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-5-86-100.

14. Гарт В. В., Куликова С. Г., Нарожных К. Н., Камалдинов Е. В. Раннее прогнозирование содержания молочного жира у голштинского скота на основе сопряженной изменчивости с линейными признаками // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 4 (73). С. 168–176. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-176.

15. Гарт В. В., Куликова С. Г., Камалдинов Е. В., Нарожных К. Н., Петров А. Ф. Непрямая оценка уровней признаков молочной продуктивности первотелок голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 900–914. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-06-900-914.

16. Yates L. A., Aandahl. Z., Richards S. A., Brook B. W. Cross validation for model selection: a review with examples from ecology // Ecological Monographs. 2023. Vol. 93, No. 1. Article number e1557. DOI: 10.48550/arXiv.2203.04552.

17. Hawkins D. M. The problem of overfitting // Journal of Chemical Information and Computer Sciences. 2004. Vol. 44, No. 1. DOI: 10.1021/ci0342472.

18. Olson K. M., Garrick D. J., Enns R. M. Predicting breeding values and accuracies from group in comparison to individual observations // Journal of Animal Science. 2006. Vol. 84, No. 1. Pp. 88–92.

19. Van der Vaart E., Johnston A. S. A., Sibly R. M. Predicting how many animals will be where: how to build, calibrate and evaluate individual-based models // Ecological Modelling. 2016. Vol. 326. Pp. 113–123.

20. Dikbaş F. A new two-dimensional rank correlation coefficient // Water Resources Management. 2018. Vol. 32. No. 5. Pp. 1539–1553.

21. Котеров А. Н., Ушенкова Л. Н., Зубенкова Э. С., Калинина М. В., Бирюков А. П., Ласточкина Е. М., Молодцова Д. В., Вайнсон А. А. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64, № 6. С. 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.

22. Aguinis H., Gottfredson R. K., Joo H. Best-practice recommendations for defining, identifying, and handling outliers // Organizational Research Methods. 2013. Vol. 16, No. 2. Pp. 270–301.

23. Wong T. T. Performance evaluation of classification algorithms by k-fold and leave-one-out cross validation // Pattern Recognition. 2015. Vol. 48, No. 9. Pp. 2839–2846.

24. Ostertagová E. Modelling using polynomial regression // Procedia Engineering. 2012. Vol. 48. Pp. 500–506.

25. Bruno D., Barca E., Goncalves R., Queiroz H., Berardi L., Passarella G. Linear and evolutionary polynomial regression models to forecast coastal dynamics: Comparison and reliability assessment // Geomorphology. 2018. Vol. 300. Pp. 128–140.

26. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia // Veterinaria y Zootecnía. 2014. Vol. 8, No. 1. Pp. 35–47.

27. Batanov S., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal's conformation // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. Vol. 26, No. 6. Pp. 1286–1291.

28. Misztal I., Lawlor T. J, Short T. H., VanRaden P. M. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model // Journal of Dairy Science. 1992. Vol. 75, No. 2. Pp. 544–551. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77791-1.

29. Батанов С. Д., Баранова И. А., Старостина О. С. Разработка методов определения комплексного индекса типа телосложения с целью раннего прогнозирования молочной продуктивности и определения живой массы крупного рогатого скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (99). С. 299–307. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-99-1-299-307.

30. Богданова О. В., Гарт В. В., Куликова С. Г., Камалдинов Е. В., Амерханов Х. А., Нарожных К. Н., Петров А. Ф., Жигулин Т. А., Астафьев А. А. Различия между странами по признакам линейной оценки экстерьера крупного рогатого скота голштинской породы // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 8. С. 59–64. DOI: 10.53859/02352451-2023-37-8-59.

Об авторах:

Владимир Владимирович Гарт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-7356-1090, AuthorID 92135. *E-mail: gvlvl@yandex.ru*

Светлана Геннадьевна Куликова, доктор биологических наук, профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 96363. *E-mail: kulikovasg@yandex.ru*

Евгений Варисович Камалдинов, доктор биологических наук, заведующий кафедрой прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 336282. *E-mail: ekamaldinov@yandex.ru*
Алексей Федорович Петров, заведующий лабораторией прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-7402-4107, AuthorID 1071714. *E-mail: alex@nsau.edu.ru*
Кирилл Николаевич Нарожных, кандидат биологических наук, доцент кафедры прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-1519-697X, AuthorID 654429. *E-mail: narozhnykh@nsau.edu.ru*

References

1. Konik N. V., Kalinichenko E. B., Kairov V. R., Kubatieva Z. A., Kapitonova E. A. Efficiency of production use of dairy cows in the context of federal districts of Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (01): 51–60. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-01-51-60. (In Russ.)

2. Tatarkina N. I., Svyazhenina M. A., Ponomareva E. A. The use of exterior assessment in the selection of Holstein cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (10): 81–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-81-90. (In Russ.)

3. Romanova E. A., Tulinova O. V. Breeding index modeling for airshire dairy cattle with application of exterior parameters. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021; 1 (53): 150–155. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155. (In Russ.)

4. Devyatkina G. S., Molchanova N. V., Seltsov V. I., Sulima N. I. Linear estimation of cows of black-and-white breed and its correlation with dairy production. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2010; 2: 59–64.

5. Novikov A. V., Leshonok O. I. Relationship of the exterior and milk production of cows-heifers. *Russian Agricultural and Food Policy*. 2014; 4: 49–51.

6. Batanov S. D., Shaydullina M. M. Productive qualities and exterior features of black-and-white breeds cows of different lines. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine.* 2019; 2399 (3): 29–34. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-239-3-29-35 (In Russ.)

7. Novoselova K. S. The relationship of dairy productivity of first-time cows with the exterior in SKHPK-SKHA (kolkhoz) “Pervoye Maya”. *Current Issues of Improving the Technology of Production and Processing of Agricultural Products.* 2019; 21: 356–359. (In Russ.)

8. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia. *Veterinaria y Zootecnía*. 2014; 8 (1): 35–47.

9. Batanov S., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal’s conformation. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2020; 26 (6): 1286–1291.

10. Misztal I., Lawlor T. J., Short T. H., VanRaden P. M. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model. *Journal of Dairy Science*. 1992; 75 (2): 544–551. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77791-1.

11. Konte A. F., Karlikova G. G. Genetic variability of productivity traits and evaluation of exterior of Holstein cows depending on body type. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 09 (212): 53−62. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-212-09-53-62. (In Russ.)

12. Toghiani S., VanRaden P. M. National index correlations and actual vs. expected use of foreign sires. *Leeuwarden.* 2021; 56: 52–59.

13. Gart V. V., Kulikova S. G., Bogdanova O. V., Norkina V. M., Kamaldinov E. V., Petrov A. F. Polynomial conjugate variability of traits of linear assessment of the exterior and milk yield of highly productive Holstein cattle. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 2024; 5: 86–100. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-5-86-100. (In Russ.)

14. Gart V. V., Kulikova S. G., Narozhnykh K.N., Kamaldinov E.V. Early prediction of milk fat *content* in Holstein cattle based on correlated variability with linear traits. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024; 4 (73): 168–176. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-1764. (In Russ.)

15. Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Narozhnykh K. N., Petrov A. F. Indirect assessment of the levels of milk productivity traits in first-calf heifers of the Holstein breed. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 900–914. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-06-900-914. (In Russ.)

16. Yates L. A., Aandahl. Z., Richards S. A., Brook B. W. Cross validation for model selection: a review with examples from ecology. *Ecological Monographs*. 2023; 93 (1): e1557. DOI: 10.48550/arXiv.2203.04552.

17. Hawkins D. M. The problem of overfitting. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences.* 2004; 44 (1). DOI: 10.1021/ci0342472.

18. Olson K. M., Garrick D. J., Enns R. M. Predicting breeding values and accuracies from group in comparison to individual observations. *Journal of Animal Science*. 2006; 84 (1): 88–92.

19. Van der Vaart E., Johnston A. S. A., Sibly R. M. Predicting how many animals will be where: how to build, calibrate and evaluate individual-based models. *Ecological Modelling*. 2016; 326: 113–123.

20. Dikbaş F. A new two-dimensional rank correlation coefficient. *Water Resources Management.* 2018; 32 (5): 1539–1553.

21. Koterov A. N., Ushenkova L. N., Zubenkova E. S., Kalinina M. V., Biryukov A. P., Lastochkina E. M., Molodtsova D.V., Wainson A. A. Strength of Association. Report 2. Graduations of Relative Risk. *Medical Radiology and Radiation Safety.* 2019; 64 (6): 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.

22. Aguinis H., Gottfredson R. K., Joo H. Best-practice recommendations for defining, identifying, and handling outliers. *Organizational Research Methods*. 2013; 16 (2): 270–301.

23. Wong T. T. Performance evaluation of classification algorithms by k-fold and leave-one-out cross validation. *Pattern Recognition*. 2015; 48 (9): 2839–2846.

24. Ostertagová E. Modelling using polynomial regression. *Procedia Engineering*. 2012; 48: 500–506.

25. Bruno D., Barca E., Goncalves R., Queiroz H., Berardi L., Passarella G. Linear and evolutionary polynomial regression models to forecast coastal dynamics: Comparison and reliability assessment. *Geomorphology*. 2018; 300: 128–140.

26. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia. *Veterinaria y Zootecnía*. 2014; 8 (1): 35–47.

27. Batanov S., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal's conformation. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2020; 26 (6): 1286–1291.

28. Misztal I., Lawlor T. J., Short T. H., VanRaden P. M. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model. *Journal of Dairy Science*. 1992; 75 (2): 544–551. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77791-1.

29. Batanov S. D., Baranova I. A., Starostina O. S. Development of methods for determining a complex index of body type for the purpose of early forecasting of milk production and determining the live weight of cattle. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023; 1 (99): 299–307. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-99-1-299-307. (In Russ.)

30. Bogdanova O. V., Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Amerkhanov Kh. A., Narozhnykh K. N., Petrov A. F., Zhigulin T. A., Astafyev A. A. Differences between countries in terms of linear assessment of the conformation of Holstein cattle. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2023; 37 (8): 59–64. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_8_59. (In Russ.)

Authors' information:

Vladimir V. Gart, doctor of agricultural sciences, professor of applied bioinformatics chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-7356-1090, AuthorID 92135.
E-mail: gvlvl@yandex.ru

Svetlana G. Kulikova, doctor of biological sciences, professor of veterinary genetics and biotechnology chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 96363,
E-mail: kulikovasg@yandex.ru

Evgeniy V. Kamaldinov, doctor of biological sciences, head of applied bioinformatics chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 336282.
E-mail: ekamaldinov@yandex.ru

Aleksey F. Petrov, head of applied bioinformatics laboratory, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-7402-4107, AuthorID 1071714. *E-mail: alex@nsau.edu.ru*

Kirill N. Narozhnykh, candidate of biological sciences, associate professor of applied bioinformatics chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-1519-697X, AuthorID 654429,
E-mail: narozhnykh@nsau.edu.ru

УДК 636.1(571.56)/636.084.2
Код ВАК 4.2.4
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1384-1394

Эффективные технологии рационального кормления табунных лошадей Якутии в зимний период

Р. В. Иванов[1], М. Н. Пак[1]✉, Л. Н. Захарова[2], А. В. Попова[2], В. И. Федоров[2]
[1] Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» – Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М. Г. Сафронова, Якутск, Россия
[2] Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия
✉*E-mail: Smary_83@mail.ru*

Аннотация. Большие трудности в кормлении якутских лошадей в зимний период снижают количество и качество тебеневочного корма. Дефицит питательных веществ в тебеневочных кормах компенсируется за счет организации подкормки сеном и концентратами. Одним из эффективных технологических приемов является скармливание им специальных кормовых добавок, содержащих протеин, минеральные вещества, микроэлементы, витамины, пробиотики. Одной из технологий кормления лошадей, которая позволяет обеспечить животных зеленым кормом хорошего качества в течение всего тебеневочного периода, является посев однолетних кормовых культур. **Цель** работы – выявить эффективные технологии кормления табунных лошадей Якутии в зимний период. **Научная новизна.** Впервые в условиях Якутии исследованы питательная ценность овса посевного (*Avena sativa* L.), хвоща пестрого (*Equisetum variegatum Schleich. ex.Web*), льняного жмыха и его влияние на показатели обмена веществ якутской породы лошадей. **Методы.** В ходе исследования были применены метод прямых определений переваримости питательных веществ. Балансовый метод, метод контрольных животных. **Результаты.** Анализ питательной ценности кормов на двух пастбищах Центральной Якутии выявил превосходство зимне-зеленой массы овса над естественными травостоями по содержанию сырого протеина, жира, золы и каротина. При этом в овсе обнаружено более высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот. Сравнительный анализ двух пастбищ северо-востока Якутии показал, что хвощовое по своим питательным свойствам превосходит разнотравное, особенно по содержанию сырого жира, золы и биологически активных веществ. У хвоща пестрого липидный состав характеризуется высоким уровнем полиненасыщенных жирных кислот, в частности линолевой и арахидоновой, что делает его ценным для откорма лошадей в табунах. По результатам исследований включение льняного жмыха в зимний рацион лошадей оказывает положительное влияние на перевариваемость кормов и обменные процессы в организме животного.

Ключевые слова: тебеневочный корм, подкормка, кормовые добавки, овес посевной, хвощ пестрый, льняной жмых

Для цитирования: Иванов Р. В., Пак М. Н., Захарова Л. Н., Попова А. В., Федоров В. И. Эффективные технологии рационального кормления табунных лошадей Якутии в зимний период // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1384–1394. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1384-1394.

Дата поступления статьи: 27.01.2025, ***дата рецензирования:*** 09.06.2025, ***дата принятия:*** 15.07.2025.

© Иванов Р. В., Пак М. Н., Захарова Л. Н., Попова А. В., Федоров В. И., 2025

Effective technologies of rational feeding of herd horses of Yakutia in winter

R. V. Ivanov[1], M. N. Pak[1]✉, L. N. Zakharova[2], A. V. Popova[2], V. I. Fedorov[2]
[1] Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" – Yakut Scientific Research Institute of Agriculture named after M. G. Safronov, Yakutsk, Russia
[2] Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia
✉*E-mail: Smary_83@mail.ru*

Abstract. The great difficulties in feeding Yakut horses in winter are caused by a decrease in the quantity and quality of seedling feed. The deficiency of nutrients in seed fodder is compensated by the organization of top dressing with hay and concentrates. One of the most effective technological methods is feeding them special feed additives containing protein, minerals, trace elements, vitamins, and probiotics. One of the feeding technologies for horses that allows animals to be provided with good quality green fodder throughout the winter period is the sowing of annual fodder crops. **The purpose** of the study is to identify effective feeding technologies for herd horses in Yakutia in winter. **Scientific novelty.** For the first time in Yakutia, the nutritional value of oats (*Avena sativa* L.), Horsetail (Equisetum variegatum Schleich. ex.Web), linseed cake on the metabolic parameters of the Yakut horse breed was studied. **Methods.** The method of direct determination of the digestibility of nutrients were used. The balance method, the method of control animals. **Results.** A comparison of the two pastures of Central Yakutia studied by us in terms of the nutritional value of feed showed that, in particular, in terms of the content of crude protein, crude fat, ash and carotene, the winter-green mass of oats exceeds that of natural grass, while in the first case a higher level of polyunsaturated fatty acids was noted. A comparison of the two studied pastures in the north-east of Yakutia showed that horsetail is nutritionally superior to mixed grass, especially in terms of crude fat, ash and BEV content. Variegated horsetail contains high levels of polyunsaturated fatty acids, especially linoleic acid and arachidonic acid, which are valuable for feeding herd horses. According to our research, the introduction of flax seed cake into the winter diet of horses also has a positive effect on the digestibility of feed and metabolic processes in the horse's body.

Keywords: seed fodder, top dressing, feed additives, oats, Variegated horsetail, linseed cake

For citation: Ivanov R. V., Pak M. N., Zakharova L. N., Popova A. V., Fedorov V. I. Effective technologies of rational feeding of herd horses of Yakutia in winter. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2925; 25 (09): 1384–1394. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1384-1394. (In Russ.)

Date of paper submission: 27.01.2025, ***date of review:*** 09.06.2025, ***date of acceptance:*** 15.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Одной из самых сложных проблем в технологии кормлении табунных лошадей Якутии является большая сезонная неравномерность уровня их питания на природных пастбищах. При этом самые большие трудности создает резкое снижение количества и качества тебеневочного корма в зимний период. Дефицит питательных веществ в тебеневочных кормах во время зимовки компенсируется за счет организации подкормки сеном и концентратами.

Якутские лошади обеспечивают себя основными энергетическими ресурсами и питательными веществами за счет выпаса на пастбищах в течение всего года. В периоды экстремально низких температур только в зимний сезон рацион животных может быть дополнен сеном и овсом.

В исследованиях, проведенных ранее, выявлено, что в условиях Центральной Якутии стационарное кормление жеребых кобыл в феврале – марте в течение 30–45 дней при полном обеспечении потребностей животных в энергии, питательных и биологически активных веществах является надежным профилактическим мероприятием против алиментарных абортов, происходящих в это время [2]. Одним из эффективных технологических приемов является скармливание специальных кормовых добавок, содержащих протеин, минеральные вещества, микроэлементы, витамины и пробиотики.

Использование кормовых добавок, разработанных рецептами ЯНИИСХ на основе соевого жмыха, цеолита, тальниковой муки, кемпендяйской соли, позволяет обеспечить кобыл экспериментальных групп дополнительным поступлением энергии и

© Ivanov R. V., Pak M. N., Zakharova L. N., Popova A. V., Fedorov V. I., 2025

белка. В частности, кормовые добавки способствуют увеличению энергетической ценности рационов на 8–10 %, а также удовлетворению основных потребностей животных в соответствии с установленными нормами. Кроме того, применение данных добавок практически полностью устраняет дефицит таких микроэлементов, как фосфор, медь, цинк, йод и кобальт.

Использование уникальных кормовых добавок, включающих в себя пивную дробину, пророщенные зерна пшеницы и ячменя, соль, пробиотик «Сахабактисубтил», тальниковую муку и цеолит, позволяет компенсировать дефицит питательных и биологически активных веществ в рационе животных. Применение таких добавок приводит к повышению перевариваемости основных питательных элементов (на 1,24–8,91 %) и более эффективному использованию обменной энергии (на 6,53–27,7 %). Кроме того, отмечено положительное влияние на показатели делового выхода жеребят по сравнению с контрольной группой. Профилактическое действие добавок в отношении алиментарных абортов способствует дополнительному увеличению делового выхода жеребят на 10–20 %.

Также в условиях Якутии, кроме кормовых добавок, одной из технологий кормления лошадей, которая позволяет обеспечить животных зеленым кормом хорошего качества в течение всего тебеневочного периода, является посев однолетних кормовых культур.

В ходе исследований, проведенных учеными Якутского НИИ сельского хозяйства в условиях Центральной Якутии, была доказана высокая эффективность использования естественно замороженной зеленой массы летних посевов овса для кормления молодняка в возрасте полутора лет и жеребых кобыл в самые холодные зимние месяцы [5].

В научной литературе представлено множество исследований, свидетельствующих о большей насыщенности питательными веществами и различными биологически активными соединениями растений, произрастающих в условиях Крайнего Севера. Так, установлено, что в определенные периоды вегетации кормовые растения Заполярья накапливают в листьях значительно большее количество белка и жира при одновременном снижении количества клетчатки, чем аналогичные виды растений, произрастающие в более мягких условиях юга [1; 4; 11].

В условиях Якутии хвощовый корм для лошадей представляет особую ценность, так как он способен эффективно восстанавливать силу и упитанность истощенных лошадей в кратчайшие сроки (30–45 дней), к тому же жир у лошадей, тебеневавших на таких хвощовых лугах, приобретает насыщенный желто-оранжевый оттенок [10; 15].

В связи с этим нам представляется актуальным провести исследование питательной и кормовой ценности зимне-зеленых кормовых трав и хвощового корма, высокопитательных белками и липидами, произрастающих в условиях Якутии, и внести новый рацион с высокой питательной ценностью, например, с льняным жмыхом. Использование льняного жмыха в зимнем рационе табунных лошадей Якутии, состоящем из сена и овса, может иметь существенное практическое значение. Это связано с возможностью повышения энергетической ценности рациона и уровня полиненасыщенных жирных кислот, что способствует улучшению продуктивных качеств якутской лошади.

Целью данного исследования является оценка питательной ценности овса посевного в сравнении с естественными пастбищами, хвощового корма – с разнотравьем и изучение влияние введения в зимний рацион лошадей льняного жмыха на усвоение организмом животных обменной энергии в условиях зимней тебеневки.

Методология и методы исследования (Methods)

Научные исследования проведены в ООО «Хорообут» Мегино-Кангаласского улуса, в ООО «Сартанский» Верхоянского улуса и в физиологическом участке Якутского НИИ сельского хозяйства.

1. Для зоотехнической оценки питательной ценности и состава жирных кислот липидов однолетних замороженных на корню трав в ООО «Хорообут» Мегино-Кангаласского улуса проведен посев овса по общепринятой технологии посевов однолетних культур в заранее оборудованном участке с площадью 1,5 га, для контроля также была огорожена площадь в 1,5 га с естественным травостоем, на которых в зимний период планировалась проведение подкормки лошадей.

2. Для проведения оценки питательной ценности хвощового корма в ООО «Сартанский» Верхоянского улуса были выбраны участки с хвощом пестрым (Equisetum variegatum Schleich. ex.Web) и с разнотравьем, используемые для выпаса лошадей якутской породы янского типа. Маршруты передвижения двух табунных групп проходили по территориям с различным видовым составом растительного покрова. Первый табун двигался по пастбищам около реки, где преобладает хвощово-разнотравная растительность. Второй табун следовал маршрутом, характеризующимся с пастбищами преобладанием злаково-разнотравной растительности.

3. Исследование эффективности рациона кормления с включением льняного жмыха было проведено на физиологическом дворе Якутского НИИ сельского хозяйства. Для опыта были отобраны аналогичные по возрасту, живой массе и типу телосложения лошади якутской породы. Для проведения опыта по переваримости корма лошадей были построены специальные станки, позволяющие со-

бирать экскременты и регистрировать количество съеденного корма. Эксперимент, состоящий из двух периодов, длился в течение месяца. В контрольном периоде лошадям ежедневно давали по 13 кг сена и 1,5 кг овса. В опытном периоде рацион был модифицирован: 12 кг сена, 2 кг льняного жмыха и 0,5 кг овса в сутки. В результате опыта было отмечено незначительное изменение средней живой массы лошадей. В контрольном периоде средний вес составлял 401,5 кг, в опытном – 403,9 кг, что соответствует разнице всего 0,6 %.

Анализ химического состава образцов проведен в лаборатории биохимических анализов Якутского НИИ сельского хозяйства.

Результаты (Results)

Нами проведен посев овсяной культуры в качестве зимней подкормки. Преимущества использования овса посевного (*Avena sativa* L.) как зимнего корма для лошадей обусловлены высокой продуктивностью зелёной массы овса и специфическими биохимическими процессами, происходящими в растениях летних посевов. В осенний период наблюдается постепенная реорганизация метаболических процессов и клеточного состава у растений летних посевов. Это сопровождается увеличением содержания моносахаридов и одновременным снижением уровня полисахаридов. При снижении температуры окружающей среды помимо изменения энергетического метаболизма и усиления синтеза стрессовых белков в клетках растений, наблюдается рост концентрации фосфолипидов в клеточных мембранах с повышением ненасыщенности их жирных кислот. При дальнейшем снижении температуры растения переходят в состояние анабиоза, сохраняя биологически активные соединения на уровне, характерном для свежей зелени [8; 12; 13].

В формировании высокой пищевой ценности растительности криолитозоны, подвергшейся естественному замораживанию, играют ключевую роль липиды, полиненасыщенные жирные кислоты и каротиноиды [3; 7; 8; 16].

Рис. 1. Зеленая масса овса посевного
Fig. 1. Green mass of oats

Во время опыта в зимний период стебли и листья овса посевного под снегом побурели только в кончиках, остальная часть стебля оставалось зеленой (см. рис. 1), а отава естественного травостоя сохранила бледно-зеленый цвет лишь у основания растений. Результаты анализа химического состава проб травостоев показали, что кормовая ценность зимней зеленой массы овса превосходит отаву естественного травостоя по протеину, жиру, золе и каротину (таблица 1). Достоверные различия выявлены по содержанию сухого вещества и каротину. Так, содержание сухого вещества у овса посевного на 21 % выше, чем у отавы естественного травостоя ($P \geq 0,95$), содержание каротина – на 79 % выше, чем у отавы естественного травостоя ($P \geq 0,999$). Урожайность отавы естественных лугов составила 5,1 ц/га со стандартным отклонением 0,09. Урожайность зимне-зеленной массы овса составила 161,1 ц/га со стандартным отклонением 0,11 ($P \geq 0,999$).

В липидном составе посевного овса преобладают полиеновые жирные кислоты, составляющие 40,71 % от общего содержания (таблица 2). В составе липидов естественного травостоя отавы их доля существенно ниже – 15,65 %. По содержанию полиеновых жирных кислот посевной овес превосходит отаву естественного травостоя на 61,5 %, особенно много содержит линолевой кислоты.

Нами замечено, что консервированная естественным холодом зеленая масса овса, высеянная в более поздние сроки и используемая под тебеневку лошадей, максимально полно сохранила питательные и биоактивные вещества, особенно полиеновые жирные кислоты и каротин. Предполагаем, что криоконсервация каротина и питательных веществ в зеленых побегах и листьях зимне-зеленых растений способствует восполнению дефицита в витаминах и питательных веществах и улучшению продуктивных качеств лошадей, тебеневавших на таком пастбище за зиму [5; 6].

Следующая технология кормления заключается в применении пастбищ с хвощом пестрым (*Equisetum variegatum, Schleich. ex.Web*). В настоящем исследовании проведен анализ кормовой ценности двух типов пастбищ (хвощовых и разнотравных), распространенных на северо-востоке Якутии, используемых для зимнего выпаса лошадей.

Формированию питательной ценности хвоща способствует то, что при холодовом закаливании в их листьях накапливаются липидные компоненты, которые способствуют криоконсервации высокопитательного зеленого корма.

Анализ содержания питательных веществ показал, что участки с преобладанием хвоща пестрого характеризуются более высоким уровнем сырого протеина (8,1 %) по сравнению с пастбищными участками, где доминируют злаковые и разнотравье

(6,58 %) (таблица 3). Содержание золы на участках с хвощом также оказалось выше (9,0 %), превышая аналогичный показатель на участках без хвоща на 1,9 % ($P > 0,999$). Что касается содержания жира, то в образцах растительности разнотравного пастбища оно составило 1,0 %, в то время как в хвощовом – 2,7 %, что уступает почти в 3 раза ($P > 0,999$). Также выявлено, что содержание безазотистых экстрактивных веществ у хвощового пастбища выше на 20 %, чем в разнотравном пастбище. А содержание клетчатки в разнотравном пастбище выше, чем у хвощового пастбища, на 35 %. Статистически значимые различия выявлены с высокой степенью уверенности ($P > 0,999$).

Исследования показывают, что по составу полиненасыщенных жирных кислот липидов Equisétum variegatum превосходит разнотравье. Высокое содержание полиеновых жирных кислот обусловлено высоким содержанием каротина в составе, наличие которого доказывается желто-оранжевой окраской жира лошадей тебеневавших на таком пастбище, что определяет кормовую ценность растения.

Таким образом, исследование показало, что хвощ пестрый по сравнению с пастбищным разнотравьем обладает более высоким содержанием питательных веществ, кроме клетчатки. Экспериментальные данные подтверждают высокую кормовую ценность хвоща для лошадей в качестве зимнего корма [4; 15].

К. М. Петров и др. (2021) отмечают, что криорезистентность хвощей включает механизм, который предотвращает образование льда внутри клетки при отрицательных температурах и повышает устойчивость к межклеточному льду, что уменьшает обезвоживание и механическую деформацию протопласта. Ближе к зиме у хвоща происходит новообразование вторичного каротиноида – родоксантина, который играет важную антиоксидантную роль, поскольку жир лошадей, тебеневавших в осенне-зимний период в хвощовых пастбищах, характеризуется желтовато-оранжевым оттенком [15; 10; 14].

Исследование представленных технологий кормления привело к заключению о необходимости увеличения содержания липидов в зимнем рационе животных, а именно ненасыщенных жирных кислот и каротина. Согласно исследованиям, недостаток каротина в рационе является одной из ключевых причин низкого воспроизводства сельскохозяйственных животных (яловости, нежизнеспособного приплода, абортов, неустойчивости к инфекциям) [14].

Таблица 1

Урожайность и химический состав зимне-зеленой массы овса и отавы естественного травостоя в загонах для проведения опытов

Показатели	Пастбищные корма	
	Отава естественного травостоя	Зимне-зеленая масса овса
Урожайность, ц/га	5,1 ± 0,09[3]	161,1 ± 0,11[4]
Содержание питательных элементов в абсолютно сухом веществе, %		
Сухое вещество	42,3 ± 0,53[1]	63,7 ± 0,13[2]
Протеин	9,0 ± 0,14[1]	15,5 ± 0,77[2]
Жир	1,5 ± 0,08	2,2 ± 0,18
Клетчатка	35,4 ± 0,13	35,5 ± 0,04
БЭВ	49,1 ± 0,66	38,7 ± 0,43
Зола	4,9 ± 0,34	8,1 ± 0,23
Фосфор	0,20 ± 0,07	0,26 ± 0,04
Кальций	2,34 ± 0,76	1,18 ± 0,35
Каротин, мг/кг	28,4 ± 0,76[3]	133,0 ± 0,44[4]

Примечание. [1, 2] $P \geq 0,95$; [3, 4] $P \geq 0,999$.

Table 1

Yield and chemical composition of winter-green mass of oats and aftermath of the natural herbage in pens for experiments

Indicators	*Pasture feed*	
	Aftermath of the natural herbage	*Winter-green mass of oats*
Yield, c/ha	*5.1 ± 0.09*[3]	*161.1 ± 0,11*[4]
The content of nutrients in a completely dry substance, %		
Dry matter	*42.3 ± 0.53*[1]	*63.7 ± 0.13*[2]
Protein	*9.0 ± 0.14*[1]	*15.5 ± 0.77*[2]
Fat	*1.5 ± 0.08*	*2.2 ± 0.18*
Fiber	*35.4 ± 0.13*	*35.5 ± 0.04*
Nitrogen-free extractive substances	*49.1 ± 0.66*	*38.7 ± 0.43*
Ash	*4.9 ± 0.34*	*8.1 ± 0.23*
Phosphorus	*0.20 ± 0.07*	*0.26 ± 0.04*
Calcium	*2.34 ± 0.76*	*1.18 ± 0.35*
Carotene, mg/kg	*28.4 ± 0.76*[3]	*133.0 ± 0.44*[4]

Note. [1, 2] $P \geq 0.95$; [3, 4] $P \geq 0.999$.

Таблица 2

Жирнокислотный состав зимне-зеленой массы овса и отавы естественного травостоя, %

Наименование жирной кислоты	Зимне-зеленая масса овса	Отава естественного травостоя
Насыщенные жирные кислоты		
Миристиновая С14:0	2,23 ± 1,10	0,3 ± 0,01
ПальмитиноваяС16:0	6,41 ± 0,13	14,0 ± 0,07
Стеариновая С18:0	1,43 ± 0,12	11,7 ± 0,03
Сумма НЖК	28,42 ± 0,40	32,5 ± 0,17
Мононенасыщенные жирные кислоты		
Олеиновая С18:1n9c	6,09 ± 0,37	11,8 ± 0,04
Сумма МНЖК	15,88 ± 0,18	15,5 ± 0,17
Полиненасыщенные жирные кислоты		
Линолевая С18:2	18,84 ± 0,32	11,2 ± 0,17
γ-линоленовая С18:3	3,68 ± 0,43	2,75 ± 0,03
α-линоленовая С18:3	0,82 ± 0,19	0,44 ± 0,03
Сумма ПНЖК	40,71 ± 0,11	15,65 ± 0,18

*Примечание. * P ≥ 0,95; ** P ≥ 0,99.*

Table 2

Fatty acid composition of winter-green mass of oats and aftermath of the natural herbage, %

Name of the fatty acid	*Winter-green mass of oats*	*Aftermath of the natural herbage*
Saturated fatty acids		
Myristic acid C14:0	*2.23 ± 1.10*	*0.3 ± 0.01*
Palmitic acid16:0	*6.41 ± 0.13*	*14.0 ± 0.07*
Stearic acid C18:0	*1.43 ± 0.12*	*11.7 ± 0.03*
The amount SFA	*28.42 ± 0.40*	*32.5 ± 0.17*
Monounsaturated fatty acids		
Oleic acid C18:1n9c	*6.09 ± 0.37*	*11.8 ± 0.04*
The amount MSFA	*15.88 ± 0.18*	*15.5 ± 0.17*
Polyunsaturated fatty acids		
Linoleum C18:2	*18.84 ± 0.32*	*11.2 ± 0.17*
γ-linolenic Acid C18:3	*3.68 ± 0.43*	*2.75 ± 0.03*
α-linolenic acid C18:3	*0.82 ± 0.19*	*0.44 ± 0.03*
The amount PSFA	*40.71 ± 0.11*	*15.65 ± 0.18*

*Note. *P ≥ 0.95; **P ≥ 0.99.*

Таблица 3

Химический состав травостоев с хвощового и разнотравного участков пастбищ, %

Кормовые травы	Гигровлага	Сырой протеин	Сырой жир	Сырая клетчатка	Зола	БЭВ
I группа хвощовая	9,79 ± 0,02	8,11 ± 0,17	2,72 ± 0,10[2]	29,45 ± 0,06[1]	9,00 ± 0,02[2]	40,93 ± 0,10[2]
II группа разнотравная	7,44 ± 0,03	6,58 ± 0,17	0,98 ± 0,02[1]	45,05 ± 0,08[2]	7,08 ± 0,10[1]	32,87 ± 0,22[1]

Примечание. [1, 2] P > 0,999.

Table 3

Chemical composition of grass stands from horsetail and mixed grass areas of pastures, %

Fodder grasses	*Water*	*Protein*	*Fat*	*Fiber*	*Ash*	*Nitrogen-free extractive substances*
Horsetail (group I)	*9.79 ± 0.02*	*8.11 ± 0.17*	*2.72 ± 0.10[2]*	*29.45 ± 0.06[1]*	*9.00 ± 0.02[2]*	*40.93 ± 0.10[2]*
Mixed grass (group II)	*7.44 ± 0.03*	*6.58 ± 0.17*	*0.98 ± 0.02[1]*	*45.05 ± 0.08[2]*	*7.08 ± 0.10[1]*	*32.87 ± 0.22[1]*

Note. [1, 2] P > 0.999.

Таблица 4

Жирнокислотный состав льняного жмыха и овса, %

Вид корма	Жир, г / 100 г	Олеиновая, %	Линолевая,%	α-линоленовая, %	γ-линоленовая, %
Льняной жмых	9,04 ± 0,83	23,31 ± 0,49	33,18 ± 3,11	28,85 ± 2,99[2]	29,31 ± 0,49[2]
Овес	7,10 ± 0,57	34,80 ± 0,38	23,31 ± 0,19	1,04 ± 0,48[1]	2,15 ± 0,82[1]

Примечание. [1,2] *P > 0,95.*

Table 4

Fatty acid composition of flaxseed leftover seeds and oats, %

Type of feed	*Fat, g / 100 g*	*Oleic acid, %*	*Linoleum acid, %*	*α-linoleum acid, %*	*γ-linoleum acid, %*
Flax leftover seeds	*9.04 ± 0.83*	*23.31 ± 0.49*	*33.18 ± 3.11*	*28.85 ± 2.99[2]*	*29.31 ± 0.49[2]*
Oats	*7.10 ± 0.57*	*34.80 ± 0.38*	*23.31 ± 0.19*	*1.04 ± 0.48[1]*	*2.15 ± 0.82[1]*

Note. [1, 2] *P > 0.95.*

Таблица 5

Химический состав сена, овса и льняного жмыха в опыте, %

Показатель	Сено	Овес	Льняной жмых
Вода	4,58 ± 0,20	4,39 ± 0,13	13,59 ± 0,73
В % на абсолютно сухое вещество			
Сырой протеин	13,00 ± 0,78	20,43 ± 0,35[1]	23,95 ± 0,80[2]
Сырой жир	1,62 ± 0,09	2,95 ± 0,22[1]	9,04 ± 0,68[2]
Сырая клетчатка	41,70 ± 0,21[2]	14,06 ± 0,11[1]	7,75 ± 1,17
БЭВ	34,22 ± 1,26[1]	51,94 ± 0,44[2]	44,40 ± 1,24
Сырая зола	4,98 ± 0,09	2,87 ± 0,05	5,99 ± 0,52
Фосфор, г	0,20 ± 0,01	0,32 ± 9,42	0,79 ± 0,27
Кальций, г	0,54 ± 0,04	0,60 ± 1,67	0,33 ± 0,75

Примечание. [1, 2] *P > 0,95.*

Table 5

Chemical composition of hay, oats and flax leftover seeds in the experiment, %

Indicator	*Hay*	*Oats*	*Flaxseed leftover seeds*
Water	*4.58 ± 0.20*	*4.39 ± 0.13*	*13.59 ± 0.73*
% on a completely dry substance			
Protein	*13.00 ± 0.78*	*20.43 ± 0.35[1]*	*23.95 ± 0.80[2]*
Fat	*1.62 ± 0.09*	*2.95 ± 0.22[1]*	*9.04 ± 0.68[2]*
Fiber	*41.70 ± 0.21[2]*	*14.06 ± 0.11[1]*	*7.75 ± 1.17*
Nitrogen-free extractive substances	*34.22 ± 1.26[1]*	*51.94 ± 0.44[2]*	*44.40 ± 1.24*
Ash	*4.98 ± 0.09*	*2.87 ± 0.05*	*5.99 ± 0.52*
Phosphorus, g	*0.20 ± 0.01*	*0.32 ± 9.42*	*0.79 ± 0.27*
Calcium, g	*0.54 ± 0.04*	*0.60 ± 1.67*	*0.33 ± 0.75*

Note. [1, 2] *P > 0.95.*

Как известно, каротины представляют собой полиненасыщенные углеводороды с молекулярной формулой C40H(*n*), где *n* – переменное количество атомов водорода и не содержат никаких других элементов. Поэтому нами принято решение включить в рацион лошадей льняной жмых для увеличения полиненасыщенных жирных кислот и питательной ценности зимнего рациона лошадей якутской породы. Как отмечает Л. И. Подобед (2019), льняной жмых в сравнении с другими видами жмыхов характеризуется существенно более высоким содержанием ценных ненасыщенных жирных кислот.

Наши исследования выявили, что льняной жмых содержит больше полиненасыщенных жирных кислот, чем овес, особенно омега-3 (18:3n−3) и омега-6 (18:3n−6) кислот (таблица 4). Их содержание в льняном жмыхе составляет 28,8 % и 29,3 % соответственно от общего количества жирных кислот. Важно отметить, что овес, входящий в рацион лошадей в зимний период, характеризуется значительно более низким содержанием указанных незаменимых жирных кислот.

Таблица 6

Коэффициенты переваримости основных питательных веществ корма у лошадей в опыте

Периоды	Коэффициенты переваримости, %					
	Сухого вещества	Органического вещества	Сырого протеина	Сырого жира	Сырой клетчатки	БЭВ
Первый	60,94 ± 1,12	58,24 ± 2,41	67,51 ± 0,17[3]	54,29 ± 0,98[1]	39,30 ± 0,81	74,62 ± 1,04
Второй	60,18 ± 0,98	63,21 ± 1,87	70,85 ± 0,19[4]	68,59 ± 0,64[2]	39,85 ± 0,67	77,71 ± 1,13

Примечание. [1,2] $P > 0,99$, [3,4] $P > 0,999$.

Table 6

Digestibility coefficients of the main feed nutrients in horses in the experiment

Periods	*Digestibility coefficients, %*					
	Dry matter	*Organic substances*	*Protein*	*Fat*	*Fiber*	*Nitrogen-free extractive substances*
First	*60.94 ± 1.12*	*58.24 ± 2.41*	*67.51 ± 0.17[3]*	*54.29 ± 0.98[1]*	*39.30 ± 0.81*	*74.62 ± 1.04*
Second	*60.18 ± 0.98*	*63.21 ± 1.87*	*70.85 ± 0.19[4]*	*68.59 ± 0.64[2]*	*39.85 ± 0.67*	*77.71 ± 1.13*

Note. [1,2] $P > 0.99$, [3,4] $P > 0.999$.

Таблица 7

Энергетическая ценность кормов и обеспеченность лошадей энергией при вскармливании льняного жмыха

Периоды	Потребление корма, кг		Обменная энергия в 1 кг сухого вещества, МДж	Потребление обменной энергии, МДж	
	Натуральной массы	Сухого вещества		На голову в сутки	На 100 кг живой массы
Первый	15,35 ± 0,15	12,6 ± 0,11	9,51 ± 0,27	119,82 ± 2,18[1]	29,84 ± 0,18
Второй	16,61 ± 1,08	12,83 ± 0,09	10,06 ± 0,22*	129,06 ± 1,41[2]	32,0 ± 0,67*

Примечание. [1,2] $P > 0,95$.

Table 7

The energy value of feed and the energy supply of horses when feeding flax leftover seeds

Periods	*Feed consumption, kg*		*Exchange energy per 1 kg of dry matter, MJ*	*Exchange energy consumption, MJ*	
	Natural weight	*Dry matter*		*Per 1 animal per day*	*Per 100 kg of live weight*
First	*15.35 ± 0.15*	*12.6 ± 0.11*	*9.51 ± 0.27*	*119.82 ± 2.18[1]*	*29.84 ± 0.18*
Second	*16.61 ± 1.08*	*12.83 ± 0.09*	*10.06± 0.22**	*129.06 ± 1.41[2]*	*32.0 ± 0.67**

Note. [1,2] $P > 0.95$.

Сравнительный анализ химического состава льняного жмыха показал его существенное преимущество перед сеном и овсом по содержанию сырого протеина и жира. Содержание протеина в льняном жмыхе достоверно превышает показатели сена на 46 % и овса на 14,7 %, а содержание жира – на 82 % и 67 % соответственно (при уровне статистической достоверности $P \geq 0,95$). В то же время по содержанию клетчатки сено превосходит как овес (на 66 %), так и льняной жмых (на 81 %) (таблица 5).

В научной литературе отмечено, что жмых семян льна является ценным источником омега-3 и омега-6 жирных кислот. Состав жмыха также богат перевариваемым белком (287 г на 1 кг), витаминами группы В, включая пантотеновую и фолиевую кислоты, биотин, α-токоферол (витамин Е), а также микроэлементами. В сравнении со жмыхом подсолнечника льняной жмых характеризуется значительно более низким содержанием сырой клетчатки (более чем в 3 раза) и повышенным уровнем незаменимых омега-3 жирных кислот, благотворно влияющих на здоровье и продуктивность животных. Использование жмыха льна в рационе сельскохозяйственных животных обосновано его высокой энергетической ценностью: 1 кг жмыха эквивалентен 1,27 к. ед. (13,73 МДж) и сопоставим по этому показателю с 1,3–1,4 кг овса [9].

Включение льняного жмыха в рацион лошадей способствовало повышению усвояемости питательных веществ. Эффективность использования питательных веществ организмом лошадей якутской породы отражена в коэффициентах их переваримости (таблица 6).

В опыте было установлено, что включение льняного жмыха в рацион лошадей привело к повышению показателей усвояемости основных питательных веществ по сравнению с контрольным периодом. Отмечено достоверно значимое увеличение коэффициентов переваримости сырого протеина на 4,7 % ($P > 0,999$) и сырого жира на 20,8 % ($P \geq 0,99$).

Установлено увеличение потребления обменной энергии лошадьми на 5,47 % при включении льняного жмыха в рацион по сравнению с контрольным периодом, когда животные получали только сено и овес (таблица 7). Отмечено достоверно значимое повышение суточного потребления обменной

энергии на голову у лошадей в опытном периоде на 7,16 % по сравнению с контрольным периодом. Обеспеченность обменной энергией в расчете на 100 кг живой массы у лошадей в опытном периоде превосходило показатель контрольного периода на 6,75 %. Все различия статистически значимы при уровне достоверности $P \geq 0,95$.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что в условиях Якутии перечисленные технологии кормления характеризуются повышенной питательной ценностью по сравнению с традиционными видами кормов.

Исследование показало, что замороженная на корню посевная трава *Avena sativa* L. обладает более высокой питательной ценностью, чем естественная отава. Результаты исследований подтверждают высокую кормовую ценность *Equisetum variegatum, Schleich. ex.Web.* для лошадей в качестве зимнего корма. Результаты анализа биохимического состава льняного жмыха свидетельствуют о его высокой питательной ценности, а включение его в рацион лошадей способствует повышению усвояемости питательных веществ за счет высокого содержания незаменимых омега-3 жирных кислот, жира и протеина.

Исходя из полученных результатов, мы рекомендуем широко применять овес посевной при тебеневке как питательного корма в зимний период для якутской породы лошадей, а также расширить применение тебеневочных угодий с хвощом пестрым в технологии зимнего выпаса лошадей якутской породы. Использование зимне-зеленой травы овса и хвоща позволит восполнить дефицит питательных веществ и повысить энергетическую ценность рациона лошадей в период зимовки. Включение льняного жмыха в зимний рацион лошадей также благоприятно повлияет на усвояемость кормов. Льняной жмых, являющийся источником сырого протеина, жира и сбалансированным содержанием полиненасыщенных жирных кислот, положительно повлияло на перевариваемость кормов и показатели энергетического обмена у лошади.

Таким образом, восполнение дефицита питательных, биоактивных веществ, полиеновых жирных кислот, каротина путем внедрения исследованных технологий кормления позволит повысить воспроизводительные и продуктивные качества лошадей якутской породы.

Библиографический список

1. Барашкова Н. В., Устинова В. В. Биохимические особенности естественного разнотравно-злакового фитоценоза при разных уровнях питания в условиях Центральной Якутии // Наука и образование. 2016. № 2. С. 107–114.

2. Иванов Р. В., Пермякова П. Ф. Научные основы совершенствования технологии кормления и содержания лошадей якутской породы. Часть II. Опыты на взрослых лошадях. 2-е изд., стер. Якутск: Издательский дом СВФУ. 2021. 112 с.

3. Лебедева Л. Ф., Иванов Р. В., Ковешников В. С., Зайцев А. М., Хомподоева У. В., Пермякова П. Ф., Ильин А. Н., Калашников В. В. Научные основы интенсификации воспроизводства табунных лошадей Якутии. Новосибирск: ООО «СибАК», 2019. 144 с.

4. Неустроев М. П., Абрамов А. Ф., Саввинов Д. Д., Тарабукина Н. П., Попова Н. В. Экологические требования по ведению сельскохозяйственного производства // Система ведения сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия) на период 2021–2025 годы: методические пособия. Белгород: Белгородская типография, 2021. С. 563–568.

5. Николаев Н. А., Ильин А. Н. Экономическая эффективность использования культурных тебеневочных пастбищ из овса на воспроизводящем составе лошадей // Иппология и ветеринария. 2019. № 3 (33). С. 40–43.

6. Нохсоров В. В., Петров К. А. Липиды и жирные кислоты овса позднелетнего посева – криокорма животных Якутии // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии: сборник тезисов докладов XXII Всероссийской международной конференции молодых ученых, посвященной памяти академика РАСХН Георгия Сергеевича Муромцева. Москва, 2022. С. 99–100. DOI: 10.48397/ARRIAB.2022.22.XXII.059.

7. Пак М. Н. Использование пастбищных кормов с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот для кормления табунных лошадей Якутии // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 3 (51). С. 76–86. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-13039.

8. Петров К. А., Перк А. А., Чепалов В. А., Софронова В. Е., Ильин А. Н., Иванов Р. В. Эколого-физиологические и биохимические основы формирования зеленого криокорма в Якутии // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 6. С. 1129–1138. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.6.1129rus.

9. Подобед Л. И. Льняной жмых пополняет ассортимент белковых добавок для животных и птицы // Эффективное животноводство: корма и кормление. 2019. № 5. С. 46–48.

10. Слободчикова М. Н., Васильева В. Т., Васильева Р. Е., Иванов Р. В. Химический состав травостоя с хвощом пестрым (EquisétumVariegatum) и его влияние на состав мяса // Кормопроизводство. 2017. № 2. С. 16–18.

11. Хохрин С. Н., Савенко Ю. П. Кормопроизводство и кормление сельскохозяйственных животных. 2-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 300 с.

12. Arminian A., Dehghani R. B. Simultaneous responses of photosystem II and soluble proteins of rapeseed to cold acclimation // Cellular and Molecular Biology. 2019. Vol. 65, No. 2, Iss. 2. DOI: 10.14715/cmb/2019.65.2.7.

13. Devi V., Kaur A., Sethi M., Avinash G. Effect of low-temperature stress on plant performance and adaptation to temperature change // In: S. Hussain, T. Hussain Awan, E. Ahmad Waraich, M. Iqbal Awan (eds.) Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance Mechanisms. DOI: 10.5772/intechopen.110168.

14. Fürtauer L., Weiszmann J., Weckwerth W., Nägele T. Metabolic reprogramming and its role in plant cold acclimation // International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20. Article number 5411. DOI: 10.3390/ijms2021541.

15. Nokhsorov V. V., Chirikova N. K., Dudareva L. V., Senik S. V., Petrov K. A. Influence of extremely low temperatures of the pole of cold on the lipid and fatty-acid composition of aerial parts of the horsetail family (Equisetaceae) // Plants. 2021. Vol. 10, No. 5. DOI: 10.3390/plants10050996.

16. Nokhsorov V. V., Protopopov F. F., Sleptsov I. V., Petrova L. V., Petrov K. A. Metabolomic profile and functional state of oat plants (Avena sativa L.) sown under low-temperature conditions in the cryolithozone // Plants. 2024. Vol. 13, No. 8. Article number 1076. DOI: 10.3390/plants13081076.

Об авторах:

Реворий Васильевич Иванов, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник лаборатории селекции и разведения лошадей, Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» – Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М. Г. Сафронова, Якутск, Россия;
ORCID 0000-0002-1820-3928 и AuthorID 329554. *E-mail*: *revoriy@list.ru*

Мария Николаевна Пак, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и разведения лошадей, Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» – Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М. Г. Сафронова, Якутск, Россия; ORCID 0000-0002-2519-7327, AuthorID 764495.
E-mail: *Smary_83@mail.ru*

Лариса Николаевна Захарова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общей зоотехнии, Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия;
ORCID 0000-0002-6362-0050, AuthorID 707724. *E-mail*: *zakharova.larnik@yandex.ru*

Акулина Васильевна Попова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общей зоотехнии, Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия;
ORCID 0000-0003-2692-7026, AuthorID 784519. *E-mail*: *Popova_akulina@bk.ru*

Валерий Иннокентьевич Федоров, доктор сельскохозяйственных наук, ректор, Арктический государственный агротехнологический университет, Якутск, Россия; ORCID 0000-0002-8454-6531,
AuthorID 460042. *E-mail*: *Agatu_oz@mail.ru*

References

1. Barashkova N. V., Ustinova V. V. Biochemical features of natural herb-grass phytocenosis at different degrees of alimentation in conditions of Central Yakutia. *Science and Education*. 2016; 2: 107–114. (In Russ.)

2. Ivanov R. V., Permyakova P. F. Scientific foundations of improving the technology of feeding and keeping horses of the Yakut breed. Part II. Experiments on adult horses. *Yakutsk: NEFU Publishing House*. 2021: 112. (In Russ.)

3. Lebedeva L. F., Ivanov R. V., Koveshnikov V. S., Zaitsev A. M., Khompodoeva U. V., Permyakova P. F., Ilyin A. N., Kalashnikov V. V. Scientific foundations of intensification of reproduction of Yakutian herd horses. *Novosibirsk: Sibak*, 2019: 144. (In Russ.)

4. Neustroev M. P., Abramov A. F., Savvinov D. D., Tarabukina N. P., Popova N. V. Environmental requirements for agricultural production. *The system of agriculture in the Republic of Sakha (Yakutia) for the period 2021–2025: methodological manuals*. Belgorod: Belgorodskaya tipografiya, 2021. Pp. 563–568. (In Russ.)

5. Nikolaev N. A., Ilyin A. N. Cost-effectiveness of using oat pastures on the reproductive composition of horses. *Hippology and Veterinary Medicine.* 2019; 3 (33): 40–43. (In Russ.)

6. Nokhsorov V. V., Petrov K. A. Late-summer oat lipids and fatty acids – cryofeed of Yakutia animal. *Biotechnology in Crop Production, Animal Husbandry and Agricultural Microbiology: collection of abstracts.* Moscow, 2022. Pp. 99–100. DOI: 10.48397/ARRIAB.2022.22.XXII.059. (In Russ.)

7. Pak M. N. The use of pasture feed with high content of polyunsaturated fatty acids for feeding herd horses of Yakutia. *Far Eastern Agricultural Journal*. 2019; 3 (51): 76–86. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-13039. (In Russ.)

8. Petrov K. A., Perk A. A., Chepalov V. A., Sofronova V. E., Ilyin A. N., Ivanov R. V. Eco-physiological and biochemical bases of the green cryofeed forming in Yakutia (review). *Agricultural Biology*. 2017; 52 (6): 1129–1138. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.6.1129rus. (In Russ.)

9. Podobed L. I. Flax cake replenishes the range of protein additives for animals and poultry. *Efficient Animal Husbandry: Feed and Feeding*. 2019; 5: 46–48. (In Russ.)

10. Slobodchikova M. N., Vasilyeva V. T., Vasilyeva R. E., Ivanov R. V. Sward chemical composition of variegated horsetail (Equisétum variegatum) and its effect on meat quality. *Forage Production Journal*. 2017; 2: 16–18. (In Russ.)

11. Khokhrin S. N., Savenko Yu. P. *Feed production and feeding of farm animals*. Saint Petersburg: Lan, 2022. 300 p. (In Russ.)

12. Arminian A., Dehghani R. B. Simultaneous responses of photosystem II and soluble proteins of rapeseed to cold acclimation. *Cellular and Molecular Biology.* 2019; 65 (2). DOI: 10.14715/cmb/2019.65.2.7

13. Devi V., Kaur A., Sethi M., Avinash G. Effect of low-temperature stress on plant performance and adaptation to temperature change. *In: S. Hussain, T. Hussain Awan, E. Ahmad Waraich, M. Iqbal Awan (eds.) Plant Abiotic Stress Responses and Tolerance Mechanisms*. DOI: 10.5772/intechopen.110168.

14. Fürtauer L., Weiszmann J., Weckwerth W., Nägele T. Metabolic reprogramming and its role in plant cold acclimation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019; 20: 5411. DOI: 10.3390/ijms2021541.

15. Nokhsorov V. V., Chirikova N. K., Dudareva L. V., Senik S. V., Petrov K. A. Influence of extremely low temperatures of the pole of cold on the lipid and fatty-acid composition of aerial parts of the horsetail family (Equisetaceae). *Plants.* 2021; 10 (5). DOI: 10.3390/plants10050996.

16. Nokhsorov V. V., Protopopov F. F., Sleptsov I. V., Petrova L. V., Petrov K. A. Metabolomic profile and functional state of oat plants (Avena sativa L.) Sown under low-temperature conditions in the cryolithozone. *Plants*. 2024; 13 (8): 1076. DOI: 10.3390/plants13081076.

Authors' information:

Revoriy V. Ivanov, doctor of agricultural sciences, head of the laboratory, chief researcher at the laboratory of horse breeding and breeding, Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" – Yakut Scientific Research Institute of Agriculture named after M. G. Safronov, Yakutsk, Russia; ORCID 0000-0002-1820-3928 AuthorID 329554. *E-mail*: *revoriy@list.ru*

Mariya N. Pak, candidate of agricultural sciences, senior researcher at the laboratory of horse breeding and breeding, Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" – Yakut Scientific Research Institute of Agriculture named after M. G. Safronov, Yakutsk, Russia; ORCID 0000-0002-2519-7327, AuthorID 764495. *E-mail*: *Smary_83@mail.ru*

Larisa N. Zakharova, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of general animal science, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia; ORCID 0000-0002-6362-0050, AuthorID 707724. *E-mail*: *zakharova.larnik@yandex.ru*

Akulina V. Popova, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of general animal science, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia; ORCID 0000-0003-2692-7026, AuthorID 784519. *E-mail*: *Popova_akulina@bk.ru*

Valeriy I. Fedorov, doctor of agricultural sciences, rector, Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia; ORCID 0000-0002-8454-6531, AuthorID 460042. *E-mail*: *Agatu_oz@mail.ru*

УДК 633.12:577.1
Код ВАК 3.1.2
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1395-1405

Biochemical indicators of the composition and properties of *Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn.* grain and changes in some of them during enzymatic hydrolysis

E. A. Kuznetsova[1], **M. B. Rebezov**[2, 3]✉, **E. Al. Kuznetsova**[1]
[1] Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia
[2] Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia
[3] Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia
✉*E-mail: rebezov@yandex.ru*

Abstract. **Relevance.** Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn*) is characterized by high nutritional value and is a source of biologically active compounds (polyphenols, vitamins, microelements), as well as having strong antioxidant activity. **The purpose** is to study the biochemical parameters, antioxidant activity, microstructure and mineral composition of Tatar buckwheat grain and the effect of enzymatic hydrolysis during preparation for use in food technologies on changes in some of its properties. **Methods.** Experimental data are presented that confirm the high nutritional value and antioxidant activity of Tartary buckwheat grain compared to common buckwheat grain. The results of a study are provided on the effect of a complex cellulolytic enzyme preparation – used for enzymatic hydrolysis of the tough structures of the fruit coats – on changes in the microstructure of the grain surface, antioxidant activity, and the fractional composition of proteins. **Results.** Tartary buckwheat grain was found to have a high content of vitamins, microelements, flavonoids, a well-balanced amino acid composition of proteins, and significant antioxidant activity. After enzymatic hydrolysis of Tartary buckwheat grain using the complex enzyme preparation "Celloviridin G20x" at a temperature of 50 °C and pH 5.0 for 28 hours, changes were observed in the microstructure of the grain surface, along with biopolymer modification. Antioxidant activity of the grain increased by 6.2 % in DPPH radical inhibition, and the fractional composition of Tartary buckwheat grain proteins was altered. **Scientific novelty.** The use of enzymatic hydrolysis with the help of complex enzymatic preparations with cellulolytic action allowed for controlled modification of grain husk polysaccharides and opened up prospects for using Tatar buckwheat grain in the production of functional food products.

Keywords: Tartary buckwheat, grain, biochemical properties, antioxidant activity, microstructure, enzymatic hydrolysis

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the Russian Science Foundation for financial support of the research conducted within the framework of grant No. 24-26-00259.

For citation: Kuznetsova E. A., Rebezov M. B., Kuznetsova E. Al. Biochemical indicators of the composition and properties of *Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn*. grain and changes in some of them during enzymatic hydrolysis. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1395–1405. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1395-1405.

Date of paper submission: 10.07.2025, ***date of review:*** 14.07.2025, ***date of acceptance:*** 19.08.2025.

© Kuznetsova E. A., Rebezov M. B., Kuznetsova E. Al., 2025

Биохимические показатели состава и свойств зерна *Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn.* и изменение некоторых из них при ферментативном гидролизе

Е. А. Кузнецова[1], **М. Б. Ребезов**[2, 3]✉, **Е. Ал. Кузнецова**[1]
[1] Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, Орел, Россия
[2] Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия
[3] Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия
✉*E-mail: rebezov@yandex.ru*

Аннотация. **Актуальность.** Гречиха татарская (***Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn***) характеризуется высокой пищевой ценностью, является источником биологически активных соединений (полифенолов, витаминов, микроэлементов) и обладает высокой антиоксидантной активностью. **Цель исследования** – изучение биохимических показателей, антиоксидантной активности, микроструктуры и минерального состава зерна гречихи татарской и влияние ферментативного гидролиза в процессе подготовки к использованию в пищевых технологиях на изменение некоторых его свойств. **Методы.** Представлены экспериментальные данные, подтверждающие высокую пищевую ценность и антиоксидантную активность зерна гречихи татарской по сравнению с зерном гречихи посевной. Приведены результаты исследования влияния комплексного ферментного препарата целлюлолитического действия, применяемого для ферментативного гидролиза жестких структур плодовых оболочек зерна, на изменение микроструктуры поверхности зерна, антиоксидантную активность и изменения фракционного состава белков. **Результаты.** Установлены высокое содержание витаминов, микроэлементов, флавоноидов, сбалансированный аминокислотный состав белков, антиоксидантная активность в зерне гречихи татарской. После проведения ферментативного гидролиза зерна гречихи татарской с использованием комплексного ферментного препарата «ЦелловиридинГ20х» при температуре 50 °С, pH 5,0 в течение 28 часов происходят изменение микроструктуры поверхности зерна, модификация биополимеров, увеличиваются антиоксидантная активность зерна на 6,2 % ингибирования радикала ДФПГ, изменяется фракционный состав белков зерна гречихи татарской. **Научная новизна.** Использование ферментативного гидролиза с помощью комплексных ферментных препаратов целлюлолитического действия позволило провести регулируемую модификацию полисахаридов оболочек зерна и открыло перспективу для использования зерна гречихи татарской в производстве функциональных продуктов питания.

Ключевые слова: гречиха татарская, зерно, биохимические свойства, антиоксидантная активность, микроструктура, ферментативный гидролиз

Благодарности. Авторы выражают благодарность Российскому научному фонду за финансовую поддержку исследований, проведенных в рамках выполнения гранта № 24-26-00259.

Для цитирования: Кузнецова Е. А., Ребезов М. Б., Кузнецова Е. Ал. Биохимические показатели состава и свойств зерна *Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn.* и изменение некоторых из них при ферментативном гидролизе // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1395–1405. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1395-1405.

Дата поступления статьи: 10.07.2025, ***дата рецензирования:*** 14.07.2025, ***дата принятия:*** 19.08.2025.

Introduction

The most widely cultivated buckwheat species are common buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) and Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn*). The first species accounts for 90 % of global buckwheat production [1]. Buckwheat grain is used primarily in the form of flour or groats [2–4].

Buckwheat groats are believed to possess high nutritional value and medicinal properties [5; 6]. It is known that buckwheat is gluten-free, making it attractive for developing product lines for individuals with celiac disease. Buckwheat grain contains a well-balanced amino acid composition, with a high concentration of lysine and arginine compared to cereals. It is also rich in dietary fiber, minerals, and vitamins [7–9].

© Кузнецова Е. А., Ребезов М. Б., Кузнецова Е. Ал., 2025

Buckwheat grain contains high levels of antioxidants such as polyphenols and flavonoids [2].

Buckwheat grain is widely used as a raw material for the creation of functional food products containing various phenolic compounds, such as rutin, quercetin, and C-glycosylflavones, which have beneficial therapeutic effects in supporting human health [6].

Tartary buckwheat is traditionally cultivated in mountainous regions of China, Bhutan, northern India, and Nepal. It is also grown in Belgium, Germany, Slovenia, Italy, Bosnia and Herzegovina, Korea, and Japan. In Russia, the use of this buckwheat species has been limited by the lack of cultivars suitable for groat production, due to the tight adherence of the fruit coat to the endosperm in Tartary buckwheat grain. In addition, Tartary buckwheat grain has a bitter taste, caused by the activity of the enzyme rutinosidase, which hydrolyzes rutin into quercetin upon contact with water [10]. The bitterness can be reduced by soaking the grain overnight and draining the water [11].

Tartary buckwheat grain is a rich source of biologically active components such as polyphenolic compounds – particularly rutin and quercetin – soluble and insoluble fractions of dietary fiber, valuable vitamins, microelements, and beneficial proteins, including all eight essential amino acids, the content of which is higher than in traditional cereal grains [12; 13].

Buckwheat grain is characterized by a high starch content, protein with a favorable amino acid profile, and low levels of α-gliadin. The proteins in the grain are of high biological value and are mainly represented by albumin and globulin. In Tartary buckwheat, the content of prolamins ranges from 1.1 % to 1.2 %, and glutelins from 10 % to 12 % [14]. The amino acid composition of Tartary buckwheat remains relatively stable during ripening, in contrast to the changes observed in cereal crops.

Tartary buckwheat also contains a higher amount of lysine (the limiting amino acid) and a lower amount of glutamic acid (a major storage protein amino acid) [15; 16].

Tartary buckwheat grain contains 0.8–2.9 % rutin [17], which is 100 times more than in common buckwheat grain [18].

Tartary buckwheat grain contains three classes of flavonoids: flavonols, anthocyanins, and C-glycosylflavones, which have been reported to possess beneficial properties as dietary components. These compounds exhibit antioxidant, hypocholesterolemic, and antidiabetic effects. It has been shown that the consumption of Tartary buckwheat products alleviated symptoms in patients with type I and type II diabetes. In addition, the consumption of these products led to a reduction in fasting blood glucose levels, glycosylated hemoglobin (GHb), and glycosylated serum proteins, as well as an increase in fasting serum insulin levels [19].

Flavonoids are of particular interest in food technology due to their antioxidant properties and their potential to prevent diabetes, oxidative stress, and neurodegenerative diseases [17].

The hypoglycemic effects of *Fagopyrum tataricum* are widely used in traditional medicine for the treatment of diabetes. Its compounds influence blood glucose levels in diabetic laboratory rats and may prevent insulin resistance [20]. Tartary buckwheat grain significantly reduces blood lipid and cholesterol levels, preventing hyperlipidemia induced by high-fat diets [21]. Extracts from Tartary buckwheat grain inhibit the oxidation of low-density lipoproteins, preventing atherosclerosis by scavenging free radicals, inhibiting endogenous vitamin E, chelating metal ions, and affecting the activity of related enzymes [22]. They may also prevent atherosclerosis by suppressing the secretion of various pro-inflammatory cytokines or gene expression [23].

Iminosugars from Tartary buckwheat are attracting increasing interest due to their high biological activity as glycosidase inhibitors. When used as a dietary supplement or functional food component, D-fagomine may reduce the risk of developing insulin resistance and excessive weight gain. It has also been found that fagomine possesses strong antihyperglycemic effects [24].

The vitamins present in Tartary buckwheat grain (mg per 100 g) are: B1 – 0.53; B2 – 0.24; B9 (folic acid) – 0.032; PP (niacin) – 4.3; E – 6.65. The mineral elements (mg per 100 g) include: calcium – 70; phosphorus – 298; magnesium – 200; potassium – 380; silicon – 81; iron – 8; zinc – 2.1; manganese – 1.6; copper – 0.64; sulfur – 48 [25].

Thus, Tartary buckwheat grain possesses great potential due to its content of biologically active substances (phenolic compounds and proteins) that promote human health. This fact has increased the demand for buckwheat groats in recent years and attracted the attention of nutrition scientists to more in-depth studies of Tartary buckwheat grain [6; 26; 27].

However, in order to soften the tough fruit coat, increase the bioavailability of the grain's biologically active substances, and eliminate bitterness during the processing of Tartary buckwheat grain for functional food production, it is necessary to develop technological methods that would accelerate the introduction of this valuable crop species into food technologies. One such technological approach is the use of biocatalytic technologies.

The aim of the study was to investigate the biochemical indicators, antioxidant activity, microstructure, and mineral composition of Tartary buckwheat grain, as well as the effect of enzymatic hydrolysis during preparation for use in food technologies on the alteration of some of its properties.

Methods

The objects of the study were Tartary buckwheat grain (*Fagopyrum tataricum* (L.) *Gaertn*) of the Kurab variety and common buckwheat grain (Fagopyrum esculentum Moench) of the Dikul variety, kindly provided by the Buckwheat Breeding Laboratory of the Federal Scientific Center for Legumes and Groat Crops (FGBNU). To modify the polysaccharides of the fruit coats of Tartary buckwheat grain, a complex enzyme preparation "Celloviridin G20x" was used, produced by Trichoderma reesei. The optimal conditions for its action are pH 4.5–5.5 and a temperature of 50 °C. The composition includes cellulobioglucanase (activity – 3522 U/g), β-glucanase (activity – 3084 U/g), and xylanase (activity – 728 U/g).

Tartary buckwheat grain was freed from various impurities and washed thoroughly with tap water. The powdered enzyme preparation was added to a citrate buffer solution (pH 5.0) to a concentration of 0.6 g/L and mixed using a magnetic stirrer for 0.4 hours. The prepared grain was then soaked in the enzyme solution in citrate buffer at a grain-to-buffer ratio of 1:2.5. Soaking was carried out in a thermostat at 50 °C. The soaking duration was determined by studying the water absorption dynamics over 36 hours. It was established that the optimal soaking time for Tartary buckwheat grain was 28 hours. After soaking the grain with the complex enzyme preparation, the grain was rinsed with tap water. The enzymatic hydrolysis of the polysaccharides in the fruit coats of Tartary buckwheat grain followed by water rinsing helps to eliminate bitterness and soften the tough cell walls.

The studies were conducted using dry native grains of the two buckwheat species and grains after enzymatic hydrolysis. The antioxidant activity of the grain was determined by a spectrophotometric method using an alcoholic extract. This method is based on measuring the percentage inhibition of the DPPH radical (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Optical density was measured on a "Spekord M40" spectrophotometer at a wavelength of 515 nm. The total flavonoid content was determined using a standard spectrophotometric method. This method is based on studying the absorption spectra of the products formed by the reaction of flavonoids with a 3 % aluminum chloride solution. The optical density of the solutions was measured on a "SF200" spectrophotometer. Microstructural studies were carried out using a ZEISS EVO LS scanning electron microscope with SmartSEM 5.06 software. Mineral elements were determined by atomic absorption spectrophotometry using a HITACHI 180-80 instrument. The amino acid composition and fat-soluble vitamins were analyzed using an Agilent 1260 Infinity II liquid chromatograph.

Results

Table 1 presents the results of experimental studies on the content of certain biochemical indicators in the composition of Tartary buckwheat grain and common buckwheat grain.

The obtained data on protein and starch content are consistent with those of other researchers. The protein content in Tartary buckwheat grain is slightly lower than that reported for common buckwheat grain [28]. The starch in Tartary buckwheat belongs to the resistant starch group; it is not digested or absorbed in the upper gastrointestinal tract but passes into the large intestine, where it is fermented by microorganisms [16].

Table 1

Some biochemical indicators of buckwheat grain composition

Indicator	***The content of buckwheat in the grain***	
	Fagopyrum tataricum	***Fagopyrum esculentum***
Mass fraction of moisture, %	*8.40*	*9.10*
Protein, %	*9.80*	*13.20*
Starch, %	*57.45*	*63.50*
Amount of flavonoids, %	*4.18*	*0.05*
Vitamins		
C, mg / 100 g	*1.70*	*0.70*
B_6, mg / 100 g	*4.70*	*4.40*
B_3, mg / 100 g	*6.80*	*5.90*
B_1, mg / 100 g	*9.60*	*1.60*
P, mg/g	*1.70*	*0.50*
D_2, µg / 100 g	*21.40*	*6.79*
E, µg / 100 g	*254.32*	*87.62*
Trace elements, mg/kg		
Fe	*77.00*	*45.22*
Mn	*15.60*	*2.95*
Zn	*18.90*	*10.36*
Cu	*4.32*	*2.27*
AOA, % inhibition of the DPH radical	*48.00*	*28.8*

Table 2

Amino acid composition of Tartary buckwheat and common buckwheat grain

Amino acid, mg / 100 g	*Composition*	
	Fagopyrum tataricum	*Fagopyrum esculentum*
Aspartic acid	*1 182*	*1 042*
Glutamic acid	*1 961*	*2 016*
Serin	*502*	*445*
Histidine	*509*	*246*
Glycine	*554*	*448*
Threonine	*507*	*441*
Arginine	*961*	*686*
Alanine	*527*	*558*
Tyrosine	*300*	*224*
Cystine	*74*	*196*
Valin	*475*	*378*
Methionine	*160*	*150*
Phenylalanine	*519*	*425*
Isoleucine	*452*	*342*
Leucine	*678*	*484*
Lysine	*564*	*430*
Proline	*177*	*360*
The sum of amino acids	*10 102*	*8 871*

It was found that Tartary buckwheat grain is characterized by a high content of vitamin E and flavonoids (252.32 µg / 100 g and 4.18 %, respectively), which are among the strongest natural antioxidants. The detected content of microelements in Tartary buckwheat grain indicates that this buckwheat species can be considered a source of iron and zinc in human nutrition. The iron and zinc content in Tartary buckwheat grain is 77.0 and 18.9 mg/kg of absolutely dry weight, respectively.

Data on the composition and content of amino acids in buckwheat grain, depending on origin, show species and varietal differences in amino acid content [15].

Table 2 presents the amino acid composition of the grain of the two buckwheat species.

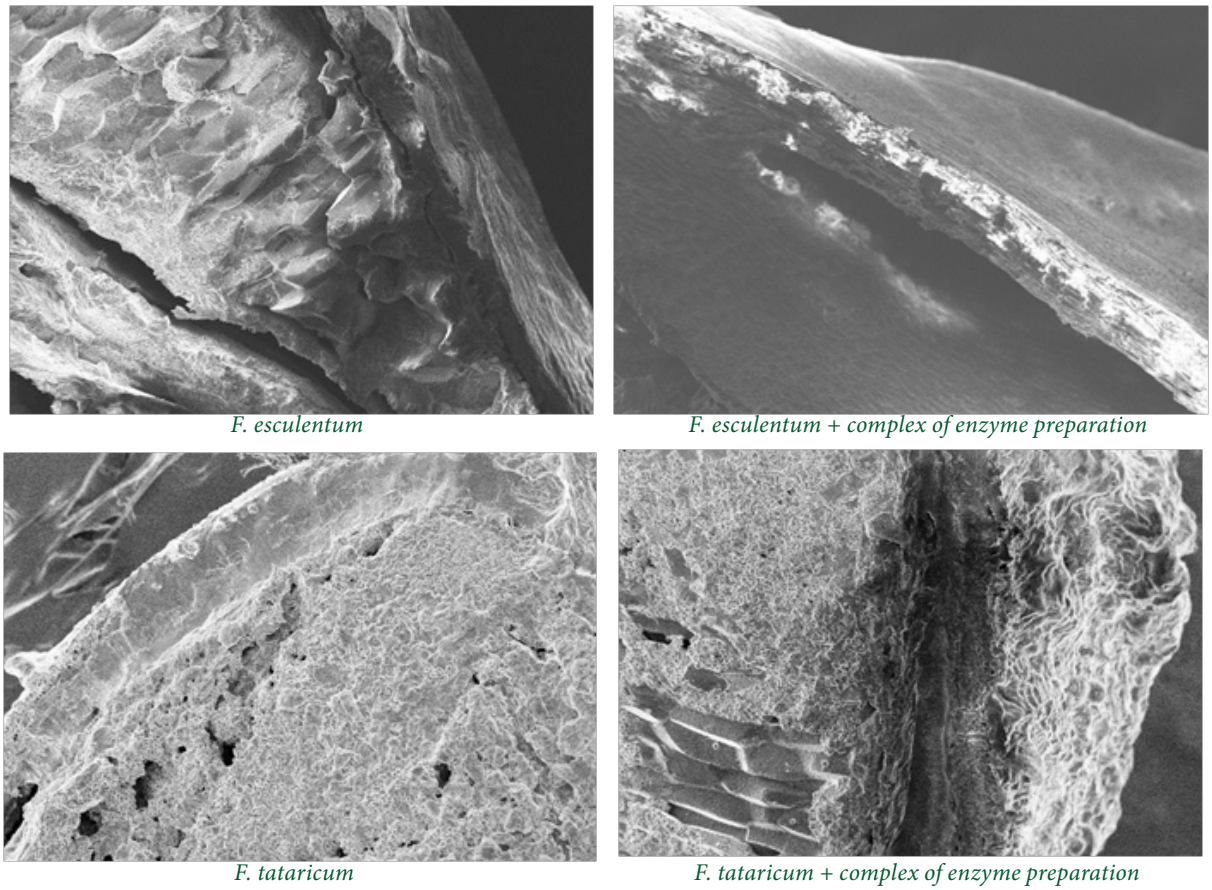
The conducted studies show that the total amino acid content in Tartary buckwheat grain is higher compared to common buckwheat. It was found that the content of essential amino acids – lysine, methionine, phenylalanine, leucine, isoleucine, valine, and threonine – is higher in Tartary buckwheat grain compared to common buckwheat grain. The content of the limiting amino acid lysine in Tartary buckwheat grain is 23.7 % higher than in common buckwheat grain. Common buckwheat grain is characterized by a higher content of cystine, proline, and glutamic acid, indicating a predominance of storage protein amino acids in common buckwheat grain.

The obtained data are consistent with those of other researchers, who showed that both buckwheat species have a balanced amino acid composition with a high proportion of essential amino acids such as leucine and lysine. Tartary buckwheat grain was also found to contain higher levels of these essential amino acids [29].

The obtained experimental data indicate that the protein of the Tatar buckwheat grain contains 2 times more proline from essential amino acids and 15 % more glycine compared to the grain of common buckwheat. Proline and glycine are the most important amino acids involved in the synthesis of collagen in the human body. These amino acids play an important role in the functioning of the musculoskeletal system, in ensuring healthy skin, in the process of wound healing, and are also able to balance blood sugar levels [30].

The conducted studies of certain biochemical indicators of Tartary buckwheat grain of the Kurab variety showed that this buckwheat species surpasses the nutritional value of common buckwheat grain of the Dikul variety. To modify the polysaccharides of the fruit coats of Tartary buckwheat grain of the Kurab variety and increase the bioavailability of biologically active substances, enzymatic hydrolysis of the grain was carried out using the complex enzyme preparation “Celloviridin G20x”.

Fig. 1 shows microphotographs of cross-sections of buckwheat grains taken with a ZEISS EVO LS scanning electron microscope, illustrating the effect of the complex enzyme preparation on the outer layers of the grains of the two buckwheat species. The images show that Fagopyrum esculentum grain is characterized by cellulose microfibrils that are less densely packed. After enzymatic hydrolysis, relatively wide voids ranging from 43 to 60 µm were observed between the coats. In contrast, *Fagopyrum tataricum* grain has more tightly adhering and mechanically strong coats, which are difficult to break down.



F. esculentum *F. esculentum + complex of enzyme preparation*

F. tataricum *F. tataricum + complex of enzyme preparation*

Fig. 1. Microphotographs of the edges of cross-sections of native and complex enzyme preparation-treated buckwheat grain of two species, magnification: 250×

As a result of the enzymatic hydrolysis, the coats became more porous, and small voids appeared between the layers (up to 15–25 μm). Microphotographs of the grain surface of the two buckwheat species (Fig. 2) show that the microrelief of the surface changed after treatment with the complex cellulolytic enzyme preparation. Initial hydrolysis of hemicelluloses facilitates increased accessibility of cellulose for hydrolysis and structural modification due to the action of the enzyme preparation.

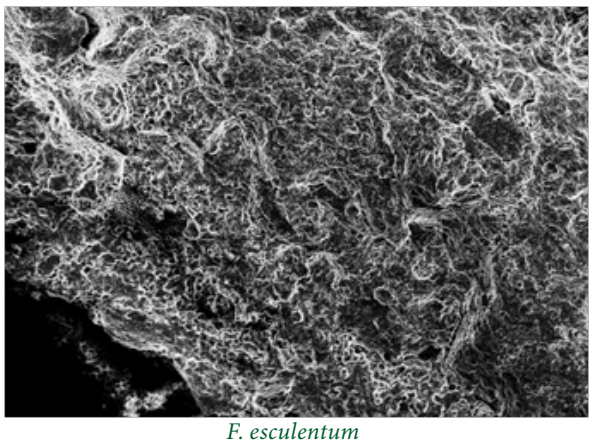
The application of biocatalytic technologies is an approach that allows modification of non-starch polysaccharides forming plant cell walls, thereby enhancing the potential use of seeds with tough coats in food technologies to improve their sensory properties and increase the bioavailability of biologically active compounds.

Fig. 3 shows microphotographs of the endosperm of Tartary buckwheat grain after enzyme treatment during extraction, taken using a scanning electron microscope.

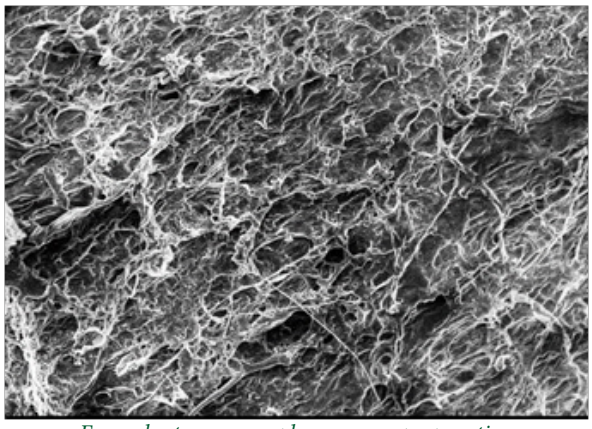
Enzymatic hydrolysis of the polysaccharides in the buckwheat grain coats was carried out in the aqueous phase at a temperature of 50 °C for 28 hours. During this period, a series of processes took place, including moisture filling the pores in the fruit coats, water absorption by hemicelluloses, followed by starch and proteins. As a result of these processes, the conformation of biopolymer molecules changes, the microstructure of protein globules is disrupted, they increase in size and acquire an amorphous, diffuse structure. It is known that heating to 50 °C reduces proteolytic activity and protein solubility in the grain. Water- and salt-soluble protein fractions respond first to the temperature increase, undergoing partial denaturation. Denatured albumins and globulins gain the ability to dissolve in a 0.2 % alkali solution, leading to an increase in the amount of glutenin fraction proteins.

As a result of using cellulolytic enzyme preparations, the protein fraction composition of the grain undergoes somewhat more significant changes. After enzymatic hydrolysis with the complex enzyme preparation “Celloviridin G20x” for 28 hours, the content of the albumin protein fraction in Tartary buckwheat grain increases by 4 %, the globulin fraction by 11 %, and the glutenin fraction by 12 %, while the amount of prolamins decreases by 9.5 %. Additionally, enzymatic hydrolysis leads to a 6.2 % increase in antioxidant activity measured by DPPH radical inhibition, and the total flavonoid content rises by 0.4 %.

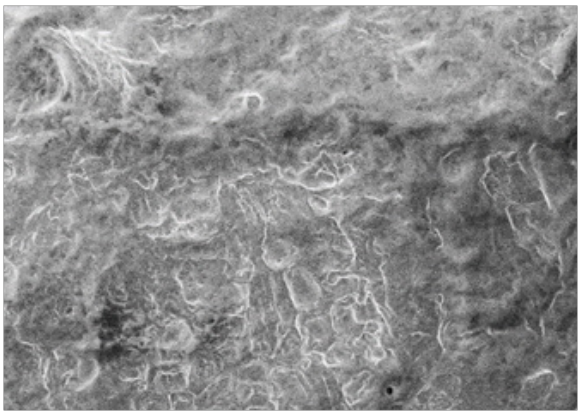
Tartary buckwheat grain prepared using biocatalytic technologies can be used in food technologies to enrich products with functional ingredients.



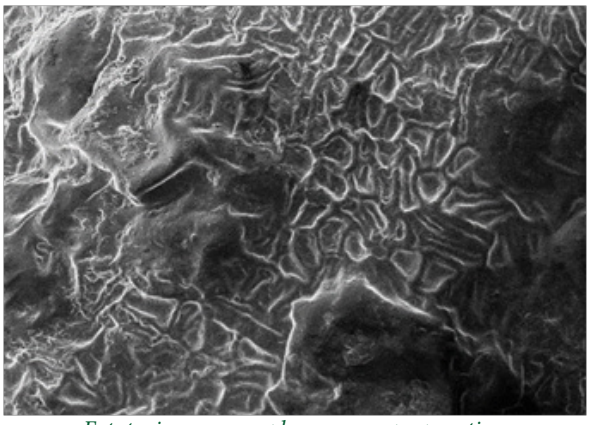
F. esculentum



F. esculentum + complex enzyme preparation

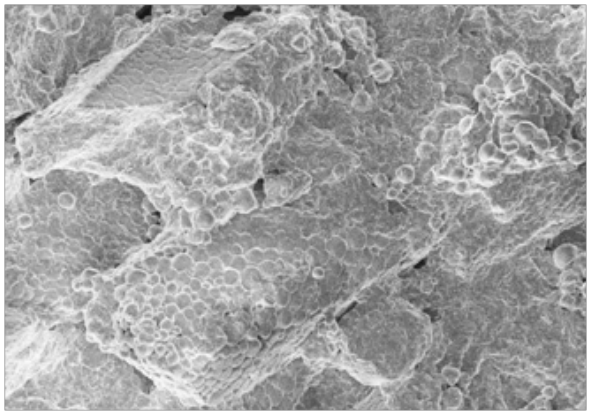


F. tataricum

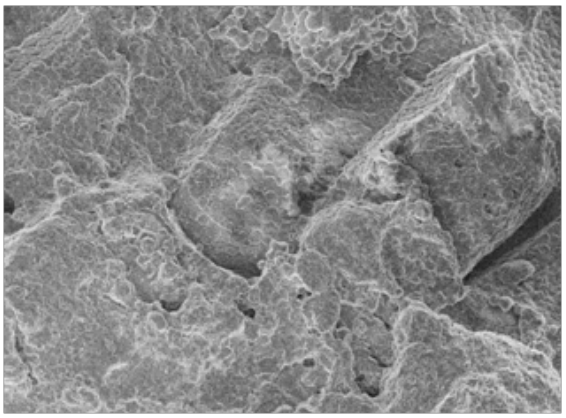


F. tataricum + complex enzyme preparation

Fig. 2. Microphotographs of the surface of native and complex enzyme preparation -treated buckwheat grain of two species, magnification: 500×



1



2

Fig. 3. Microphotographs of the surface of the endosperm of Tartary buckwheat grain (1 – native grain, 2 – treated with enzyme preparation), magnification: 1000×

Discussion and Conclusion

The determination of certain biochemical composition indicators of Tartary buckwheat grain of the Kurab variety showed that, despite a slightly lower protein content compared to common buckwheat grain of the Dikul variety, the amino acid composition of the proteins is more balanced. The amino acid profile of Tartary buckwheat grain shows an increase in essential and functional amino acids and a decrease in the amino acids of storage proteins compared to common buckwheat grain. The vitamin E content in common buckwheat grain is three times lower, and the total flavonoid content is 100 times lower than in Tartary buckwheat grain.

The antioxidant activity of Tartary buckwheat grain is also high, with 48.00 % inhibition of the DPPH radical, which is 1.7 times higher than that of common buckwheat grain. The content of vitamin B1 in Tartary buckwheat grain is six times higher, vitamin C is 2.5 times higher, and vitamin D2 is three times higher than in common buckwheat grain. Additionally, Tartary buckwheat grain can be considered a source of iron, zinc, and manganese.

The obtained results demonstrate the promising potential of using Tartary buckwheat grain in biotechnology and food technologies as a source of biologically active substances and antioxidants. The application of enzymatic hydrolysis in the preparation of Tartary buckwheat grain for use as a functional ingredient in food technologies shows that the cellulolytic enzyme preparation alters the grain's microstructure.

Modification of the polysaccharides in the fruit coats of Tartary buckwheat grain leads to a reduction in their hardness, detachment from the endosperm, and changes in the microstructure of the protein globules in the endosperm. After enzymatic hydrolysis, the protein fraction composition of Tartary buckwheat grain shifts towards an increased amount of the biologically active globulin fraction and elevated levels of albumins and glutenins.

Furthermore, antioxidant activity increases by 6.2 % in terms of DPPH radical inhibition, and the bitterness characteristic of Tartary buckwheat grain disappears.

Thus, Tartary buckwheat grain has high potential for use in food technologies, and the application of enzymatic hydrolysis using a complex cellulolytic enzyme preparation makes it possible to obtain a functional ingredient based on Tartary buckwheat grain with excellent sensory characteristics and beneficial properties for improving consumer health.

References

1. Christa K., Soral-Śmietana M. Buckwheat grains and buckwheat products – nutritional and prophylactic value of their components – a review. *Czech Journal of Food Sciences*. 2008; 26: 153–162. DOI: 10.17221/1602-CJFS.

2. Koval D., Plocková M., Kyselka J., Skřivan P., Sluková M., Horáčková Š. Buckwheat secondary metabolites: potential antifungal agents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2020; 68: 11631–11643. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c04538.

3. Rustemova A. Zh., Rebezov M. B. Leguminous mixture as a promising raw material source in bakery technology. *Agrarian Science.* 2023; (6): 121–125. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125. (In Russ.)

4. Rustemova A. Zh., Rebezov M. B. The use of leguminous mixture for bakery products. *Agrarian Science.* 2023; 1 (8): 137–142. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142. (In Russ.)

5. Kreft I., Zhou M., Golob A., Germ M., Likar M., Dziedzic K., Luthar Z. Breeding buckwheat for nutritional quality. *Breed Science.* 2020; 70: 67–73. DOI: 10.1270/jsbbs.19016.

6. Huda M. N., Lu S., Jahan T., Ding M., Jha R., Zhang K., Zhang W., Georgiev M. I., Park S. U., Zhou M. Treasure from garden: bioactive compounds of buckwheat. *Food Chemistry.* 2021; 335: 127653. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127653.

7. Alvarez-Jubete L., Arendt E. K., Gallagher E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten free ingredients. *Trends in Food Science and Technology.* 2010; 21: 106–113. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.10.014.

8. Zhamel A., Iskakova G. K., Izembayeva A. K., Baiysbayeva M. P. A rationale for the use of buckwheat and corn flour in the technology of gluten-free pasta. *Agrarian Science.* 2023; 5: 93–97. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-93-97. (In Russ.)

9. Atambayeva Z., Nurgazezova A., Rebezov M., Kazhibayeva G., Kassymov S., Sviderskaya D., Toleubekova S., Assirzhanova Z., Ashakayeva R., Apsalikova Z. A risk and hazard analysis model for the production process of a new meat product blended with germinated green buckwheat and food safety awareness. *Frontiers in Nutrition.* 2022; 9: 902760. DOI: 10.3389/fnut.2022.902760.

10. Luthar Z., Golob A., Germ M., Vombergar B., Kreft I. Tartary buckwheat in human nutrition. *Plants.* 2021; 10: 700. DOI: 10.3390/plants10040700.

11. Joshi B. K. Farmers' Knowledge on and on-station characterization of bhate phaper (Rice Tartary Buckwheat). *Nepal Agriculture Research Journal.* 2014; 14: 44–52.

12. Neethirajan S., Hirose T., Wakayama J., Tsukamoto K., Kanahara H., Sugiyama S. Karyotype analysis of buckwheat using atomic force microscopy. *Microscopy and Microanalysis.* 2011; 17 (04): 572–577. DOI: 10.1017/S1431927611000481.

13. Klimova E., Kuznetsova E., Fesenko I., Rezunova O., Brindza J., Nasrullaeva G. Assessment of a new artificial buckwheat species Fagopyrum Hybridum as a source of plant raw materials compared *to F. Tataricum* and *F. Esculentum*. *Potravinarstvo.* 2020; 14 (1): 625–632. DOI: 10.5219/1393.

14. Zhou Y., Lu H., Zhao S., Yan B., Wang H., Zhou X., Xiao Y. The beneficial effects of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum Gaertn*.) on diet-induced obesity in mice are related to the modulation of gut microbiota composition. *Food Science and Human Wellness*. 2023; 12: 1323–1330. DOI: 10.1016/j.fshw.2022.10.014.

15. Sytar O., Chrastinová Ľ., J. Ferencova, Polačikova M., Rajsky M., Brestic M. Nutrient capacity of amino acids from buckwheat seeds and sprouts. *Journal of Food and Nutrition Research*. 2018; 57 (1): 38–47.

16. Zhou M., Tang Y., Deng X., Ruan C., Ding M., Shao J., Wu Y. Description of cultivated Tartary buckwheat. *Buckwheat Germplasm in the World*. 2018; 5: 45–52.

17. Kreft I., Germ M., Golob A., Vombergar B., Vollmannová A., Kreft S., Luthar Z. Phytochemistry, bioactivities of metabolites, and traditional uses of *Fagopyrum tataricum*. *Molecules*. 2022; 27: 7101. DOI: 10.3390/molecules27207101.

18. Suzuki T., Morishita T., Mukasa Y., Takigawa S., Yokota S., Ishiguro K., Noda T. Breeding of 'Manten-Kirari', a non-bitter and trace-rutinosidase variety of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum Gaertn*.). *Breeding Science*. 2014; 64: 344–350. DOI: 10.1270/jsbbs.64.344.

19. Qin P., Wu L., Yao Y., Ren G. Changes in phytochemical compositions, antioxidant and α-glucosidase inhibitory activities during the processing of Tartary buckwheat tea. *Food Research International.* 2013; 50 (2): 562–567. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.03.028.

20. Xue C. Y., Zhang Y. H., Liu Y. H. Effective way of Tartary buckwheat flavone reducing the level of blood glucose and blood lipid. *Chinese Journal of Clinical Rehabilitation.* 2005; 9: 111–113.

21. Zhang M. Study on anti-oxidation activity of Tartary buckwheat shell extraction. *Journal of Food Science.* 2004; 25: 312–314.

22. Wang M., Wei Y. M., Gao J. M. Effects of total flavonoids extract of Tartary buckwheat germ on serum lipidsin hyperlipidemia rats blood lipid and antioxidation. *Acta Nutrimenta Sinica*. 2006; 28: 502–509.

23. Prestamo G., Pedrazuela A., Penas E., Lasunción M., Arroyo G. Role of buckwheat diet on rats as prebiotic and healthy food. *Nutrition Research.* 2003; 23: 803–814. DOI: 10.1016/S0271-5317(03)00074-5.

24. Ahmed A., Khalid N., Ahmad A., Abbasi N. A., Latif M. S. Z., Randhawa M. A. Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: a review. *The Journal of Agricultural Science.* 2014; 152 (03): 349–369. DOI: 10.1017/S0021859613000166.

25. Fabjan N., Rode J., Košir I. J, Wang Z., Zhang Z., Kreft I. Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum Gaertn*.) as a source of dietary rutin and quercitrin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 50: 6452–6455. DOI: 10.1021/jf034543e.

26. Zhu F. Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat. *Food Chemistry.* 2016; 203: 231–245. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.02.050.

27. Kuznetsova E. A., Klimova E. V., Gavrilina V. A., Uchasov D. S., Jarovan N. I., Motyleva S., Brindza J., Berezina N. A., Bychkova T. S., Piyavchenko G. A. Assessment of antioxidant properties of grain concentrate and oxidant-antioxidant status pigs after its inclusion in ration feeding. *Potravinarstvo.* 2018; 12 (1): 735–743. DOI: 10.5219/981.

28. Gorinstein S., Pawelzik E., Delgado E., Haruenkit R., Weisz M., Trakhtenberg S. Characterisation of pseudocereal and cereal proteins by protein and amino acid analyses. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2002; 82: 886–891. DOI: 10.1002/jsfa.1120.

29. Bonafaccia G., Marocchini M., Kreft I. Composition and technological properties of the flour and bran from common and Tartary buckwheat. *Food Chemistry*. 2003; 80 (1): 9–15. DOI: 10.1016/S0308-8146(02)00228-5.

30. Christgen S. L., Becker D. F. Role of proline in pathogen and host interactions. *Antioxidants and Redox Signaling.* 2019; 30 (4): 683–709. DOI: 10.1089/ars.2017.7335.

Authors' information:

Elena A. Kuznetsova, doctor of technical sciences, associate professor, Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia; ORCID 0000-0001-9518-6968, AuthorID 115890. *E-mail: elkuznetcova@yandex.ru*

Maksim B. Rebezov, doctor of agricultural sciences, professor, chief researcher, Gorbatov Research Center for Food Systems, Moscow, Russia; professor of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764. *E-mail: rebezov@ya.ru*

Elena Al. Kuznetsova, assistant, postgraduate, Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia; ORCID 0000-0001-9518-6968, AuthorID 1292799. *E-mail: 1408199714@rambler.ru*

Библиографический список

1. Christa K., Soral-Śmietana M. Buckwheat grains and buckwheat products – nutritional and prophylactic value of their components – a review // Czech Journal of Food Sciences. 2008. No. 26. Pp. 153–162. DOI: 10.17221/1602-CJFS.

2. Koval D., Plocková M., Kyselka J., Skřivan P., Sluková M., Horáčková Š. Buckwheat secondary metabolites: potential antifungal agents // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020. No. 68. Pp. 11631–11643. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c04538.

3. Рустемова А. Ж., Ребезов М. Б. Зернобобовая смесь как перспективный сырьевой источник в технологии хлебопечения // Аграрная наука. 2023. № 6. С. 121–125. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125.

4. Рустемова А. Ж., Ребезов М. Б. Применение зернобобовой смеси для хлебобулочных изделий // Аграрная наука. 2023. № 1 (8). С. 137–142. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142.

5. Kreft I., Zhou M., Golob A., Germ M., Likar M., Dziedzic K., Luthar Z. Breeding buckwheat for nutritional quality // Breed Science. 2020. No. 70. Pp. 67–73. DOI: 10.1270/jsbbs.19016.

6. Huda M. N., Lu S., Jahan T., Ding M., Jha R., Zhang K., Zhang W., Georgiev M. I., Park S. U., Zhou M. Treasure from garden: bioactive compounds of buckwheat // Food Chemistry. 2021. No. 335. Article number 127653. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127653.

7. Alvarez-Jubete L., Arendt E. K., Gallagher E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten free ingredients // Trends in Food Science and Technology. 2010. No. 21. Pp. 106–113. DOI: 10.1016/j.tifs.2009.10.014.

8. Жамел А., Искакова Г. К., Изембаева А. К., Байысбаева М. П. Обоснование использования гречневой и кукурузной муки в технологии безглютеновых макаронных изделий // Аграрная наука. 2023. № 5. С. 93–97. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-93-97.

9. Atambayeva Z., Nurgazezova A., Rebezov M., Kazhibayeva G., Kassymov S., Sviderskaya D., Toleubekova S., Assirzhanova Z., Ashakayeva R., Apsalikova Z. A risk and hazard analysis model for the production process of a new meat product blended with germinated green buckwheat and food safety awareness // Frontiers in Nutrition. 2022. Vol. 9. Article number 902760. DOI: 10.3389/fnut.2022.902760.

10. Luthar Z., Golob A., Germ M., Vombergar B., Kreft I. Tartary buckwheat in human nutrition // Plants. 2021. No. 10. Article number 700. DOI: 10.3390/plants10040700.

11. Joshi B. K. Farmers' Knowledge on and on-station characterization of Bhate phaper (Rice Tartary buckwheat) // Nepal Agriculture Research Journal. 2014. Vol. 14. Pp. 44–52.

12. Neethirajan S., Hirose T., Wakayama J., Tsukamoto K., Kanahara H., Sugiyama S. Karyotype analysis of buckwheat using atomic force microscopy // Microscopy and Microanalysis. 2011. Vol. 17 (04). Pp. 572–577. DOI: 10.1017/S1431927611000481.

13. Klimova E., Kuznetsova E., Fesenko I., Rezunova O., Brindza J., Nasrullaeva G. Assessment of a new artificial buckwheat species Fagopyrum Hybridum as a source of plant raw materials compared to *F. Tataricum* and *F. Esculentum* // Potravinarstvo. 2020. Vol. 14 (1). Pp. 625–632. DOI: 10.5219/1393.

14. Zhou Y., Lu H., Zhao S., Yan B., Wang H., Zhou X., Xiao Y. The beneficial effects of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum Gaertn*.) on diet-induced obesity in mice are related to the modulation of gut microbiota composition // Food Science and Human Wellness. 2023. No. 12. Pp. 1323–1330. DOI: 10.1016/j.fshw.2022.10.014.

15. Sytar O., Chrastinová Ľ., J. Ferencova, Polačikova M., Rajsky M., Brestic M. Nutrient capacity of amino acids from buckwheat seeds and sprouts // Journal of Food and Nutrition Research. 2018. Vol. 57 (1). Pp. 38–47.

16. Zhou M., Tang Y., Deng X., Ruan C., Ding M., Shao J., Wu Y. Description of cultivated Tartary buckwheat // Buckwheat Germplasm in the World. 2018. No. 5. Pp. 45–52.

17. Kreft I., Germ M., Golob A., Vombergar B., Vollmannová A., Kreft S., Luthar Z. Phytochemistry, bioactivities of metabolites, and traditional uses of *Fagopyrum tataricum* // Molecules. 2022. No. 27. Article number 7101. DOI: 10.3390/molecules27207101.

18. Suzuki T., Morishita T., Mukasa Y., Takigawa S., Yokota S., Ishiguro K., Noda T. Breeding of 'Manten-Kirari', a non-bitter and trace-rutinosidase variety of Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum Gaertn*.) // Breeding Science. 2014. No. 64. Pp. 344–350. DOI: 10.1270/jsbbs.64.344.

19. Qin P., Wu L., Yao Y., Ren G. Changes in phytochemical compositions, antioxidant and α-glucosidase inhibitory activities during the processing of Tartary buckwheat tea // Food Research International. 2013. Vol. 50 (2). Pp. 562–567. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.03.028.

20. Xue C. Y., Zhang Y. H., Liu Y. H. Effective way of Tartary buckwheat flavone reducing the level of blood glucose and blood lipid // Chinese Journal of Clinical Rehabilitation. 2005. No. 9. Pp. 111–113.

21. Zhang M. Study on anti-oxidation activity of Tartary buckwheat shell extraction // Journal of Food Science. 2004. No. 25. Pp. 312–314.

22. Wang M., Wei Y. M., Gao J. M. Effects of total flavonoids extract of Tartary buckwheat germ on serum lipidsin hyperlipidemia rats blood lipid and antioxidation // Acta Nutrimenta Sinica. 2006. No. 28. Pp. 502–509.

23. Prestamo G., Pedrazuela A., Penas E., Lasunción M., Arroyo G. Role of buckwheat diet on rats as prebiotic and healthy food // Nutrition Research. 2003. No. 23. Pp. 803–814. DOI: 10.1016/S0271-5317(03)00074-5.

24. Ahmed A., Khalid N., Ahmad A., Abbasi N. A., Latif M. S. Z., Randhawa M. A. Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: a review // The Journal of Agricultural Science. 2014. Vol. 152 (03). Pp. 349–369. DOI: 10.1017/S0021859613000166.

25. Fabjan N., Rode J., Košir I. J, Wang Z., Zhang Z., Kreft I. Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum Gaertn*.) as a source of dietary rutin and quercitrin // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2003. No. 50. Pp. 6452–6455. DOI: 10.1021/jf034543e.

26. Zhu F. Chemical Composition and Health Effects of Tartary Buckwheat // Food Chemistry. 2016. No. 203. Pp. 231–245. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.02.050.

27. Kuznetsova E. A., Klimova E. V., Gavrilina V. A., Uchasov D. S., Jarovan N. I., Motyleva S., Brindza J., Berezina N. A., Bychkova T. S., Piyavchenko G. A. Assessment of antioxidant properties of grain concentrate and oxidant-antioxidant status pigs after its inclusion in ration feeding. // Potravinarstvo. 2018. Vol. 12 (1). Pp. 735–743. DOI: 10.5219/981.

28. Gorinstein S., Pawelzik E., Delgado E., Haruenkit R., Weisz M., Trakhtenberg S. Characterisation of pseudocereal and cereal proteins by protein and amino acid analyses // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2002. Vol. 82. Pp. 886–891. DOI: 10.1002/jsfa.1120.

29. Bonafaccia G., Marocchini M., Kreft I. Composition and technological properties of the flour and bran from common and Tartary buckwheat // Food Chemistry. 2003. Vol. 80 (1). Pp. 9–15. DOI: 10.1016/S0308-8146(02)00228-5.

30. Christgen S. L., Becker D. F. Role of proline in pathogen and host interactions // Antioxidants and Redox Signaling. 2019. No. 30 (4). Pp. 683–709. DOI: 10.1089/ars.2017.7335.

Об авторах:

Елена Анатольевна Кузнецова, доктор технических наук, доцент, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, Орел, Россия; ORCID 00000-0001-7165-3517, AuthorID 115890.
E-mail: elkuznetcova@yandex.ru

Максим Борисович Ребезов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук, Москва, Россия; профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0857-5143, AuthorID 419764. *E-mail: rebezov@ya.ru*

Елена Александровна Кузнецова, ассистент, аспирант, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, Орел, Россия; ORCID 0000-0001-9518-6968, AuthorID 1292799.
E-mail: 1408199714@rambler.ru

УДК 636.5
Код ВАК 4.2.4
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1406-1419

Анализ уровня экспрессии генов *BMPR1B* и *SPP1* у кур

О. С. Романенкова, О. В. Алейникова, О. В. Костюнина✉
Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ им. Л. К. Эрнста,
п. Дубровицы, Московская область, Россия
✉*E-mail: kostolan@yandex.ru*

Аннотация. Экономическая эффективность птицеводства во многом зависит от качества яичной скорлупы. Потери, вызванные ее повреждениями при транспортировке и хранении, обуславливают важность исследований генетических факторов, влияющих на этот признак. Ген *BMPR1B* (рецептор костного морфогенетического белка типа 1B), кодирующий серин/треониновую киназу, принадлежащую к суперсемейству TGF-β, представляет собой один из многофункциональных факторов роста, который экспрессируется в остеобластах и хондроцитах. Ген остеопонтина *SPP1* кодирует белок, участвующий в прикреплении остеокластов к минерализованному костному матриксу. Транскриптомные исследования показали, что *BMPR1B* и *SPP1* входят в число генов, участвующих в процессах минерализации яичной скорлупы. **Целью** работы было исследование экспрессии данных генов в тканях матки и перешейка кур с различными фенотипами для оценки его пригодности в качестве потенциального гена-кандидата для показателя качества скорлупы. **Научная новизна** работы заключается в том, что впервые был осуществлен поиск ДНК-маркеров, ассоциированных с признаком прочности скорлупы кур с использованием анализа экспрессии генов, участвующих в образовании скорлупы яйца. **Методы.** Исследование проведено на курах породы белый хайсекс (n = 48). Методом кПЦР в реальном времени (qPCR) проанализирована экспрессия генов *BMPR1B* и *SPP1* в тканях матки и перешейка. Использованы референсные гены *GAPDH* и *ACTB*. Статистическая обработка данных выполнена в RStudio с применением U-критерия Манна – Уитни. **Результаты.** Анализ результатов исследований в аспекте фенотипов «плохая скорлупа» – «хорошая скорлупа» показал статистически незначимые более высокие значения экспрессии гена *BMPR1B* в группе кур с фенотипом «хорошая скорлупа». При анализе экспрессии гена *SPP1* в тканях матки и перешейка кур контрольной группы и кур с фенотипом «тонкая скорлупа» показал более низкий уровень экспрессии в образцах матки в группе кур с тонкой скорлупой. Фактор возраста не оказывал влияния на уровень относительной экспрессии обоих генов. При этом была выявлена зависимость уровней экспрессии обоих исследуемых генов (*BMPR1B* и *SPP1*) в тканях матки от стадии овуляторного цикла.

Ключевые слова: куры, яйцо, скорлупа, качество, тест-система, экспрессия

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, тема FGGN-2024-0015, № 124020200114-7.

Для цитирования: Романенкова О. С., Алейникова О. В., Костюнина О. В. Анализ уровня экспрессии генов BMPR1B и SPP1 у кур // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1406–1419. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1406-1419.

Дата поступления статьи: 02.06.2025, ***дата рецензирования:*** 18.06.2025, ***дата принятия:*** 02.07.2025.

© Романенкова О. С., Алейникова О. В., Костюнина О. В., 2025

Analysis of the expression level of BMPR1B and SPP1 genes in chickens

O. S. Romanenkova, O. V. Aleynikova, O. V. Kostyunina✉
L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow region, Russia
✉*E-mail: kostolan@yandex.ru*

Abstract. The economic efficiency of poultry farming largely depends on the quality of the eggshell. Losses caused by damage during transportation and storage determine the importance of studying the genetic factors affecting this trait. The *BMPR1B* gene (bone morphogenetic protein receptor type 1B), encoding a serine/threonine kinase belonging to the TGF-β superfamily, is one of the multifunctional growth factors expressed in osteoblasts and chondrocytes. The osteopontin gene *SPP1* encodes a protein involved in the attachment of osteoclasts to the mineralized bone matrix. Transcriptomic studies have shown that *BMPR1B* and *SPP1* are among the genes involved in eggshell mineralization processes. **The purpose** of the work was to study the expression of these genes in the tissues of the uterus and isthmus of hens with different phenotypes to assess its suitability as a potential candidate gene for the shell quality indicator. **The scientific novelty** of the study is that for the first time a search was carried out for DNA markers associated with the trait of eggshell strength in chickens using an analysis of the expression of genes involved in the formation of the eggshell. **Methods**. The study was conducted on White Highsex hens (n = 48). The expression of the *BMPR1B* and *SPP1* genes in the tissues of the uterus and isthmus was analyzed using real-time qPCR (qPCR). The reference genes *GAPDH* and *ACTB* were used. Statistical data processing was performed in RStudio using the Mann – Whitney U-test. **Results**. Analysis of the research results in terms of the "bad shell" – "good shell" phenotypes showed statistically insignificant higher values of *BMPR1B* gene expression in the group of hens with the "good shell" phenotype. When analyzing the expression of the *SPP1* gene in the tissues of the uterus and isthmus of the control group of chickens and chickens with the "thin shell" phenotype, a lower expression level was shown in the uterus samples in the group of chickens with a thin shell. The age factor did not affect the level of relative expression of both genes. At the same time, a dependence of the expression levels of both studied genes (*BMPR1B* and *SPP1*) in the uterine tissues on the stage of the ovulatory cycle was revealed.

Keywords: hens, egg, shell, quality, test system, expression

Acknowledgments. The study was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, topic FGGN-2024-0015, No. 124020200114-7.

For citation: Romanenkova O. S., Aleynikova O. V., Kostyunina O. V. Analysis of the expression level of BMPR1B and SPP1 genes in chickens. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25(09): 1406–1419. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1406-1419. (In Russ.)

Date of paper submission: 02.06.2025, ***date of review:*** 18.06.2025, ***date of acceptance:*** 02.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Исследование детерминант, определяющих прочность и целостность яичной скорлупы, представляет собой направление первостепенной важности для современной яичной индустрии, стремящейся к производству неизменно высококачественной продукции, отвечающей запросам потребителей и требованиям безопасности. Нарушения в формировании скорлупы могут приводить к существенным экономическим потерям в яичной индустрии [1]. Эти потери могут возникать на различных этапах – от сбора яиц и их транспортировки до инкубации, где дефектная скорлупа значительно снижает выводимость цыплят, нанося ущерб воспроизводству поголовья. Яичная скорлупа – это уникальный биокерамический материал, выполняющий множество критически важных функций, обеспечивая сохранность и полноценность яйца. Прежде всего она служит надежным физическим барьером, эффективно защищающим нежное содержимое яйца – желток и белок – от проникновения широкого спектра патогенных микроорганизмов, таких как бактерии (например, Salmonella spp.) и грибы, способных вызвать порчу продукта и представлять опасность для здоровья потребителя. Кроме того, скорлупа защищает от механических повреждений, неизбежных при автоматизированном сборе, сортировке, упаковке и транспортировке яиц [2]. Наряду с этой пассивной защитной ролью скорлупа активно участвует в метаболических процессах, являясь основным и легкодоступным источником кальция для формирования и минерализации скелета развивающегося эмбриона птицы в процессе инкубации. Ее пористая структура, включа-

© Romanenkova O. S., Aleynikova O. V., Kostyunina O. V., 2025

ющая тысячи микроскопических пор, обеспечивает необходимый газообмен (поступление кислорода и удаление углекислого газа), что критически важно для дыхания и нормального развития зародыша. Таким образом, качество яичной скорлупы напрямую влияет не только на товарный вид, пищевую безопасность и сохранность яйца как продукта питания, но и на репродуктивный потенциал птицы, определяя успешность инкубации и жизнеспособность потомства.

Процесс формирования качественных характеристик скорлупы у несушек является сложным и многогранным и находится под влиянием целого комплекса тесно взаимосвязанных эндогенных и экзогенных факторов. Ключевые детерминанты включают особенности рациона питания, такие как сбалансированность по макро- и микронутриентам. Особое значение имеют адекватное поступление и соотношение кальция и фосфора, доступность витамина D3, необходимого для абсорбции кальция в кишечнике и его мобилизации из костной ткани, а также наличие таких микроэлементов, как марганец, цинк и медь, участвующих в ферментативных процессах, связанных с формированием органического матрикса скорлупы. Не менее важна генетическая предрасположенность конкретного кросса или породы птицы, определяющая ее врожденный потенциал к формированию прочной и однородной скорлупы. Это подтверждается наблюдаемыми различиями в качестве скорлупы между разными линиями кур, а также оценками наследуемости таких признаков, как толщина, прочность на разлом и упругая деформация скорлупы [3; 4]. Существенное влияние на процессы кальцификации оказывают параметры окружающей среды, включая температурный режим (тепловой стресс является одним из наиболее значимых негативных факторов, приводящих к снижению потребления корма, нарушению кислотно-щелочного баланса и, как следствие, к истончению скорлупы), относительная влажность воздуха, его чистота (концентрация аммиака и углекислого газа) и уровень освещенности в птичнике, а также световой режим. Технологии содержания птицы, такие как тип используемой системы (клеточная, напольная, вольерная), плотность посадки птицы, которая может влиять на уровень стресса и доступ к корму, и общий уровень зоогигиенического менеджмента, также вносят свой существенный вклад. Среди первостепенных причин, приводящих к появлению разнообразных дефектов яичной скорлупы, – от общего истончения и повышенной хрупкости до появления специфических дефектов, таких как трещины (продольные, поперечные, звездчатые), мраморность, шероховатость, известковые наросты и деформация формы яйца, – выделяют как генетические особенности самой птицы, кодирующие эффективность усвоения и транспорта ионов кальция, синтез и секрецию белков органического матрикса скорлупы, а также общее функционирование репродуктивной системы [5], так и разнообразные внешние стрессовые факторы окружающей среды [6]. Эти внешние воздействия, будь то резкие перепады температуры, нарушения светового режима, высокий уровень шума, социальный стресс в группе или неадекватные условия содержания, способны оказывать прямое негативное влияние на физиологическое состояние птицы, нарушая ее гормональный баланс (например, повышая уровень кортикостерона) и ключевые метаболические процессы. В частности, они негативно воздействуют на функционирование матки (скорлуповой железы) – специализированного отдела яйцевода, ответственного за секрецию компонентов скорлупы (органического матрикса и ионов кальция) и ее последующую минерализацию в течение нескольких часов. Нарушения в этом тонко настроенном и энергозатратном процессе приводят к сбоям в отложении карбоната кальция в форме кальцита, формированию аномальной кристаллической структуры, изменению соотношения органической и неорганической фаз и, как следствие, к появлению видимых внешних и скрытых структурных дефектов конечного продукта, снижающих его потребительскую ценность и технологические свойства.

В свете многофакторной природы качества яичной скорлупы современные исследования активно направлены на идентификацию молекулярно-генетических маркеров, ассоциированных с этим важным хозяйственно полезным признаком. Поиск различий между транскриптомными профилями экспрессии тканей репродуктивного тракта, в частности матки, у кур с различным качеством скорлупы выявил ряд дифференциально экспрессирующихся генов, среди которых можно отметить гены *BMPR1B* и *SPP1* [7–9]. Продукты их экспрессии вовлечены в фундаментальные биологические процессы, потенциально связанные с морфогенезом тканей и биоминерализацией, что является отправной точкой для более глубокого изучения их роли в контексте формирования яичной скорлупы. Показано, что мутация g668.A > T (№ U01844, NCBI) гена *SPP1* была ассоциирована с качеством скорлупы [10], что указывает на функциональную значимость данного полиморфизма или тесно сцепленных с ним участков генома. Для понимания потенциальной роли гена *BMPR1B* в контексте формирования яичной скорлупы необходимо рассмотреть более широкую группу белков, к которой он принадлежит. Костные морфогенетические белки (BMP) представляют собой обширную группу факторов роста и дифференцировки, принадлежащих к суперсемейству трансформирующих факторов роста-β [11]. Изначально эти белки были открыты и охарактеризованы благодаря их уникальной способности индуцировать

эктопическое формирование костной и хрящевой ткани при имплантации в мышечную ткань. Однако последующие многочисленные исследования показали, что BMPs являются многофункциональными регуляторами широкого спектра клеточных процессов, включая пролиферацию, дифференцировку, адгезию, миграцию, апоптоз и морфогенез различных тканей и органов на всех этапах онтогенеза – от раннего эмбрионального развития до взрослого состояния. Суперсемейство TGF-β, к которому относятся BMPs, является одной из наиболее крупных и эволюционно консервативных групп сигнальных молекул у многоклеточных организмов, играющей фундаментальную роль не только в эмбриональном развитии и органогенезе, но и в поддержании тканевого гомеостаза, репаративных процессах при повреждении тканей, а также в регуляции иммунного ответа. Ген *BMPR1B* (Bone Morphogenetic Protein Receptor Type 1B) – это ген, кодирующий трансмембранный рецептор серин/треониновую киназу, принадлежащую к суперсемейству рецепторов TGF-β. Рецепторы этого типа подразделяются на рецепторы типа I и типа II. BMPR1B относится к рецепторам типа I и играет ключевую роль в передаче сигнала от лигандов BMP внутрь клетки. Этот процесс обычно включает формирование гетеромерного комплекса с рецептором типа II, последующее фосфорилирование рецептора типа I рецептором типа II, что активирует киназный домен рецептора типа I. Активированный BMPR1B, в свою очередь, фосфорилирует внутриклеточные эффекторные белки семейства SMAD (в частности, R-SMADs: SMAD1, SMAD5, SMAD8), которые затем образуют комплекс с ко-SMAD (SMAD4) и транслоцируются в ядро, где регулируют экспрессию генов-мишеней. У кур этот ген играет важную роль в нескольких биологических процессах. Во-первых, это регуляция яйценоскости, в частности, процесс фолликулогенеза и созревания ооцитов [12]. Во-вторых, это адаптация к стрессовым факторам окружающей среды, таким как гипоксия, что может быть критично для поддержания продуктивности в неоптимальных условиях [13]. В-третьих, это потенциальное прямое или опосредованное влияние на качество яичной скорлупы [14], вероятно, через модуляцию клеточной активности и дифференцировки клеток в скорлуповой железе. В-четвертых, это регуляция экспрессии других генов, вовлеченных в процессы биоминерализации, или влияние на транспорт ионов и синтез компонентов органического матрикса. А также участие общей репродуктивной физиологии кур [15], включая развитие и функционирование репродуктивных органов и регуляцию гормонального статуса.

Другим ключевым геном-кандидатом, выявленным в контексте формирования яичной скорлупы, является *SPP1* (Secreted Phosphoprotein 1), также известный как остеопонтин (OPN). Это высококонсервативный, кислый, секретируемый гликопротеин, относящийся к семейству SIBLING (Small Integrin-Binding Ligand, N-linked Glycoprotein). Он характеризуется значительной степенью посттрансляционных модификаций, включая обширное фосфорилирование и гликозилирование, что обуславливает его многофункциональность и способность взаимодействовать с различными молекулярными партнерами. Наличие в его первичной структуре RGD-последовательности (аргинин-глицин-аспартат) обеспечивает его взаимодействие с различными интегриновыми рецепторами на поверхности клеток, а высокое содержание кислых аминокислотных остатков (аспарагиновой и глутаминовой кислот), а также фосфатных групп способствует эффективному связыванию ионов кальция и взаимодействию с гидроксиапатитом. SPP1/остеопонтин играет важную и часто плейотропную роль в различных физиологических и патологических процессах у различных видов животных, включая человека. Он вовлечен в процессы биоминерализации костной ткани и зубов (где он может как способствовать минерализации, так и ингибировать ее в зависимости от контекста), иммунный ответ (хемотаксис, активация макрофагов и Т-клеток), клеточную адгезию, миграцию, выживание клеток и ремоделирование тканей при заживлении ран и воспалении. У кур (Gallus Gallus) современные транскриптомные и геномные подходы всесторонне раскрывают ключевую роль этого гена в специфических аспектах их биологии, особенно в контексте функционирования репродуктивной системы и формирования яйца. Особое значение для настоящего исследования имеет тот факт, что ген *SPP1* демонстрирует исключительно высокий уровень экспрессии в железистой части яйцевода (матке) кур-несушек – ткани, критически важной для кальцификации и формирования скорлупы яиц. Этот отдел репродуктивного тракта является местом, где происходят интенсивная кальцификация и окончательное формирование всех слоев яичной скорлупы – процесс, требующий точной пространственно-временной координации секреции сложного органического матрикса и массивного отложения минеральных компонентов, преимущественно карбоната кальция. Согласно транскриптомным исследованиям, *SPP1* входит в число генов, экспрессия которых значительно обогащена в матке кур во время формирования скорлупы, и он идентифицирован как ключевой компонент метаболических путей, связанных с метаболизмом фосфатсодержащих соединений, транспортом неорганических анионов (включая карбонатные и фосфатные ионы, необходимые для минерализации) и в целом с процессами минерализации яичной скорлупы [14]. Эти данные убедительно указывают на его активное участие в

регуляции поставки и доступности минеральных предшественников, а также в модуляции процессов кристаллизации. Сравнительные исследования транскриптомных профилей и протеомного состава матки между породами или линиями кур с различным качеством яичной скорлупы последовательно подчеркивают участие *SPP1* в определении толщины скорлупы, плотности и морфологии маммиллярного слоя, а также эффективной толщины, организации и ориентации кристаллов в последующих слоях скорлупы, включая основной, палисадный слой [16]. Совокупность этих результатов убедительно свидетельствует о том, что *SPP1* вносит значительный и многогранный вклад в структурную целостность и качество яичной скорлупы, вероятно, через свою роль в связывании ионов кальция. Он выступает в качестве одного из основных белков органического матрикса и модулирует процессы нуклеации кристаллов карбоната кальция, а также влияет на последующий рост, размер, форму и кристаллографическую ориентацию этих кристаллов. Таким образом, *SPP1* определяет микроструктуру, пористость и в конечном счете механические свойства скорлупы.

Учитывая вышеизложенные данные о многогранной роли *BMPR1B* в репродуктивной физиологии и его потенциальном влиянии на формирование скорлупы, а также убедительные доказательства активной вовлеченности *SPP1* в процессы биоминерализации и формирования уникальной структуры яичной скорлупы, основной целью настоящей научной работы являлось проведение анализа экспрессии генов *BMPR1B* и *SPP1* в тканях репродуктивного тракта (матке и перешейка) у групп кур с контрастными фенотипами. Ключевая задача – определение того, могут ли эти гены рассматриваться как перспективные гены-кандидаты для селекционных программ, нацеленных на генетическое улучшение параметров прочности и целостности скорлупы у сельскохозяйственной птицы, что имеет большое практическое значение для повышения эффективности и рентабельности яичного птицеводства.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование проводили на курах яичного кросса белый хайсекс (n = 48), являющегося одним из распространенных промышленных кроссов, характеризующимся высокой яичной продуктивностью, что делает его релевантным объектом для изучения факторов качества скорлупы. Птица содержалась в условиях физиологического двора ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста, обеспечивающих стандартизированные условия кормления и содержания, минимизирующие влияние неконтролируемых внешних факторов. После убоя птицы проводили вскрытие с последующим отбором образцов матки (яйцевода) и перешейка. Данные отделы репродуктивного тракта были выбраны целенаправленно, так как матка является местом активного синтеза белков органического матрикса и интенсивной минерализации скорлупы, а перешеек также участвует в этих процессах. Ткани незамедлительно помещали на долгосрочное хранение в ультранизкотемпературный морозильник при –86 °C (Snijders Tilburg B. V., Нидерланды), что обеспечивает сохранность и предотвращает деградацию РНК.

Экстракцию тотальной РНК проводили с использованием набора «РНК-Экстран» (ООО «Синтол», Россия) в соответствии с протоколом производителя. Синтез кДНК первой цепи выполняли с использованием набора OT-M-MuLV-RH (ООО «Биолабмикс», Россия) в соответствии с рекомендациями производителя. В качестве матрицы использовали стандартизированное количество (2 мкг) тотальной РНК, гексамерные случайные праймеры для обеспечения обратной транскрипции всех типов РНК, присутствующих в образце, и M-MuLV-ревертазу, обладающую высокой процессивностью и термостабильностью. Реакцию проводили в термоциклере T100 (Bio-Rad, США) в общем объеме 20 мкл. После инкубации при 42 °C в течение 60 минут и инактивации фермента при 70 °C в течение 10 минут полученные кДНК хранили при –20 °C до момента использования в ПЦР.

Дизайн праймеров для генов *BMPR1B*, *SPP1*, *GAPDH* и *ACTB* производили в программе Primer3web v. 3.0 [17] с учетом следующих критических параметров для количественной ПЦР: оптимальная длина ампликона (80–150 п. н.) для эффективной амплификации в реальном времени, температура отжига (60 ± 2 °C) для обеспечения специфичности связывания, отсутствие потенциальных димеров и вторичных структур, которые могли бы интерферировать с реакцией. В качестве референсных генов применяли *GAPDH* (глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа) и *ACTB* (β-актин), часто используемые в исследованиях экспрессии генов у птиц благодаря их относительно стабильной экспрессии в различных тканях и условиях. Стабильность их экспрессии в данном конкретном эксперименте (между группами и тканями) дополнительно подтверждалась анализом сырых *Ct*-значений.

Количественную ПЦР в реальном времени (qPCR) проводили на амплификаторе QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific, США), используя оптические планшеты и пленку, совместимые с прибором. Протокол амплификации включал первоначальную денатурацию при 95 °C в течение 5 минут для полной денатурации кДНК и активации полимеразы, затем 40 циклов амплификации (95 °C – 15 с для денатурации, 60 °C – 30 с для отжига праймеров, 72 °C – 30 с для элонгации). Детекция флуоресценции проводилась на этапе элонгации. Для расчета относительной экспрессии использовали метод 2^-(ΔΔCt) [18], который позволяет сравнить уровень

экспрессии целевого гена в опытной группе относительно контрольной группы после нормализации по экспрессии референсных генов. Нормализацию проводили по геометрическому среднему уровню экспрессии двух референсных генов (*GAPDH*, *ACTB*) для повышения надежности. Статистическую обработку данных выполняли в среде RStudio (v. 4.2.1) с использованием пакетов tidyverse (v. 2.0.0) для манипуляции, обработки и визуализации данных, ggpubr (v. 0.6.0) для построения графиков (в частности, боксплотов) и rstatix (v. 0.7.2) для проведения непараметрической статистики. Проверку нормальности распределения данных относительной экспрессии в каждой группе осуществляли с помощью теста Шапиро – Уилка. Поскольку для некоторых групп распределение отличалось от нормального ($p < 0,05$), для сравнения независимых групп применяли *U*-критерий Манна – Уитни, являющийся непараметрическим аналогом *t*-критерия Стьюдента. Уровень значимости для всех тестов устанавливали на уровне $p < 0,05$.

Результаты (Results)

Исследуемая выборка включала три экспериментальные группы кур: молодых (27–28 недель, что соответствует началу – середине продуктивного периода, $n = 8$), птиц с диагностированным нарушением формирования скорлупы (истончение и повышенная хрупкость, определяемые визуально и/или инструментально, $n = 15$), а также возрастных несушек (старше пика продуктивности: например, 60–70 недель) без явных патологий скорлупы ($n = 25$), которые служили одной из контрольных групп. Определение уровней экспрессии генов BMPR1B и SPP1 в тканях матки и перешейка кур осуществляли в мультиплексных реакциях, реализованных в формате TaqMan. Использование технологии TaqMan с флуоресцентно мечеными зондами позволяет проводить высокоспецифичное мультиплексное детектирование нескольких генов (целевых и референсных) в одной реакционной пробирке, что повышает точность и экономит реактивы. На рис. 1 показаны профили амплификации (кривые накопления флуоресцентного сигнала в зависимости от цикла ПЦР) в образцах матки и перешейка гена *BMPR1B*.

Кривые имеют характерную S-образную форму, свидетельствующую об успешной амплификации всех трех генов в мультиплексном режиме.

На рис. 2 представлены кривые амплификации в образцах матки и перешейка гена *SPP1*.

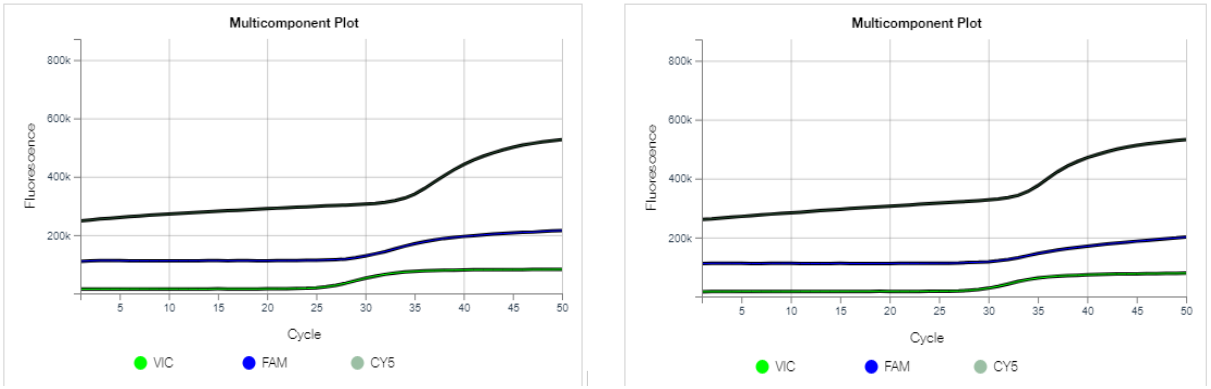


Рис. 1. Кривые амплификации кДНК тканей матки (слева) и перешейка (справа) целевого гена BMPR1B. FAM – ACTB, R6G (в канале VIC) – GAPDH, TAMRA – BMPR1B

Fig. 1. Amplification curves of uterine (left) and isthmus (right) tissue cDNA of the target gene BMPR1B. FAM – ACTB, R6G (in the VIC channel) – GAPDH, TAMRA – BMPR1B

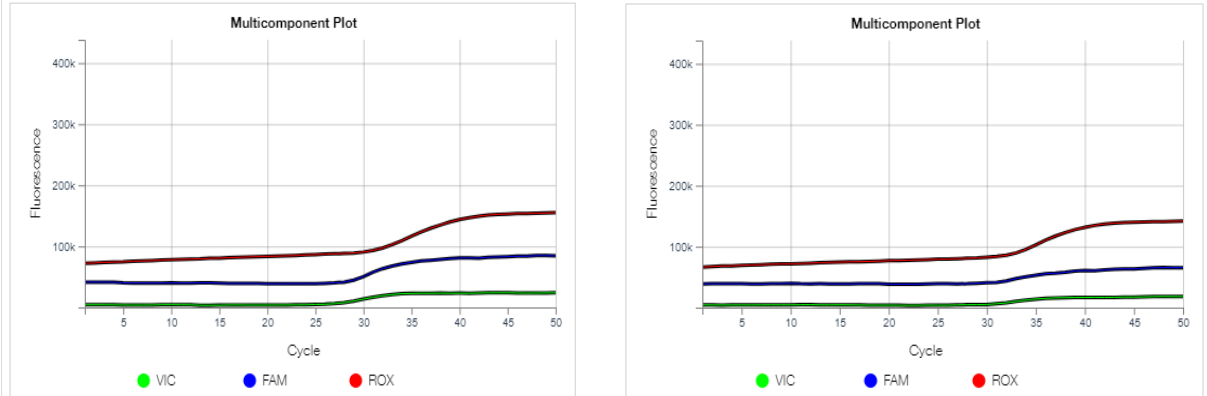


Рис. 2. Кривые амплификации кДНК тканей матки (слева) и перешейка (справа) целевого гена SSP1. FAM – ACTB, R6G (в канале VIC) – GAPDH, ROX – SPP1

Fig. 2. Amplification curves of uterine (left) and isthmus (right) tissue cDNA of the target gene SSP1. FAM – ACTB, R6G (in the VIC channel) – GAPDH, ROX – SPP1

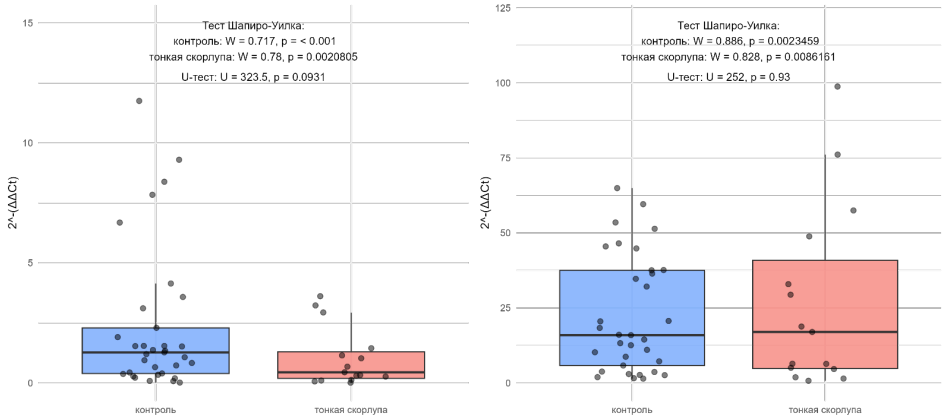


Рис. 3. Боксплоты, демонстрирующие 2^-(ΔΔCt) в группах кур с нормальной (контроль) и тонкой скорлупой в тканях матки (слева) и перешейка (справа) по гену BMPR1B

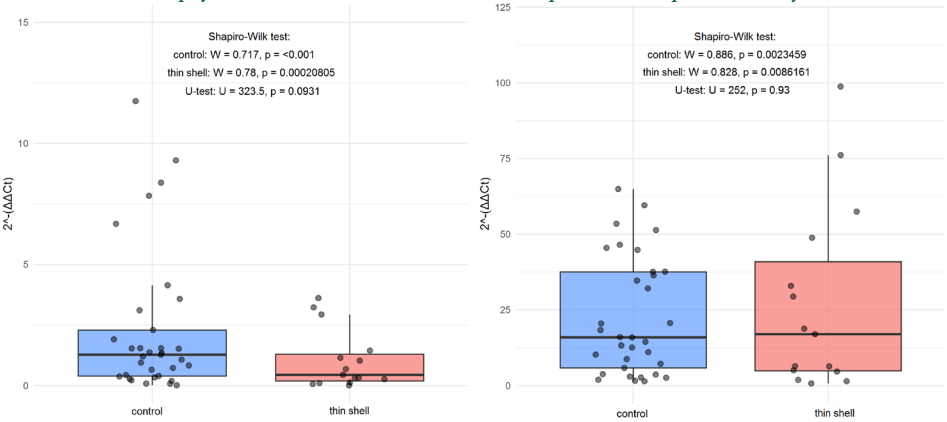


Fig. 3. Boxplots showing 2^-(ΔΔCt) in normal (control) and thin-shelled chicken groups in uterine (left) and isthmus (right) tissues for the BMPR1B gene

Аналогично рис. 1 наблюдаются типичные кривые амплификации для целевого гена *SPP1* и референсных генов.

Выполняли анализ уровней относительной экспрессии (рассчитанных по методу 2^-(ΔΔCt)) в группах кур с тонкой скорлупой против всех остальных (объединенная контрольная группа, включающая молодых и возрастных кур с нормальной скорлупой). На рис. 3 продемонстрированы боксплоты значений 2^-(ΔΔCt) в сравниваемых группах по гену *BMPR1B*.

Анализ результатов исследований в аспекте фенотипов «плохая скорлупа» – «хорошая скорлупа» демонстрирует некоторое численное превосходство медианных значений экспрессии гена *BMPR1B* в группе кур с фенотипом «хорошая скорлупа», но различия статистически не значимы. Наблюдается тенденция к более низкому уровню экспрессии гена в матке кур с тонкой скорлупой ($p = 0{,}0931$). В целом медианный уровень экспрессии данного гена в тканях матки был ниже, чем в тканях перешейка во всех исследуемых группах.

На рис. 4 представлены результаты анализа экспрессии гена *SPP1* в тканях матки и перешейка кур контрольной группы и кур с фенотипом «тонкая скорлупа».

Относительный уровень экспрессии гена *SSP1* в тканях матки был заметно выше, чем в тканях перешейка (рис. 4). В аспекте качества скорлупы можно отметить, что в группе кур с тонкой скорлупой уровень экспрессии в образцах матки был статистически значимо ниже ($p = 0{,}0265$), чем в группе кур с нормальной скорлупой. В образцах перешейка, напротив, медианная экспрессия была несколько выше в образцах кур с тонкой скорлупой, однако различия недостоверны ($p > 0{,}05$). Мы оценили влияние фактора возраста на уровень экспрессии генов *BMPR1B* и *SSP1* в группах кур с «хорошей скорлупой» (сравнивая молодых и возрастных несушек с нормальной скорлупой).

Мы оценили влияние фактора возраста на уровень экспрессии генов *BMPR1B* и *SSP1* в группах кур с «хорошей скорлупой». На рис. 5 и 6 показаны графики с результатами анализа экспрессии в этих группах.

Как показано на рис. 5, фактор возраста не оказывал статистически значимого влияния на уровень относительной экспрессии гена *BMPR1B* как в образцах матки ($p > 0{,}05$), так и в образцах перешейка ($p > 0{,}05$). По результатам анализа уровня экспрессии гена *SPP1* также статистически значимых различий между молодыми и возрастными курами с хорошей скорлупой не обнаружено (рис. 6) ($p > 0{,}05$ для обеих тканей).

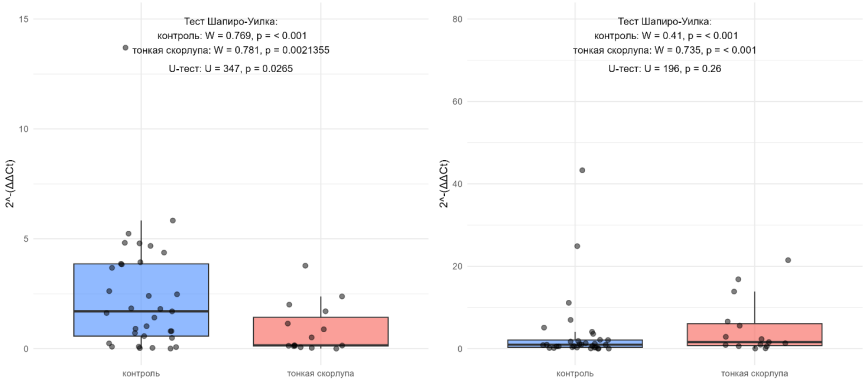


Рис. 4. Боксплоты, демонстрирующие 2^-(ΔΔCt) в группах кур с нормальной (контроль) и тонкой скорлупой в тканях матки (слева) и перешейка (справа) по гену SSP1

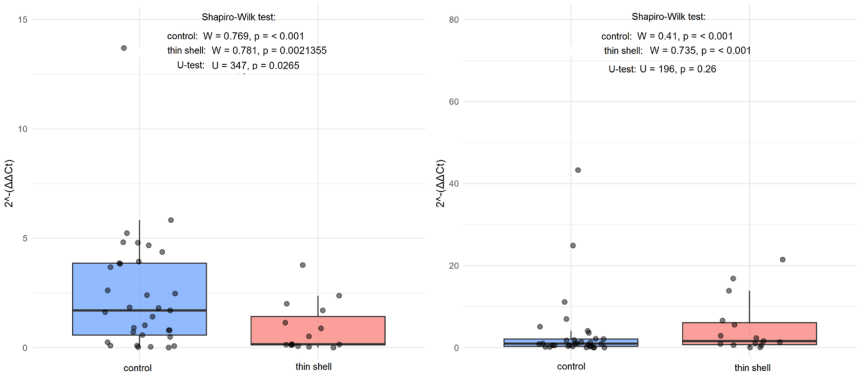


Fig. 4. Boxplots showing 2^-(ΔΔCt) in normal (control) and thin-shelled chicken groups in uterine (left) and isthmus (right) tissues for the SSP1 gene

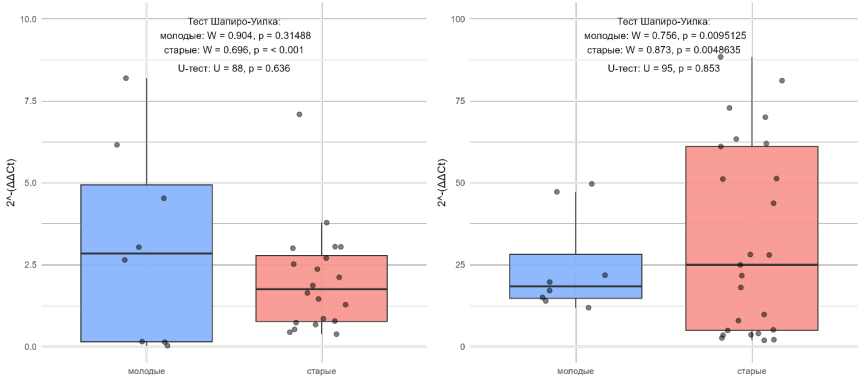


Рис. 5. Боксплоты, демонстрирующие 2^-(ΔΔCt) в группах молодых и старых кур с нормальной скорлупой в тканях матки (левый рисунок) и перешейка (правый рисунок) по гену BMPR1B

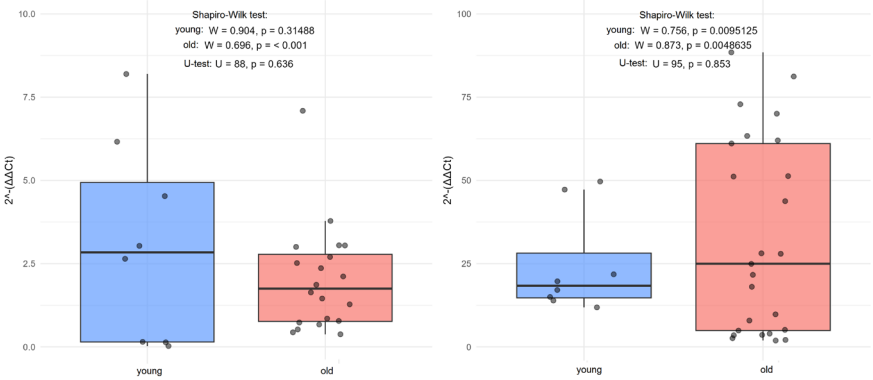


Fig 5. Boxplots showing 2^-(ΔΔCt) in groups of young and old normal-shell hens in uterine (left) and isthmus (right) tissues for the BMPR1B gene

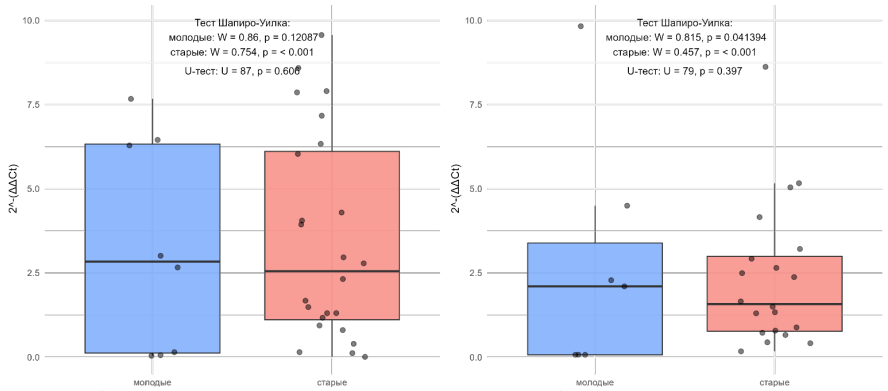


Рис. 6. Боксплоты, демонстрирующие 2^-(ΔΔCt) в группах молодых и старых кур с нормальной скорлупой в тканях матки (левый рисунок) и перешейка (правый рисунок) по гену SPP1

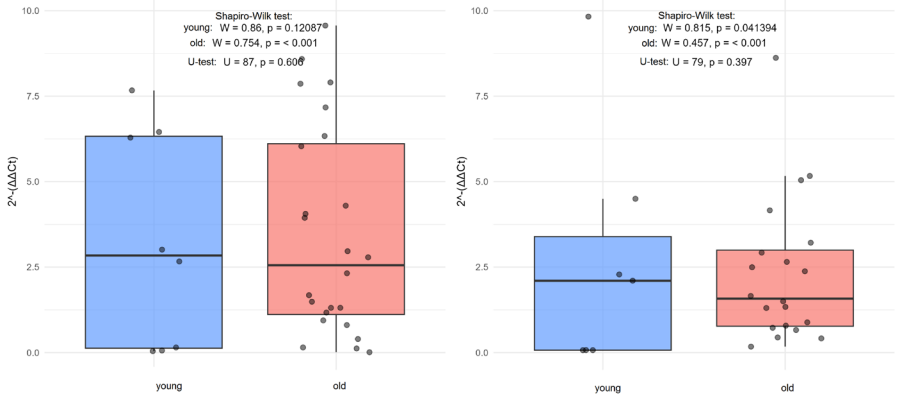


Fig. 6. Boxplots showing 2^-(ΔΔCt) in groups of young and old hens with normal shell in the tissues of the uterus (left) and isthmus (right) for the SPP1 gene

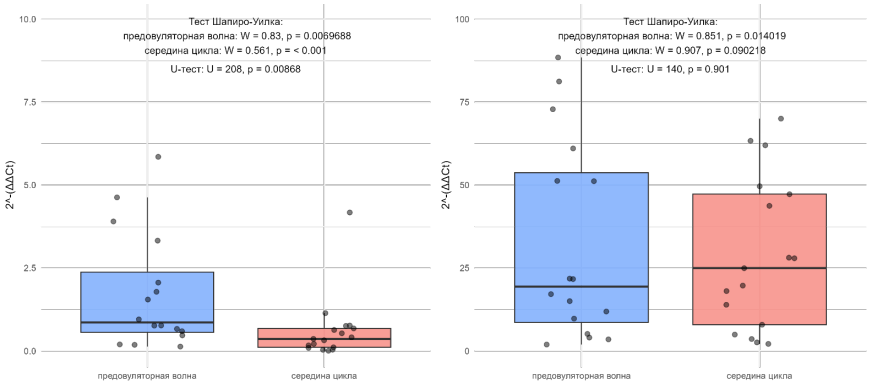


Рис. 7. Боксплоты, демонстрирующие 2^-(ΔΔCt) в группах «предовуляторная волна» и «середина цикла» в тканях матки (слева) и перешейка (справа) по гену BMPR1B

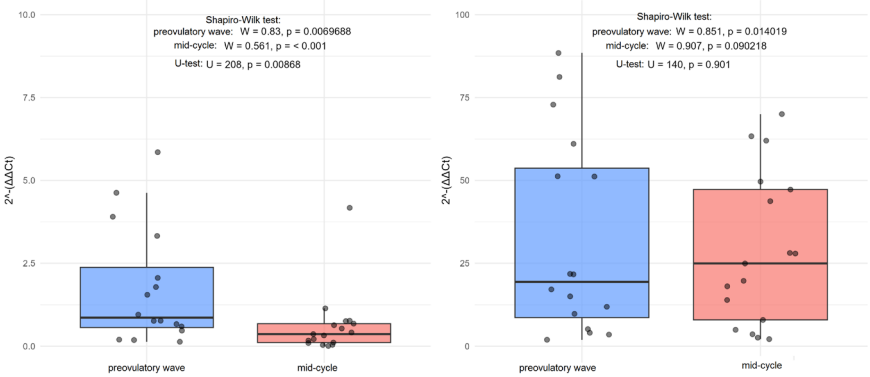


Fig. 7. Boxplots showing 2^-(ΔΔCt) in the preovulatory wave and mid-cycle groups in uterine (left) and putamen (right) tissues for the BMPR1B gene

Затем мы выполнили анализ экспрессии исследуемых генов в группах кур с учетом стадии овуляторного цикла – «предовуляторная волна» (период непосредственно перед овуляцией и началом формирования следующего яйца) и «середина цикла» (период между овуляциями, когда активное формирование яйца не происходит). На рис. 7 и 8 представлены результаты выполненного анализа.

Уровень экспрессии гена *BMPR1B* в тканях матки в группе кур с фенотипом «предовуляторная волна» (рис. 7) был заметно выше, чем у кур группы «середина цикла», различия статистически значимы при $p = 0{,}009$, что указывает на существенное влияние фактора стадии овуляторного цикла на уровень экспрессии этого гена в тканях матки. В тканях перешейка значимых различий в экспрессии *BMPR1B* в зависимости от стадии цикла не выявлено ($p > 0{,}05$).

По гену *SPP1* также обнаружена статистически значимая зависимость уровня экспрессии гена от стадии овуляторного цикла в тканях матки (рис. 8), у кур из группы «предовуляторная волна» уровень экспрессии был значительно выше, чем у кур группы «середина цикла» (при $p = 0{,}00369$). В перешейке, как и для *BMPR1B*, значимых различий в экспрессии *SPP1* в зависимости от стадии цикла не наблюдалось ($p > 0{,}05$).

Затем мы выполнили анализ в группах «старые, середина цикла» и «тонкая скорлупа, середина цикла», чтобы максимально нивелировать возможное влияние факторов возраста и особенно стадии овуляторного цикла, сравнивая птиц, находящихся в одной и той же фазе репродуктивного цикла. Результаты представлены на рис. 9 и 10.

Как показано на рис. 9, различий в уровне экспрессии гена *BMPR1B* между группами кур не наблюдалось ни по образцам матки ($p > 0{,}05$), ни по образцам перешейка ($p > 0{,}05$).

Уровень экспрессии гена *SSP1* в группах (рис. 10) также не различался статистически значимо в различных тканях при сравнении в одинаковую стадию овуляторного цикла ($p > 0{,}05$ для обеих тканей).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Исследование факторов, определяющих прочность яичной скорлупы, остается приоритетным направлением в птицеводстве, учитывая значительные экономические потери от ее дефектов и ключевую роль скорлупы в защите содержимого яйца и развитии эмбриона. Качество скорлупы является многофакторным признаком, зависящим от питания, генетики, условий содержания и физиологического состояния птицы. Предшествующие транскриптомные анализы тканей матки кур-несушек [7–9], а также генетико-ассоциативные исследования [10] указывали на потенциальную роль генов *BMPR1B* и *SPP1* в формировании качественных характеристик скорлупы, что послужило основанием для их детального изучения в настоящей работе с целью оценки их экспрессионных профилей в зависимости от качества скорлупы, возраста и стадии овуляторного цикла.

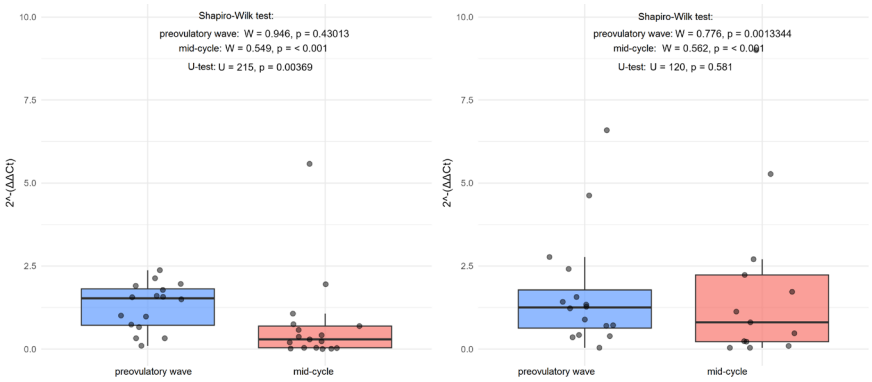


Рис. 8. Боксплоты, демонстрирующие 2^-(ΔΔCt) в группах «предовуляторная волна» и «середина цикла» в тканях матки (слева) и перешейка (справа) по гену SPP1

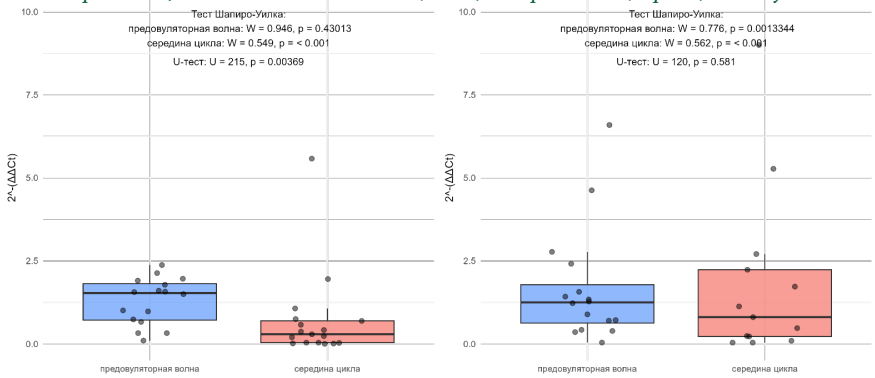


Fig. 8. Boxplots showing 2^-(ΔΔCt) in the preovulatory wave and mid-cycle groups in uterine (left) and isthmus (right) tissues for the SPP1 gene

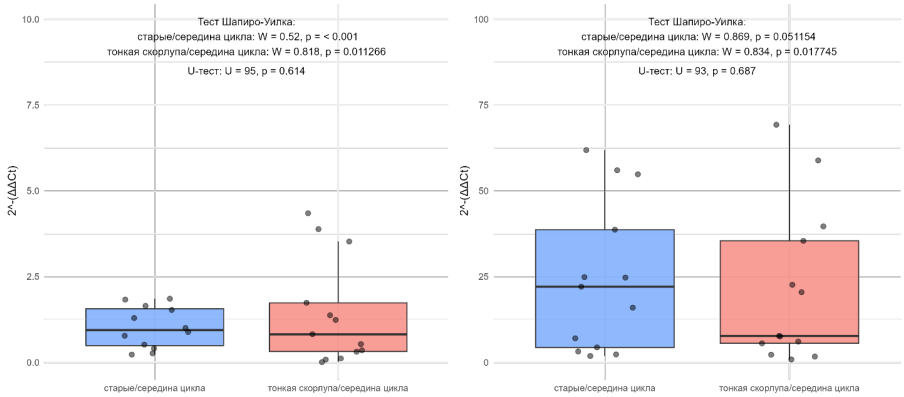


Рис. 9. Боксплоты, демонстрирующие 2^-(ΔΔCt) в группах «старые, середина цикла» и «плохая скорлупа, середина цикла» в тканях матки (слева) и перешейка (справа) по гену BMPR1B

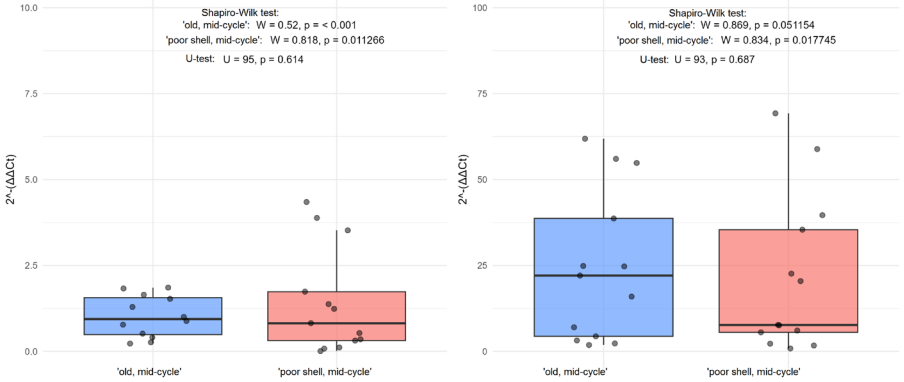


Fig. 9. Boxplots showing 2^-(ΔΔCt) in the 'old, mid-cycle' and 'poor shell, mid-cycle' groups in uterine (left) and isthmus (right) tissues for the BMPR1B gene

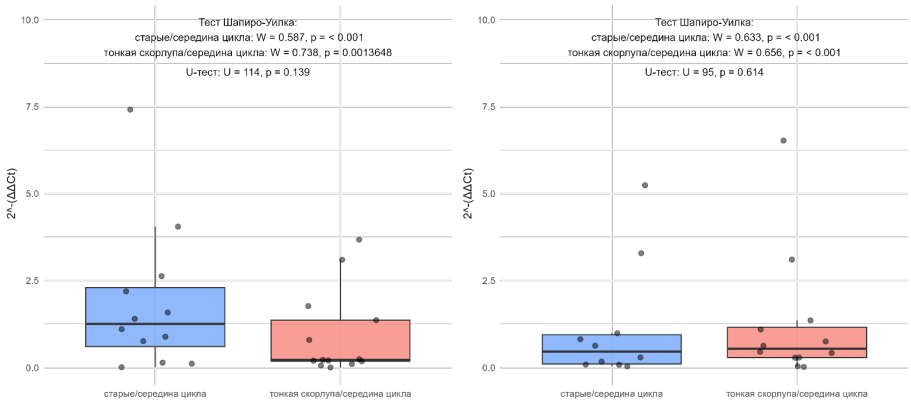


Рис. 10. Боксплоты, демонстрирующие 2^-(ΔΔCt) в группах «контроль, середина цикла» и «плохая скорлупа, середина цикла» в тканях матки (слева) и перешейка (справа) по гену SSP1

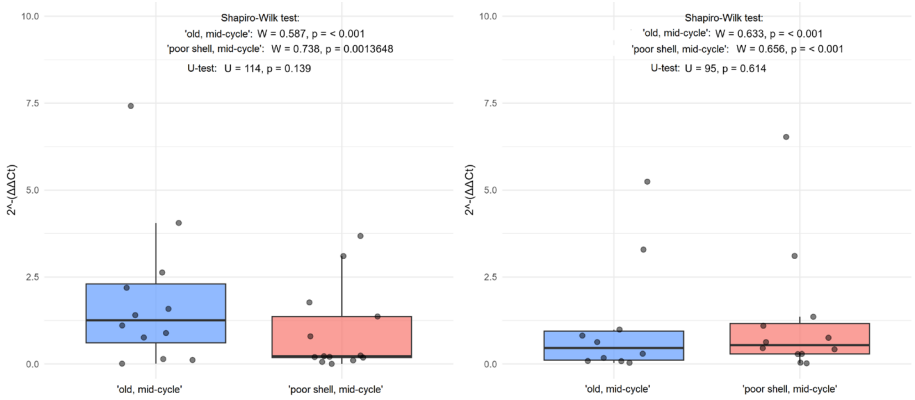


Fig. 10. Boxplots showing 2^-(ΔΔCt) in the "control, mid-cycle" and "poor shell, mid-cycle" groups in uterine (left) and isthmus (right) tissues for the SSP1 gene

BMPR1B участвует в регуляции репродуктивных процессов. Он экспрессируется в яичниках и влияет на пролиферацию гранулезных клеток и продукцию прогестерона [11]. Есть данные о том, что *BMPR1B* вовлечен в процессы половой дифференциации у эмбрионов кур [19]. Показано, что его экспрессия повышена у самцов в ходе развития, в отличие от некоторых других генов, связанных с полом, которые у самцов подавлены [15]. Это предполагает его участие в молекулярных путях, управляющих развитием половых признаков. В эксперименте Ма и сотрудников [20] *BMPR1B* был подавлен во время дегенерации яйцевода и повышен во время восстановления, что позволяет предположить, что он может быть одним из генов, влияющих на развитие и регенерацию ткани яйцевода во время индуцированной линьки. Показано, что наблюдается достоверно отрицательная корреляция между экспрессией *BMPR1B* и содержанием фосфолипидов в определенных тканях или условиях ($r = –0,74$, $p < 0,05$) [21], хотя точный механизм этой связи требует дальнейшего изучения. *BMPR1B* экспрессируется в скорлуповой железе и может влиять на качество скорлупы [14]. Согласно нашим данным, его более высокий уровень экспрессии наблюдался в перешейке. Также этот ген участвует в адаптации к гипоксии у кур, что может косвенно влиять на их продуктивность [13] и, возможно, на процессы, требующие значительных энергетических затрат, таких как формирование скорлупы.

SPP1, известный как остеопонтин, высоко экспрессируется в матке и обогащен в путях, связанных с транспортом ионов кальция [14], что напрямую указывает на его значимость для минерализации. Транскриптомные анализы мышечной ткани кур выявили *SPP1* как один из ключевых генов, связанных с развитием мышц и формированием вкусовых качеств мяса. Он участвует в путях, отвечающих за метаболизм жирных кислот. Предполагается, что *SPP1* регулирует отложение внутримышечного жира [22]. Показано, что *SPP1* обогащен в сигнальном пути толл-подобных рецепторов (TLR) в скорлуповой железе [14]. TLR играют критическую роль во врожденном иммунитете, и участие *SPP1* в этих путях предполагает его вклад в защитные механизмы репродуктивного тракта, особенно во время формирования яйца, защищая от потенциальных патогенов. *SPP1* экспрессируется в скорлуповой железе (матке) кур-несушек и вовлечен в процессы кальцификации и формирования кутикулы яичной скорлупы. Транскриптомные исследования показывают, что *SPP1* значительно обогащен в метаболических путях, связанных с метаболизмом фосфатсодержащих соединений и транспортом неорганических анионов, что критически важно для минерализации скорлупы [14]. Эти литературные данные хорошо коррелируют с нашими результатами о более высокой экспрессии *SPP1* в матке по сравнению с перешейком и его связи с качеством скорлупы.

В ходе проведенных нами исследований было установлено, что относительный уровень экспрессии гена *SPP1* в тканях матки был статистически значимо ниже ($p = 0,0265$) у кур с тонкой скорлупой по сравнению с курами с нормальной скорлупой. Это важно, поскольку предполагает, что недостаточная экспрессия *SPP1*, ключевого белка органического матрикса и регулятора минерализации, может приводить к нарушениям в структуре и прочности скорлупы. Для гена *BMPR1B* в матке наблюдалась тенденция к более низкому уровню экспрессии у кур с тонкой скорлупой ($p = 0,0931$), однако эти различия не достигли статистической значимости, возможно, из-за размера выборки или более сложного механизма его влияния. При этом общий уровень экспрессии *BMPR1B* был выше в тканях перешейка, тогда как *SPP1* активнее экспрессировался в матке, что может отражать их различные, хотя и взаимосвязанные роли в разных участках или на разных этапах формирования скорлупы.

Критически важным результатом стало выявление зависимости уровней экспрессии обоих исследуемых генов (*BMPR1B* и *SPP1*) в тканях матки от стадии овуляторного цикла. У кур, находящихся на стадии предовуляторной волны (период активной подготовки матки к секреции компонентов скорлупы и кальцификации), экспрессия *BMPR1B* ($p = 0,009$) и *SPP1* ($p = 0,00369$) была достоверно выше, чем у кур в середине цикла. Это указывает на то, что физиологическая активность матки, связанная с формированием яйца, значительно модулирует экспрессию данных генов. Фактор возраста (сравнение молодых и старых кур с нормальной скорлупой) не оказывал статистически значимого влияния на экспрессию этих генов в нашем исследовании, что может свидетельствовать о том, что возрастные изменения в качестве скорлупы могут быть связаны с другими молекулярными механизмами или более тонкими изменениями экспрессии, не выявленными при данном дизайне эксперимента.

При попытке нивелировать влияние стадии овуляторного цикла путем сравнения групп «старые, середина цикла» и «тонкая скорлупа, середина цикла» статистически значимых различий в уровнях экспрессии генов *BMPR1B* и *SPP1* в тканях матки и перешейка обнаружено не было. Это подчеркивает существенное влияние овуляторного цикла на профили экспрессии данных генов, особенно в матке, и указывает на необходимость строгого учета этой переменной при планировании и интерпретации подобных исследований. Возможно, истинные различия, связанные непосредственно с дефектами скорлупы, могут быть более выражены именно в активные фазы ее формирования (например, во время

предовуляторной волны или в процессе кальцификации), а не в середине цикла, когда матка относительно неактивна в плане формирования скорлупы.

Таким образом, полученные данные подтверждают значимую связь экспрессии гена *SPP1* в матке с качеством яичной скорлупы и указывают на его потенциальную роль в качестве биомаркера этого признака, хотя и с учетом цикличности его экспрессии. Выраженное влияние стадии овуляторного цикла на экспрессию как *BMPR1B*, так и *SPP1* в матке является ключевым фактором, который необходимо учитывать при дальнейшем изучении молекулярных механизмов формирования скорлупы и разработке селекционных программ. Неучет этого фактора может приводить к получению противоречивых или неверно интерпретируемых результатов. Дальнейшие исследования с увеличенными выборками, более точным определением стадий овуляторного цикла и, возможно, анализом экспрессии на различных этапах процесса кальцификации позволят глубже понять регуляторные пути, вовлеченные в формирование качественной яичной скорлупы, и валидировать перспективные гены-кандидаты для использования в практической селекции птицы. Также перспективным направлением является изучение полиморфизмов в этих генах и их связи с уровнем экспрессии и фенотипическими проявлениями качества скорлупы.

Библиографический список (References)

1. Stefanello C., Santos T. C., Murakami A. E., Martins E. N., Carneiro T. C. Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. *Poultry Science*. 2014; 93 (1): 104–113. DOI: 10.3382/ps.2013-03190.

2. Gautron J., Stapane L., Le Roy N., Nys Y., Rodriguez-Navarro A.B., Hincke M.T. Avian eggshell biomineralization: An update on its structure, mineralogy and protein tool kit. *BMC Molecular and Cell Biology*. 2021; 22 (1): 11. DOI: 10.1186/s12860-021-00350-0.

3. Amevor F. K., Cui Z., Ning Z., Du X., Jin N., Shu G., Deng X., Zhu Q., Tian Y., Li D., Wang Y., Zhang Z., Zhao X. Synergistic effects of quercetin and vitamin E on egg production, egg quality, and immunity in aging breeder hens. *Poultry Science*. 2021; 100 (12): 101481. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101481.

4. Abebe F., Mulatu H., Kelemework S. Review of factors affecting egg quality and its effect. *Journal of Animal Health*. 2023; 3 (2): 17–32. DOI: 10.47604/jah.

5. Zhang H. D., Zhao X. F., Ren Z. Z., Tong M. Q., Chen J. N., Li S. Y., Chen H., Wang D. H. Comparison between different breeds of laying hens in terms of eggshell translucency and its distribution in various ends of the eggshell. *Poultry Science*. 2021; 100 (12): 101510. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101510.

6. Zhang X., Yan K., Zhang C., Guo M., Chen S., Liao K., Bo Z., Cao Y., Wu Y. Pathogenicity comparison between QX-type and Mass-type infectious bronchitis virus to different segments of the oviducts in laying phase. *Virology Journal*. 2022; 19 (1): 62. DOI: 10.1186/s12985-022-01788-0.

7. Wu Y., Sun Y., Zhang H., Xiao H., Pan A., Shen J., Pu Y., Liang Z., Du J., Pi J. Multiomic analysis revealed the regulatory role of the KRT14 gene in eggshell quality. *Frontiers in Genetics*. 2022; 13: 927670. DOI: 10.3389/fgene.2022.927670.

8. Zhang Q., Zhu F., Liu L., Zheng C. W., Wang de H., Hou Z. C., Ning Z. H. Integrating transcriptome and genome re-sequencing data to identify key genes and mutations affecting chicken eggshell qualities. *PLoS One*. 2015; 10 (5): e0125890. DOI: 10.1371/journal.pone.0125890.

9. Li G., Yang X., Li J., Zhang B. Genome-wide analysis of lncRNA and mRNA expression in the uterus of laying hens during aging. *Genes (Basel).* 2023; 14 (3): 639. DOI: 10.3390/genes14030639.

10. Dunn I.C., Joseph N. T., Bain M., Edmond A., Wilson P. W., Milona P., Nys Y., Gautron J., Schmutz M., Preisinger R., Waddington D. Polymorphisms in eggshell organic matrix genes are associated with eggshell quality measurements in pedigree Rhode Island Red hens. *Animal Genetics*. 2009; 40 (1): 110–114. DOI: 10.1111/j.1365-2052.2008.01794.x.

11. Onagbesan O. M., Bruggeman V., Van As P., Tona K., Williams J., Decuypere E. BMPs and BMPRs in chicken ovary and effects of BMP-4 and -7 on granulosa cell proliferation and progesterone production in vitro. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism.* 2003; 285 (5): E973-83. DOI: 10.1152/ajpendo.00104.2003.

12. Zhang N. B., Tang H., Kang L., Ma Y. H., Cao D. G., Lu Y., Hou M., Jianget Y. L. Associations of single nucleotide polymorphism in BMP-IB gene with egg production a synthetic broiler line. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2008; 21 (5): 628–632. DOI: 10.5713/ajas.2008.70201.

13. Zhang Y., Gou W., Ma J., Zhang H., Zhang Y., Zhang H. Genome methylation and regulatory functions for hypoxic adaptation in Tibetan chicken embryos. *PeerJ.* 2017; 5: e3891. DOI: 10.7717/peerj.3891.

14. Yang X., Zhao F., Han Q., et al. Transcriptome analysis in the shell gland of laying hens affecting eggshell qualities. *Research Square PREPRINT (Version 1*). 2020. DOI: 10.21203/rs.3.rs-34810/v1.

15. Carré G. A., Couty I., Hennequet-Antier C., Govoroun M. S. Gene expression profiling reveals new potential players of gonad differentiation in the chicken embryo. *PLoS One*. 2011; 6 (9): e23959. DOI: 10.1371/journal.pone.0023959.

16. Li Z., Wu H., Fu J., Mushtaq M., Khan M., Liu Y., Azeem Z., Shi H., He Y., Zhang R., Rahman M. A. U., Kang J., Ge C., Wang K. Eggshell quality traits and transcriptome gene screening between yunnong and jingfen chicken breeds. *Biology (Basel)*. 2024; 13 (12): 1048. DOI: 10.3390/biology13121048.

17. Untergasser A., Cutcutache I., Koressaar T., Ye J., Faircloth B. C., Remm M., Rozen S. G. Primer3 – new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Research*. 2012; 40 (15): e115. DOI: 10.1093/nar/gks596.

18. Livak K. J., Schmittgen T. D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(-Delta Delta C(T)) method. *Methods*. 2001; 25 (4): 402–408. DOI: 10.1006/meth.2001.1262.

19. Li J., Zhang X., Wang X., Wang Z., Li X., Zheng J., Li J., Xu G., Sun C., Yi G., Yang N. Single-nucleus transcriptional and chromatin accessible profiles reveal critical cell types and molecular architecture underlying chicken sex determination. *Journal of Advanced Research*. 2025; 70: 29–43. DOI: 10.1016/j.jare.2024.05.007.

20. Ma P., Xue F., Chen J., Zhang X., Xu X., Ma Z., Zhang H., Wu Y., Li L., Qu Y., Li Y. Transcriptomic insight into the underlying mechanism of induced molting on reproductive remodeling, performance and egg quality in laying hen. *Poultry Science*. 2025; 104 (2): 104692. DOI: 10.1016/j.psj.2024.104692.

21. Gai K., Ge Y., Liu D., Zhang H., Cong B., Guo S., Liu Y., Xing K., Qi X., Wang X., Xiao L., Long C., Guo Y., Chen L., Sheng X. Identification of key genes related to intramuscular fat deposition in Beijing-You chicken by mRNA and miRNA transcriptome analysis. *Poultry Science*. 2023; 102 (11): 103035. DOI: 10.1016/j.psj.2023.103035.

22. Gai K., Ge Y., Liu D., Zhang H., Cong B., Guo S., Liu Y., Xing K., Qi X., Wang X., Xiao L., Long C., Guo Y., Sheng X. Identification of key genes affecting flavor formation in Beijing-You chicken meat by transcriptome and metabolome analyses. *Foods*. 2023; 12 (5): 1025. DOI: 10.3390/foods12051025.

Об авторах:

Ольга Сергеевна Романенкова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Дубровицы, Московская область, Россия;
ORCID 0000-0002-2682-6164, AuthorID 745206. *E-mail: eridpa@mail.ru*

Ольга Викторовна Алейникова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биологических проблем репродукции животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Дубровицы, Московская область, Россия;
ORCID 0000-0003-2583-0492, AuthorID 1046552. *E-mail: 68ovk@mail.ru*

Ольга Васильевна Костюнина, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Дубровицы, Московская область, Россия;
ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325. *E-mail: kostolan@yandex.ru*

Authors' information:

Olga S. Romanenkova, candidate of biological sciences, researcher of the laboratory of molecular genetics of farm animals, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow region, Russia;
ORCID 0000-0002-2682-6164, AuthorID 745206. *E-mail: eridpa@mail.ru*

Olga V. Aleynikova, candidate of biological sciences, researcher of the laboratory of biological problems of animal reproduction, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow region, Russia;
ORCID 0000-0003-2583-0492, AuthorID 1046552. *E-mail: 68ovk@mail.ru*

Olga V. Kostyunina, doctor of biological sciences, leading researcher of the laboratory of molecular genetics of farm animals, L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow region, Russia;
ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325. *E-mail: kostolan@yandex.ru.*

УДК 636.2.034
Код ВАК 4.2.4
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1420-1429

Поиск гаплоблоков с потерей гомозиготности, потенциально ассоциированных с эмбриональной смертностью крупного рогатого скота

О. А. Шевкунов[1]✉, **О. А. Быкова**[1], **А. А. Зырянова**[1, 2], **А. А. Ярышкин**[1, 2], **О. В. Костюнина**[1]
[1] Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия
[2] Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия
✉*E-mail: Xoshyn@gmail.com*

Аннотация. На современном этапе развития страны в молочном скотоводстве вопросы воспроизводства поголовья выходят на первый план среди ключевых производственных проблем. Так, сервис-период увеличился более чем на 40 дней, индекс осеменения вырос почти вдвое, межотельный период составляет более 12 месяцев, процент стельности после первого осеменения упал до 30 %. Основной причиной потери воспроизводительной способности у коров является эмбриональная смертность, на которую приходится до 70 % потерь стельности в первые 45 дней после оплодотворения. В племенных стадах гибель эмбрионов в первые три месяца достигает 43–54 %, что значительно превышает ранее установленные физиологические нормы (11–21 %). Срок продуктивного использования коров в России составляет всего 2,2–2,7 лактации и продолжает сокращаться ежегодно. Для улучшения селекционного процесса необходимо внедрять геномную селекцию. Это позволит проводить полногеномный анализ (GWAS) для выявления связи генов с продуктивным долголетием и фертильностью; определять каузальные мутации вблизи или внутри генов; выявлять ключевые локусы количественных признаков в геноме КРС; находить геномные регионы, наиболее подверженные селекционному давлению в отношении репродукции и долголетия молочного скота. Такой подход поможет улучшить показатели воспроизводства и снизить экономические потери в молочном животноводстве. **Цель работы** – идентификация гаплотипов, ответственных за репродуктивную функцию коров. **Методы.** Исследования проводились на голштинской породе крупного рогатого скота. Идентификация гомозиготных гаплотипов выполнялась при помощи пакета GHap в программном обеспечении R. **Научная новизна** работы заключается в выявлении гомозиготных гаплотипов, потенциально ассоциированных с ранней эмбриональной смертностью и фертильностью коров голштинской породы Уральского региона. **Результаты**. В ходе обработки полученных данных были выявлены гаплоблоки с потерей гомозиготности, способные влиять на эмбриональную смертность в начале развития и продуктивность воспроизводства крупного рогатого скота.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, гомозиготный гаплотип, эмбриональная смертность, воспроизводительная способность

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-76-10021.

Для цитирования: Шевкунов О. А., Костюнина О. В., Быкова О. А., Зырянова А. А., Ярышкин А. А. Поиск гаплоблоков с потерей гомозиготности, потенциально ассоциированных с эмбриональной смертностью крупного рогатого скота // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1420–1429. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1420-1429.

Дата поступления статьи: 04.03.2025, ***дата рецензирования:*** 02.06.2025, ***дата принятия:*** 04.07.2025.

© Шевкунов О. А., Костюнина О. В., Быкова О. А., Зырянова А. А., Ярышкин А. А., 2025

Identification of haplotype blocks with loss of heterozygosity potentially associated with embryonic mortality in cattle

O. A. Shevkunov[1]✉, O. A. Bykova[1], A. A. Zyryanova[1, 2], A. A. Yaryshkin[1, 2], O. V. Kostyunina[1]
[1] Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia
[2] Federal State Budgetary Scientific Institution "Ural Federal Agrarian Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", Ekaterinburg, Russia
✉*E-mail: Xoshyn@gmail.com*

Abstract. At the current stage of the country's development, reproduction issues in dairy cattle breeding have become paramount among key production challenges. Long-term selection aimed at increasing milk productivity has led to a significant deterioration in the reproductive functions of animals. Thus, the service period has increased by more than 40 days, the insemination index has almost doubled, and the intercalving period has exceeded a year by 3 months. Due to intensive selection for milk productivity, cows no longer give birth to calves every year, and the percentage of pregnancy after the first insemination has fallen to 30 %. The main reason for the loss of reproductive capacity in cattle is embryonic mortality, which accounts for up to 70 % of pregnancy losses in the first 45 days after fertilization. In breeding herds, embryo death in the first three months reaches 43–54 %, which significantly exceeds previously established physiological norms (11–21 %). The productive life of cows both in Russia and abroad is only 2.2–2.7 lactations and continues to decrease by 1–1.8 % annually. The share of culled animals reaches 29–35 %, due to which the herd consists of 65–70 % cows after the first two calvings, and only 3 % after six or more. Highly productive individuals often retire before their daughters begin to lactate. At the same time, the peak of milk productivity in dairy cattle occurs at 4–5 lactations, and the costs of raising replacement heifers and heifers pay off only after 3–4 calvings. However, due to the focus on increasing milk yield, the culling of young cows increases, which slows down the renewal of the herd, increases the cost price and leads to economic losses. To accelerate breeding progress, it is necessary to introduce genomic selection. This will allow: to conduct genome-wide analysis (GWAS) to identify the association of genes with productive longevity and fertility; to identify causal mutations near or within genes; to identify key loci of quantitative traits in the cattle genome; to find genomic regions most susceptible to selection pressure in relation to reproduction and longevity of dairy cattle. This approach will help to improve reproduction rates and reduce economic losses in dairy farming. **The purpose of the study** is an identification of haplotypes responsible for reproductive function of cattle. **Research methods**. The studies were conducted on the Holstein breed of cattle. Identification of homozygous haplotypes was carried out using the GHap package in R software. **The scientific novelty** of the study lies in the identification of homozygous haplotypes responsible for early embryonic mortality and affecting fertility in a population of Holstein cows of the Ural type. **Results**. Analysis of the obtained data revealed haploblocks with loss of heterozygosity. These identified haploblocks show potential association with early embryonic mortality and reproductive efficiency in cattle.

Keywords: cattle, homozygous haplotype, embryonic mortality, reproductive ability

Acknowledgements. The research was supported by RSF project No 22-76-10021.

For citation: Shevkunov O. A., Bykova O. A., Zyryanova A. A., Yaryshkin A. A., Kostyunina O. V. Identification of haplotype blocks with loss of heterozygosity potentially associated with embryonic mortality in cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1420–1429. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1420-1429. (In Russ.)

Date of paper submission: 04.03.2025, ***date of review:*** 02.06.2025, ***date of acceptance:*** 04.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Расшифровка генетических основ регуляции фертильности скота, включая поиск маркеров сниженной репродукции и изучение этиологии эмбриональных потерь, представляет ключевую задачу для геномной селекции. Использование SNP-чипов различной плотности открывает возможности для точного выявления рецессивных вариантов, влияющих на воспроизводительную функцию: например, аномалии эмбриогенеза, наследственные патологии, преждевременную гибель эмбрионов [1–3].

Исследование генома крупного рогатого скота играет ключевую роль в развитии животноводства и укреплении продовольственной безопасности

© Shevkunov O. A., Bykova O. A., Zyryanova A. A., Yaryshkin A. A., Kostyunina O. V., 2025

России. Одной из приоритетных задач отрасли является повышение продуктивности и репродуктивной функции животных. Данное направление работы является стимулом к генетическим исследованиям. В молочном скотоводстве исторически доминировала односторонняя селекция, направленная на продуктивность, тогда как воспроизводительные качества систематически недооценивались. Данная ситуация привела к возникновению ряда негативных последствий, таких как удлинение сервис-периода, прогрессирующее снижение показателей фертильности. Исследования других авторов убедительно демонстрируют, что причинами такой тенденции являются варианты генов, вызывающие раннюю эмбриональную смертность, гибель телят на ранних стадиях развития. Подобные генетические нарушения наносят значительный экономический ущерб хозяйствам – от роста затрат на ветеринарное обслуживание до вынужденной выбраковки животных. При этом многие мутации, негативно влияющие на репродуктивную функцию, обладают плейотропным эффектом, то есть связаны с повышенной продуктивностью. Оптимизация генетического потенциала КРС позволит не только улучшить воспроизводство стада, но и минимизировать частоту вредных мутаций, снижая финансовые потери. В мире растет интерес к изучению генома молочных пород, особенно в контексте получения жизнеспособного потомства. В Уральском регионе генетические особенности голштинского скота остаются недостаточно исследованными, несмотря на статистически подтвержденное снижение выхода телят, что делает проблему социально значимой. Полногеномные ассоциативные исследования (GWAS) молочного скота направлены на идентификацию патогенных геномных вариантов, которые ассоциируются с нарушениями репродуктивной функции и наследственными патологиями в локальных популяциях [4–9].

В предыдущие годы ухудшение воспроизводительной функции у скота преимущественно объясняли клиническими осложнениями в послеродовой период и нарушениями обмена веществ, вызванными интенсивной лактацией.

Современные научные данные свидетельствуют, что генетические причины составляют не менее 50 % всех случаев снижения фертильности у КРС. Это принципиально меняет понимание проблемы и их решение. Раньше акцент делали на ветеринарном сопровождении и кормлении, однако сейчас требуется углубленное изучение наследственных факторов. Выявление генетических маркеров репродуктивных нарушений позволит разрабатывать эффективные селекционные программы, снижать экономические потери хозяйств и сохранять продуктивность стада без ущерба для воспроизводства [10].

Современные исследования генетических детерминант репродуктивной дисфункции у крупного рогатого скота позволили достичь значительных успехов в области генетики сельскохозяйственных животных. В ходе полногеномного анализа были установлены участки генома с аллелями рецессивного характера, что позволило выявить специфические гаплотипы. Точная локализация данных вариантов обеспечило разработку молекулярно-генетических маркеров, создание высокоточных ДНК-тестов, применяемых в массовых исследованиях племенного поголовья. Полученные результаты имеют особую ценность, поскольку выявленные генетические варианты оказывают плейотропное влияние, затрагивая как воспроизводительные, так и продуктивные качества животных [11].

Современные достижения в области геномных исследований крупного рогатого скота позволили выявить ключевые закономерности генетического разнообразия. Особое значение имеет обнаруженный феномен неравновесного сцепления генов.

Прорыв в селекционных технологиях, включающий высокопроизводительное SNP-генотипирование, геномные модели прогнозирования, методы оценки племенной ценности, позволил остановить тенденцию к ухудшению воспроизводительных качеств крупного рогатого скота. Практическое применение данных достижений позволяет оптимизировать программы разведения, контролировать генетические заболевания, сохранять биоразнообразие пород, повышать экономическую эффективность [12–14].

В последние годы особую актуальность приобрели масштабные геномные исследования, использующие методологию GWAS для расшифровки наследственных основ репродуктивных признаков. Проведенные изыскания позволили выявить значительное количество QTL-локусов и перспективных генетических маркеров, полиморфизмы которых оказывают существенное влияние на воспроизводительные функции у молочных пород. Характерный пример – выявление у голштинизированного скота 22 специфических хромосомных участков, ассоциированных с показателями стельности, при этом молекулярные механизмы действия части этих генетических элементов требуют дальнейшего изучения.

Современный этап развития животноводства характеризуется активным внедрением геномной селекции, что привело к революционным изменениям в маркировании репродуктивных признаков. Особую практическую ценность представляет скрининг стада на известные гаплотипы, позволяющий выявлять скрытых носителей неблагоприятных генетических вариантов. Современная селекция рассматривает комплексный подход, объединяющий результаты ассоциирования однонуклеотидных

полиморфизмов с репродуктивными характеристиками в алгоритмы геномного прогнозирования [15-23].

С применением современных методов геномного анализа в данном исследовании идентифицированы ключевые гомозиготные гаплоблоки у голштинского скота Урала. Полученные данные вносят вклад в селекцию, направленную на устойчивое развитие молочного скотоводства региона.

Методология и методы исследования (Methods)

В ходе научного исследования была создана экспериментальная группа, состоящая из 431 коровы голштинской породы в периоде лактации. Животные были отобраны из племенного стада АО «Каменское», расположенного в Свердловской области. В группу вошли особи с первой по третью лактацию.

У каждой особи производили забор крови из яремной вены. Материал собирали в специальные вакуумные пробирки с консервантом К2-ЭДТА объемом не менее 5 мл.

Генотипирование поголовья проводили в специализированном центре геномной селекции компании ООО «Мираторг-генетика». Для анализа использовали чип Illumina Bovine SNP50V3 средней плотности. Процедуру выполняли согласно протоколу производителя при следующих условиях: концентрация ДНК – не менее 20 нг/мкл; соотношение А230/260 – в пределах 1,8–2,0; процесс выделения ДНК осуществлялся на автоматизированной роботизированной станции. Для каждого образца проводили измерения: концентрации (минимум 50 нг/мкл); чистоты (А260/280 не ниже 1,7); выхода (минимум 2 мкг).

Анализ генотипирования выполняли в программе GenomeStudio v.2.0. По результатам формировали финальный отчет, содержащий информацию о генотипах по более чем 50 000 SNP. Данные биочипов обрабатывали для создания файлов в специальных форматах (.ped, .map, .fam, .bed, .bim).

Контроль качества проводили в программном пакете Plink 1.9 по следующим параметрам: качество генотипирования – выше 90 %; частота минорных аллелей – не более 0,5 %; неравновесие сцепления генов – с шагом 50 кб; ошибки по Менделю – не более 1 %. Итоговый показатель качества генотипирования составил 0,98–0,99.

Статистическая обработка включала фазирование данных, оценку гаплотипов (программа SHAPEIT2), идентификацию гаплоблоков (пакет GHap в R), расчет гомозиготности. Гаплоблоки генерировали путем сканирования окна 500 кб с шагом 100 кб. Значимость определяли на основе отклонения наблюдаемых частот от ожидаемых. Физические области гаплоблоков, превышающие порог *P*-значения, были аннотированы относительно функций генов с использованием референсного генома Bos Taurus UMD 1.2 в NCBI.

Результаты (Results)

В результате проведенного геномного исследования в экспериментальной группе было обнаружено 10 гаплоблоков. Дальнейший детальный анализ хромосомных регионов позволил установить расположение более 30 генов внутри выявленных гаплотипических структур. Эти гены были локализованы в границах определенных участков хромосом, связанных с идентифицированными гаплоблоками. Гены регулируют ключевые биологические механизмы, отвечающие за жизнедеятельность животных.

На 8-й хромосоме в рамках анализируемых гаплоблоков обнаружены генетические элементы, критически важные для успешной беременности и развития эмбриона. Это связано со способностью данных генов формировать выработку интерферона.

На 16-й хромосоме обнаружены консервативные гаплоблоки, содержащие гены ДНК-связывающих транскрипционных факторов, пальмитоил-КоА гидролазу (тиоэстеразу), GPCR класса А (родопсиноподобный мембранный белок), хромодомен-содержащие хеликазные ДНК-связывающие белки, нефроспецифичный белок, регулирующий морфогенез почечных канальцев. Локализация обнаруженных гаплоблоков и гены, обнаруженные в их пределах указаны в таблицах 1 и 2.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе комплексного анализа и изучения функций генов были выделены особые участки генома – гаплоблоки, которые могут быть связаны с двумя важными характеристиками: риском эмбриональной смертности и репродуктивной способностью коров.

Эти генетические участки были обнаружены в двух конкретных местах генома – на 8-й и 16-й хромосомах, при этом анализ проводился с интервалом в 500 килобаз. На восьмой хромосоме в рамках выявленных гаплоблоков располагаются определенные гены, которые требуют дальнейшего изучения. Эти гены могут играть значимую роль в формировании репродуктивных качеств животных и их способности к вынашиванию здорового потомства: *IFN, KLHL9, IFNAC, IFNB3, IFNB1, IL6, PTPLAD2, KIAA1797, MIR491, TUBD1, SLC37A1, MNS1, CCDC168, FSHR, INHBA, BMP4, GDF9, KITLG, ESR1, PTGS2, RBP4, SPATA17, LHCGR.*

IFN-гены, обеспечивающие продукцию различных интерферонов, являются важными регуляторами репродуктивных процессов – от имплантации эмбриона до фетального развития у крупного рогатого скота, влияют на репродуктивную функцию и борьбу с вирусными болезнями.

Таблица 1
Локализация обнаруженных гаплоблоков
Table 1
Location of the studied haploblocks

CHR	BP1 (Mb)	BP2 (Mb)	ALLELE	N	FREQ	O.HOM	O.HET	E.HOM	RATIO	*P*-value
8	22,7	23,3	AGAAAACCA	276	0,201	0	276	27,84	28,84	8,10
8	22,8	23,4	GAAAACCAAA	299	0,218	0	299	32,67	33,67	6,44
8	22,9	23,5	GAAAACCAAAGAA	295	0,215	0	295	31,80	32,80	1,54
8	23,1	23,6	GAAAACCAAAGAAAC	295	0,215	0	295	31,80	32,80	1,54
8	23,2	23,7	AACCAAAGAAACAAG	260	0,190	0	260	24,70	25,70	1,86
16	46,9	47,4	GGGGAAAAAG	236	0,172	0	236	20,38	21,38	1,40
16	47	47,5	GGGAAAAAGAA	235	0,172	0	235	20,21	21,21	1,66
16	47,1	47,6	AAAAAGAAAAC	243	0,177	0	243	21,61	22,61	4,10
16	47,2	47,7	AAAGAAAACAA	246	0,180	0	246	22,15	23,15	2,40
16	47,3	47,8	AAGAAAACAAGAG	246	0,180	0	246	22,15	23,150	2,40

Таблица 2
Гены, локализованные в пределах гаплопблоков
Table 2
List of genes located on haploblocks within a chromosome

Chromosome	Genes
8	*IFN, KLHL9, IFNAC, IFNB3, IFNB1, IL6, PTPLAD2, KIAA1797, MIR491, TUBD1, SLC37A1, MNS1, CCDC168, FSHR, INHBA, BMP4, GDF9, KITLG, ESR1, PTGS2, RBP4, SPATA17, LHCG*R
16	*HES3, RNF207, CHD5, KCNAB2, NPHP4, PLAG1, CHST11, SPEF2, SLC2A5, HSD17B7, PPP3CA, BMPR1B*

KLHL9 представляет собой ген, ответственный за синтез белка семейства KLHL, структурной особенностью которого является наличие BTB-доменов (Broad-Complex, Tramtrack, Bric-à-brac) и Kelch. Эти белки играют важную роль в убиквитин-протеасомной системе, участвуя в распознавании и деградации белков-мишеней через взаимодействие с Cullin-3 (CUL3) E3-лигазным комплексом. Влияет на эмбриональное развитие, воспроизводительную функцию и устойчивость к стрессам.

Интерлейкин-6 (*IL6*) – ген, кодирующий цитокин интерлейкин-6 задействован в иммунном ответе, воспалении и гемопоэзе. Определяет резистентность организма к болезням и воспроизводительную функцию (выживаемость эмбрионов, течение послеродового периода).

PTPLAD2 (*HACD4*) – это ген, принимающий участие в метаболизме липидов и внутриклеточной сигнализации. Хотя его точные функции до конца не изучены, исследования связывают его с рядом важных биологических процессов.

KIAA1797 – это малоизученный ген, кодирующий белок с предполагаемой ролью в клеточных процессах, связанных с организацией цитоскелета и внутриклеточным транспортом. Экспрессируется в семенниках и яичниках, что предполагает возможное участие в сперматогенезе и оогенезе.

MIR491 – это ген, кодирующий микроРНК (короткую некодирующую РНК), которая регулирует экспрессию других генов на посттранскрипционном уровне. Предполагается связь с фертильностью, например, через контроль апоптоза в яйцеклетках

TUBD1 (Tubulin Delta 1) – это ген, кодирующий дельта-тубулин, один из членов семейства тубулиновых белков, которые являются ключевыми структурными компонентами микротрубочек. Полиморфизмы TUBD1 могут служить маркерами качества спермы у быков. Возможна связь с врожденными дефектами, обусловленными дисфункцией ресничек.

SLC37A1 – это ген, кодирующий белок-транспортер, принадлежащий к семейству переносчиков сахарофосфатов. Исследуется его роль в функционировании половых желез.

MNS1 – это ген, кодирующий белок, критически важный для мейоза и формирования жгутиков сперматозоидов. Мутации могут снижать оплодотворяющую способность спермы. Экспрессия MNS1 может влиять на устойчивость сперматозоидов к замораживанию.

CCDC168 – это ген, кодирующий белок с характерными спиральными (coiled-coil) доменами, чьи функции активно изучаются. Полиморфизмы могут влиять на качество спермы и оплодотворяющую способность.

FSHR – это ген, кодирующий рецептор фолликулостимулирующего гормона (ФСГ), который играет центральную роль в регуляции репродуктивной функции у млекопитающих. Полиморфизмы влияют на овариальный резерв у коров, эффективность

суперовуляции при трансплантации эмбрионов и у быков ассоциирован с качеством спермы.

INHBA – это ген, кодирующий βA-субъединицу белков семейства ингибинов и активинов, которые играют ключевую роль в регуляции репродуктивной системы и других физиологических процессов. Уровень экспрессии INHBA коррелирует с качеством ооцитов у коров, эффективностью суперовуляции при ЭКО и у быков влияет на сперматогенез.

BMP4 – это ген, кодирующий белок из семейства костных морфогенетических белков (BMP), который относится к суперсемейству TGF-β. Этот белок очень важен для эмбрионального развития, дифференцировки клеток и регуляции тканевого гомеостаза. Нарушение регуляции BMP4 ассоциировано с развитием кистозных образований яичников и патологическим эндометриозом.

GDF9 принадлежит к семейству трансформирующих факторов роста (TGF-β) и является одним из основных регуляторов фолликулогенеза и овуляции у млекопитающих. Генетические вариации в GDF9 могут изменять динамику развития антральных фолликулов и влиять на результативность процедуры суперовуляции в репродуктивных технологиях, включая ЭКО.

KITLG представляет собой важный ген, ответственный за кодирование особого белкового соединения – лиганда, который вступает во взаимодействие с клеточными рецепторами и участвует в контроле множества биологических процессов в организме. Особую значимость KITLG имеет в следующих биологических процессах: управление стволовыми клетками, регуляция процессов пигментации; контроль репродуктивных функций. Снижение активности данного гена способствует ухудшению качественных показателей спермы у быков.

ESR1 является фундаментальным геном, который отвечает за синтез основного рецептора эстрогена и играет центральную роль в восприятии и реализации эффектов эстрогенов в организме, что критически важно для нормального функционирования репродуктивной системы, а также метаболизма и роста тканей. Полиморфизмы (например, PvuII и XbaI) влияют на оплодотворяемость коров и эффективность ЭКО и суперовуляции.

PTGS2, также известный как COX-2 (Циклооксигеназа-2) – это ген, кодирующий ключевой фермент синтеза простагландинов, участвует в регуляции воспалительных реакций, репродуктивной функции и ряда ключевых физиологических механизмов. Генетические вариации этого гена ассоциированы с успешностью искусственного осеменения и показателями эмбриональной жизнеспособности.

Ген RBP4 отвечает за синтез ретинол-связывающего белка, который осуществляет транспорт витамина А в организме. Играет ключевую роль в метаболизме жиров, репродукции и зрении. Низкий уровень RBP4 у коров связан с нарушением половых циклов и снижением оплодотворяемости.

SPATA17 – это ген, кодирующий белок, специфически экспрессирующийся в семенниках и играющий критическую роль в процессе сперматогенеза. Полиморфизмы могут влиять на морфологию сперматозоидов и оплодотворяющую способность спермы.

LHCGR – это ген, кодирующий рецептор лютеинизирующего гормона (ЛГ) и хорионического гонадотропина (ХГЧ), играющий ключевую роль в репродуктивной системе млекопитающих. Полиморфизмы влияют на эффективность искусственного осеменения и гормональную стимуляцию (синхронизацию охоты)

На 16-й хромосоме зафиксировали следующие гены: *RNF207, CHD5, KCNAB2, NPHP4, PLAG1, CHST11, SPEF2, SLC2A5, HSD17B7, PPP3CA, BMPR1B.*

RNF207 – это ген, кодирующий белок из семейства E3 убиквитин-лигаз, содержащий характерный RING-домен. Эти белки участвуют в посттрансляционной модификации других белков через систему убиквитин-протеасомного распада, играя ключевую роль в клеточной регуляции. Влияет на сердечно-сосудистые патологии (аритмогенные синдромы), онкологические процессы (из-за нарушения контроля деления клеток) и репродуктивные нарушения.

CHD5 – это ген, кодирующий белок из семейства хромодомен-геликаз ДНК-связывающих белков (CHD), которые играют ключевую роль в эпигенетической регуляции, ремоделировании хроматина и контроле экспрессии генов. Часто инактивируется при нейробластомах, глиомах и других опухолях. Мутации могут влиять на когнитивные функции и развитие ЦНС и затрагивает бесплодие и эмбриональную смертностью.

KCNAB2 – это ген, кодирующий β2-субъединицу потенциал-зависимых калиевых каналов (Kv), которые играют ключевую роль в регуляции электрической возбудимости клеток. Может вызывать эпилепсию, атаксию, изменения в реполяризации желудочков и дисфункцию гладкой мускулатуры матки.

NPHP4 – это ген, кодирующий белок нефроцистин-4, который играет критическую роль в функционировании первичных ресничек (цилий) – клеточных структур, выполняющих сенсорные и сигнальные функции. Связан с врождёнными дефектами почек и снижением фертильности при нарушении функции ресничек в половых путях.

PLAG1 – цинк-пальцевый транскрипционный фактор, регулирующий клеточный рост и дифференцировку. Экспрессируется преимущественно в мышечной ткани, молочной железе и на эмбриональных стадиях развития.

Фермент, синтезируемый геном CHST11, катализирует сульфатирование хондроитина – критический этап биосинтеза протеогликанов. Нарушения этой реакции, вызванные полиморфизмами гена, могут провоцировать патологии суставов у сельскохозяйственных животных.

SPEF2 – это ген, отвечающий за синтез белка, критически важного для формирования и функционирования жгутиков сперматозоидов и ресничек. Он играет ключевую роль в мужской фертильности, а также участвует в работе реснитчатых клеток других тканей. Может влиять на качество спермы быков и развитие зародыша через функцию ресничек.

SLC2A5 – это ген, оказывающий влияние на белок GLUT5. Выступает высокоспецифичным переносчиком фруктозы на клеточном уровне. Влияет на функции сперматогенеза.

HSD17B7 – это ген, отвечающий за биосинтез ферментативного белка. Принимает главное участие в метаболизме стероидов и биосинтезе холестерина. Влияет на синтез холестерина – предшественника молочного жира. Может быть связан с фертильностью коров (через метаболизм прогестерона). Полиморфизмы HSD17B7 могут влиять на устойчивость к кетозам и другим обменным нарушениям.

PPP3CA – это ген, кодирующий каталитическую субъединицу кальций-зависимой серин/треониновой протеинфосфатазы, известной как кальциневрин Aα. Этот фермент играет ключевую роль в клеточной сигнализации, особенно в кальций-зависимых путях. Может влиять на устойчивость к инфекциям. Возможна роль в оплодотворяющей способности спермы быков.

BMPR1B – это ген, кодирующий рецептор костных морфогенетических белков (BMP), который играет ключевую роль в передаче сигналов TGF-β суперсемейства. Вызывает репродуктивные нарушения, синдром гиперстимуляции яичников и бесплодие.

На текущем этапе исследований влияние многих генов на репродуктивные функции коров голштинской породы остается недостаточно изученным. Дальнейшее исследование гаплоблоков даст возможность оценить их селекционную ценность при работе с Уральской популяцией скота.

Идентификация молекулярно-генетических маркеров, ассоциированных с прерыванием эмбриогенеза на ранних стадиях развития и показателями фертильности, представляет собой стратегически важное направление для современной генетики и селекции. В условиях глобальных изменений особую актуальность приобретает задача увеличения выхода жизнеспособного молодняка, что является ключевым фактором формирования конкурентоспособного поголовья и обеспечения продовольственной безопасности России.

Данная работа имеет особое значение для молочного животноводства, где повышение репродуктивной эффективности напрямую влияет на экономическую устойчивость отрасли. Перспективы исследований связаны с внедрением современных методов геномного анализа, позволяющих выявлять ценные генетические варианты для совершенствования селекционных программ.

Библиографический список

1. Гетманцева Л. В., Шевцова В. С., Колосова М. А., Романенкова О. С., Костюнина О. В. Исследование гаплотипов фертильности у голштинских коров голландского происхождения в условиях ростовской области // Главный зоотехник. 2020. № 4. С. 36–40. DOI: 10.33920/sel-03-2004-05.

2. Форнара М. С., Костюнина О. В., Филипченко А. А., Сермягин А. А., Зиновьева Н. А. Система определения полиморфизма SUGT1, ассоциированного с гаплотипом фертильности симментальского скота FH4 //Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2019. № 3. С. 92–97. DOI: 10.26155/vet.zoo.bio.201903015.

3. Исупова Ю. В., Ачкасова Е В. Перспективы использования оценки геномной племенной ценности в селекции молочного скота в условиях Удмуртской Республики // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (90). С. 307–311.

4. Нарышкина Е. Н., Сермягин А. А. Оценка генетической и геномной вариабельности признаков фертильности быков-производителей на основе локусов в геноме, ассоциированных с давлением отбора (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 9. С. 64–72. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10912.

5. Романенкова О. С., Волкова В. В., Костюнина О. В., Зиновьева Н. А. Исследование Российской популяции голштинского и голштинизированного черно-пестрого купного рогатого скота на наличие мутации в гене TFB1M, ассоциированного с гаплотипом HH5 // Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии: сборник тезисов докладов 19-й Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной памяти академика РАСХН Георгия Сергеевича Муромцева. Москва, 2019. С. 119–120.

6. Кузнецова М. К., Кислякова Е. М., Исупова Ю. В. Достоверность учёта данных как один из способов повышения точности при оценке племенной ценности // Аграрная Россия. 2022. № 1. С. 27–30. DOI:10.30906/1999-5636-2022-1-27-30

7. Лукьянов А. А., Тюлебаев С. Д., Косилов В. И. Использование возможностей геномной оценки крупного рогатого скота в РФ // Актуальные проблемы ветеринарной медицины и зоотехнии: сборник материалов Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию доктора сельскохозяйственных наук, профессора кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы и фармакологии ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ Ляпина Олега Абдулхаковича. Оренбург, 2022. С. 132–137.

8. Абдельманова А. С., Сермягин А. А., Доцев А. В., Родионов А. Н., Столповский Ю. А., Зиновьева Н. А. Полногеномные исследования структуры популяций российских локальных пород черно-пестрого корня // Генетика. 2022. Т. 58. № 7. С. 786–797. DOI: 10.31857/S0016675822070025.

9. Ганиев А. С., Сибагатуллин Ф. С., Шайдуллин Р. Р., Фаизов Т. Х. Сервис-период и молочная продуктивность коров с разными генотипами CSN3 и DGAT1 // Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана. 2018. № 2. С. 67–72.

10. Иванова И. П., Троценко И. В. Применение селекционно-генетических параметров в племенной работе с молочным скотом // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3 (144). С. 65–70.

11. Яковлев А. Ф. Вклад гаплотипов в формирование племенных и воспроизводительных качеств животных (обзор) // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 2. С. 5–18. DOI: 10.25687/1996-6733. prodanimbiol.2019.2.5-18.

12. Недашковский И. С., Контэ А. Ф., Сермягин А. А. Параметры генетической взаимосвязи по STR- и SNP-маркерам недостатков экстерьера дочерей голштинских быков-производителей с уровнем гомозиготности и геномного инбридинга отцов // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38, № 2. С. 46–52. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_2_46.

13. Лешонок О. И., Ткаченко И. В., Севостьянов М. Ю. Особенности экстерьера и продолжительность хозяйственного использования потомков голштинских быков-производителей в Свердловской области // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38, № 1. С. 52–56. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_1_52.

14. Модоров М. В., Файрушина К. Р., Клещева А. А. Воспроизводство племенного голштинизированного черно-пестрого скота в Свердловской области. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 8. С. 67–71. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_67.

15. Guarini A. R., Lourenco D. A. L., Brito L. F., Sargolzaei M., Baes C. F., Miglior F., Misztal I., Schenkel F. S. Genetics and genomics of reproductive disorders in Canadian Holstein cattle // Journal of Dairy Science. 2019. No. 102, Iss. 2. Pp. 1341–1353. DOI: 10.3168/jds.2018-15038.

16. Garcia A. O., Otto P. I., Glatzl Junior L. A., Rocha R. F. B., Dos Santos M. G., de Oliveira D. A., da Silva M. V. G. B., Panetto J. C. D. C., Machado M. A., Verneque R. D. S., Guimarães S. E. F. Pedigree reconstruction and population structure using SNP markers in Gir cattle // Journal of Applied Genetics. 2023. No. 64 (2). Pp. 329–340. DOI: 10.1007/s13353-023-00747-x.

17. Ma L., Cole J. B., Da Y., VanRaden P. M. Genetics, genome-wide association study, and genetic improvement of dairy fertility traits // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102, Iss. 4. Pp. 3735–3743. DOI: 10.3168/jds.2018-15269.

18. Huang M., Liu X., Zhou Y., Summers R. M., Zhang Z. BLINK: a package for the next level of genome-wide association studies with both individuals and markers in the millions // GigaScience. 2019. No. 8 (2). Article number giy 154. DOI: 10.1093/gigascience/giy154.

19. Pausch H., Schwarzenbacher H., Burgstaller J., Flisikowski K., Wurmser K., Jansen S., Jung S., Schnicke A., Wittek T., Rudy K. Homozygous haplotype deficiency reveals deleterious mutations compromising reproductive and rearing success in cattle // BMC Genomics. 2015. No. 16 (1). Article number 312. DOI: 10.1186/S12864-015-1483-7.

20. Wang J., Zhou Z., Zhang Z., Li H., Liu D., Zhang Q., Bradbury P. J., Buckler E. S., Zhang Z. Expanding the BLUP alphabet for genomic prediction adaptable to the genetic architectures of complex traits // Heredity. 2018. Vol. 121 (6). Pp. 648–662. DOI: 10.1038/s41437-018-0075-0.

21. Sahana G., Nielsen U. S., Aamand G. P., Lund M. S., Guldbrandtsen B. Novel Harmful Recessive Haplotypes Identified for Fertility Traits in Nordic Holstein Cattle // PLoS ONE. 2013. Vol. 8. Iss. 12. Article number 82909. DOI: 10.1371/journal.pone.0082909.

22. Sugimoto M., Gotoh Y., Kawahara T., Sugimoto Y. Molecular Effects of Polymorphism in the 3'UTR of Unc5 homolog C Associated with Conception Rate in Holsteins // PLoS ONE. 2015. Vol. 10. Iss. 7. Article number 0131283. DOI: 10.1371/journal.pone.0131283.

23. VanRaden M., Olson K. M., Null D. J., Hutchison J. L. Harmful recessive effects on fertility detected by absence of homozygous haplotypes // Journal of Dairy Science. 2011. Vol. 94, Iss. 12. Pp. 6153–6161. DOI: 10.3168/ JDS.2011-4624.

Об авторах:
Олег Александрович Шевкунов, специалист по работе с РИНЦ, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия, ORCID 0000-0003-2975-0633, AuthorID 956848. *E-mail: Xoshyn@gmail.com*
Ольга Александровна Быкова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия, ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503. *E-mail: olbyk75@mail.ru*
Анастасия Андреевна Зырянова, аспирант кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия, ORCID 0009-0008-1435-8210, AuthorID 1123090. *E-mail: agata.lis.00@mail.ru*
Андрей Александрович Ярышкин, научный сотрудник, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; старший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-9215-5952, AuthorID. 777264. *E-mail: x2580x@yandex.ru*
Ольга Васильевна Костюнина, доктор биологических наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия, ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325. *E-mail: kostolan@yandex.ru*

References

1. Getmantseva L. V., Shevtsova V. S., Kolosova M. A., Romanenkova O. S., Kostyunina O. V. An investigation of fertility haplotypes in Holstein cows of Dutch origin under environments of the Rostov region. *Head of Animal Breeding*. 2020; 4: 36–40. DOI: 10.33920/sel-03-2004-05. (In Russ.)

2. Fornara M. S., Kostyunina O. V., Filipchenko A. A., Sermyagin A. A., Zinov'eva N. A. System for determining SUGT1 polymorphism associated with fertility of simultal cattle FH4 happotype. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2019; 3: 92–97. DOI: 10.26155/vet.zoo.bio.201903015. (In Russ.)

3. Isupova Yu. V., Achkasova E. V. Prospects for the use of assessment of genomic breeding value in the selection of dairy cattle in the conditions of the Udmurt Republic. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2021; 4 (90): 307–311. (In Russ.)

4. Naryshkina E. N., Sermyagin A. A. Assessment of genetic and genomic variability of fertility traits in stud bulls based on loci associated with selection pressure (review). *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2020; 9 (34): 64–72. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10912. (In Russ.)

5. Romanenkova O. S., Volkova V. V., Kostyunina O. V., Zinov'eva N. A. Study of the Russian population of Holstein and Holsteinized black-and-white cattle for the presence of a mutation in the TFB1M gene associated with the HH5 haplotype. *Biotechnology in crop production, livestock production and agricultural microbiology: a collection of abstracts of the 19th All-Russian Conference of Young Scientists, dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences Georgy Sergeevich Muromtsev*. Moscow, 2019. Pp. 119–120. (In Russ.)

6. Kuznetsova M. K., Kislyakova E. M., Isupova Yu. V. Reliability of data accounting as one of the ways to increase accuracy in assessing breeding value. *Agrarian Russia*. 2022; 1: 27–30. DOI: 10.30906/1999-5636-2022-1-27-30. (In Russ.)

7. Luk'yanov A. A., Tyulebaev S. D., Kosilov V. I. Using the possibilities of genomic assessment of cattle in the Russian Federation. *Current problems of veterinary medicine and animal science: a collection of materials from the National Scientific and Practical Conference with international participation, dedicated to the 80th anniversary of Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise and Pharmacology Orenburg GAU Lyapina Olega Abdulkhakovicha*. Orenburg, 2022. Pp. 132–137. (In Russ.)

8. Abdel'manova A. S., Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Rodionov A. N., Stolpovskiy Yu. A., Zinov'eva N. A. Whole-genomic studies of the populations' structure in the Russian local Black-Pied breeds. *Russian Journal of Genetics*. 2022; 7 (58): 786–797. DOI: 10.31857/S0016675822070025. (In Russ.)

9. Ganiev A. S., Sibagatullin F. S., Shaydullin R. R., Faizov T. Kh Service period and milk productivity of cows different genotypes CSN3 and DGAT1. *Academic notes of Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N. Bauman*. 2018; 2 (234): 67–72. (In Russ.)

10. Ivanova I. P., Trotsenko I. V. The application of selection and genetic parameters in breeding work with dairy cattle. *Bulletin of KrasSAU*. 2019; 3 (144): 65–70. (In Russ.)

11. Yakovlev A. F. Contribution of haplotypes in the formation of breeding and reproductive traits of animals. *Problems of Productive Animal Biology*. 2019; 2: 5–18. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.2.5-18. (In Russ.)

12. Nedashkovskiy I. S., Konte A. F., Sermyagin A. A. Parameters of genetic correlation by STR and SNP markers of defects in the exterior of daughters of holstein sires with the level of homozygosity and ge-

nomic inbreeding of fathers. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2024; 2 (38): 46–52. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_2_46. (In Russ.)

13. Leshonok O. I., Tkachenko I. V., Sevostyanov M. Yu. Features of the exterior and duration of economic use of the descendants of Holstein bulls in the Sverdlovsk region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2024; 1 (38): 52–56. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_1_52. (In Russ.)

14. Modorov M. V., Fayrushina K. R., Kleshcheva A. A. Reproduction of breeding holsteinized Black-and-White cattle of the Sverdlovsk region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2022; 8 (36): 67–71. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_8_67. (In Russ.)

15. Guarini A. R., Lourenco D. A. L., Brito L. F., Sargolzaei M., Baes C. F., Miglior F., Misztal I., Schenkel F. S. Genetics and genomics of reproductive disorders in Canadian Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102 (2): 1341–1353. DOI: 10.3168/jds.2018-15038.

16. Garcia A. O., Otto P. I., Glatzl Junior L. A., Rocha R. F. B., Dos Santos M. G., de Oliveira D. A., da Silva M. V. G. B., Panetto J. C. D. C., Machado M. A., Verneque R. D. S., Guimarães S. E. F. Pedigree reconstruction and population structure using SNP markers in Gir cattle. *Journal of Applied Genetics*. 2023; 64 (2): 329–340. DOI: 10.1007/s13353-023-00747-x.

17. Ma L., Cole J. B., Da Y., VanRaden P. M. Genetics, genome-wide association study, and genetic improvement of dairy fertility traits. *Journal of Dairy Science*. 2019; Vol. 102 (4): 3735–3743. DOI: 10.3168/jds.2018-15269.

18. Huang M., Liu X., Zhou Y., Summers R. M., Zhang Z. BLINK: a package for the next level of genome-wide association studies with both individuals and markers in the millions. *GigaScience*. 2019; 8 (2): giy154. DOI: 10.1093/gigascience/giy154.

19. Pausch H., Schwarzenbacher H., Burgstaller J., Flisikowski K., Wurmser K., Jansen S., Jung S., Schnicke A., Wittek T., Rudy K. Homozygous haplotype deficiency reveals deleterious mutations compromising reproductive and rearing success in cattle. *BMC Genomics*. 2015; 16 (1): 312. DOI: 10.1186/S12864-015-1483-7.

20. Wang J., Zhou Z., Zhang Z., Li H., Liu D., Zhang Q., Bradbury P. J., Buckler E. S., Zhang Z. Expanding the BLUP alphabet for genomic prediction adaptable to the genetic architectures of complex traits. *Heredity*. 2018; 121 (6): 648–662. DOI: 10.1038/s41437-018-0075-0.

21. Sahana G., Nielsen U. S., Aamand G. P., Lund M. S., Guldbrandtsen B. Novel harmful recessive haplotypes identified for fertility traits in Nordic Holstein cattle *PLoS ONE*. 2013; 8 (12): 82909. DOI: 10.1371/journal.pone.0082909.

22. Sugimoto M., Gotoh Y., Kawahara T., Sugimoto Y. Molecular Effects of polymorphism in the 3'UTR of Unc5 homolog C associated with conception rate in Holsteins. *PLoS ONE*. 2015; 10 (7): 0131283. DOI: 10.1371/journal.pone.0131283.

23. VanRaden M., Olson K. M., Null D. J., Hutchison J. L. Harmful recessive effects on fertility detected by absence of homozygous haplotypes. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94 (12): 6153–6161. DOI: 10.3168/JDS.2011-4624.

Authors' information:

Oleg A. Shevkunov, RSCI specialist, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia,
ORCID 0000-0003-2975-0633, AuthorID 956848. *E-mail: Xoshyn@gmail.com*

Olga A. Bykova, doctor of agricultural sciences, professor of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia, ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503.
E-mail: olbyk75@mail.ru

Anastasiya A. Zyryanova, graduate student of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, ORCID 0009-0008-1435-8210, AuthorID 1123090.
E-mail: agata.lis.00@mail.ru

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

Olga V. Kostyunina, doctor of biological sciences, professor of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia, ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325.
E-mail: kostolan@yandex.ru

УДК 638.12(470.51)
Код ВАК 4.2.4
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1430-1442

Генетическое разнообразие медоносных пчел Удмуртской Республики: угрозы и перспективы сохранения аборигенной популяции

В. М. Юдин[1]✉, А. С. Тронина[1], С. Л. Воробьева[1], Р. А. Ильясов[2], О. П. Неверова[3]
[1] Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия
[2] Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова Российской академии наук, Москва, Россия
[3] Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия
✉*E-mail: vitaliyiudin@yandex.ru*

Аннотация. **Цель** настоящего исследования – оценка современного состояния генофонда *Apis mellifera mellifera* в Удмуртской Республике для выявления устойчивых к гибридизации очагов и разработки научно обоснованных мер сохранения аборигенной популяции. **Методы.** Проведен молекулярно-генетический анализ 82 пчелиных семей из 8 северных районов Удмуртии. Генотипирование выполнено по митохондриальному локусу COI-COII (идентификация эволюционных линий M и C) и 9 микросателлитным локусам ядерной ДНК. Для оценки структуры популяции, уровня интрогрессии и генного разнообразия использованы программы STRUCTURE, FSTAT, GENEPOP. **Результаты.** Установлен выраженный западно-восточный градиент генетической чистоты: доля аборигенной линии M варьирует от 35,1 % (Глазовский район) до 97,1 % (Кезский район). Были выявлены изолированные очаги чистоты M (Пышкец – 99,0 %, Быдыпи – 99,0 %) в гибридизированных районах, что свидетельствует о ведущей роли антропогенного фактора (практики замены маток) в эрозии генофонда. Локус a113 идентифицирован как высокочувствительный маркер дифференциации (11 аллелей; G_{ST} = 0,1599), обнаруживающий уникальные аллели (226 п. н.) в восточных популяциях и их отсутствие в гибридах западных районов. Общее генетическое разнообразие соответствует устойчивым популяциям (H_T = 0,5244), но выявлены риски инбредной депрессии в изолятах. **Научная новизна.** Впервые доказан феномен микроизоляции генофонда *A. m. mellifera* в условиях массовой интрогрессии и определена ключевая роль локальных пчеловодческих практик в его сохранении. Валидирован высокополиморфный маркер a113 для мониторинга гибридизации. **Практическая значимость.** Результаты обосновывают необходимость целевой охраны выявленных локальных очагов генетической чистоты через законодательные ограничения оборота завозных маток и разработку программ восстановления деградировавших популяций с использованием материала устойчивых к гибридизации популяций. Внедрение системы генетического мониторинга на основе маркеров COI-COII и a113 позволит оперативно корректировать меры сохранения генофонда.

Ключевые слова: среднерусская порода пчел, молекулярно-генетический анализ, генофонд, гибридизация, локус, аллели, интрогрессия, популяция

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-26-00064, а также проекта № 24-16-00179 в рамках которых был осуществлен фрагментный анализ исследуемых особей.

Для цитирования: Юдин В. М., Тронина А. С., Воробьева С. Л., Ильясов Р. А., Неверова О. П. Генетическое разнообразие медоносных пчел Удмуртской Республики: угрозы и перспективы сохранения аборигенной популяции // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1430–1442. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1430-1442.

Дата поступления статьи: 04.03.2025, ***дата рецензирования:*** 02.06.2025, ***дата принятия:*** 04.07.2025.

© Юдин В. М., Тронина А.С., Воробьева С. Л., Ильясов Р. А., Неверова О. П., 2025

Genetic diversity of honey bees of the Udmurt Republic: threats and prospects for preserving the native population

V. M. Yudin[1]✉, **A. S. Tronina**[1], **S. L. Vorobyeva**[1], **R. A. Ilyasov**[2], **O. P. Neverova**[3]
[1] Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia
[2] Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[3] Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia
✉*E-mail: vitaliyiudin@yandex.ru*

Abstract. **The purpose** is to assess the current state of the *Apis mellifera mellifera* gene pool in the Udmurt Republic to identify foci resistant to hybridization and develop scientifically based measures to preserve the aboriginal population. **Methods.** Molecular genetic analysis of 82 bee colonies from 8 northern districts of Udmurtia was carried out. Genotyping was performed for the mitochondrial locus COI-COII (identification of evolutionary lines M and C) and 9 microsatellite loci of nuclear DNA. The STRUCTURE, FSTAT, GENEPOP programs were used to assess the population structure, the level of introgression and gene diversity. **Results.** A pronounced west-east gradient of genetic purity was established: the proportion of the aboriginal line M varies from 35.1 % (Glazovskiy district) to 97.1 % (Kezskiy district). Isolated foci of M purity (Pyshkets – 99.0 %, Bydypi – 99.0 %) were revealed in the hybridized areas, which indicates the leading role of the anthropogenic factor (queen replacement practice) in the erosion of the gene pool. The a113 locus was identified as a highly sensitive differentiation marker (11 alleles; GST = 0.1599), revealing unique alleles (226 bp) in the eastern populations and their absence in the hybrids of the western regions. The overall genetic diversity corresponds to stable populations (HT = 0.5244), but the risks of inbreeding depression in isolates were revealed. **Scientific novelty.** For the first time, the phenomenon of microisolation of the *A. m. mellifera* gene pool under conditions of mass introgression was proven and the key role of local beekeeping practices in its preservation was determined. The highly polymorphic marker a113 was validated for hybridization monitoring. **Practical significance.** The results substantiate the need for targeted protection of identified local foci of genetic purity through legislative restrictions on the circulation of imported queens and the development of programs for the restoration of degraded populations using material from populations resistant to hybridization. The introduction of a genetic monitoring system based on COI-COII and a113 markers will allow prompt adjustment of gene pool conservation measures.

Keywords: Central Russian bee breed, molecular genetic analysis, gene pool, hybridization, locus, alleles, introgression, population

Acknowledgments. The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation, project No. 24-26-00064, as well as project No. 24-16-00179, within the framework of which a fragmentary analysis of the studied individuals was carried out.

For citation: Yudin V. M., Tronina A. S., Vorobyeva S. L., Ilyasov R. A., Neverova O. P. Genetic diversity of honey bees of the Udmurt Republic: threats and prospects for preserving the native population. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1430–1442. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1430-1442. (In Russ.)

Date of paper submission: 04.03.2025, ***date of review:*** 02.06.2025, ***date of acceptance:*** 04.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Генетическое разнообразие медоносных пчел (*Apis mellifera*) играет ключевую роль в их адаптации к различным условиям среды, устойчивости к болезням и продуктивности. *Apis mellifera* представлена более чем 30 признанными подвидами (например, *A. m. carnica*, *A. m. ligustica*, *A. m. mellifera*, *A. m. caucasica*), каждый из которых адаптирован к родной среде обитания и обладает уникальным генетическим профилем. Разнообразный генофонд позволяет популяции иметь особей с разной устойчивостью (например, к клещу *Varroa destructor*, вирусам, нозематозу, американскому гнильцу). При низком разнообразии болезнь может уничтожить всю популяцию [1–3].

Завоз высокопродуктивных, но не адаптированных к местным условиям пород приводит к массовой гибридизации и потере уникальных локальных генов, что в настоящее время происходит в Европе и России с темной лесной пчелой (*A. m. mellifera*), которую в нашей стране принято обозначать как среднерусскую породу медоносных пчел [4–7]. Исчезновение ее генома происходит в стране повсеместно, в том числе и на территории Удмуртской

© Yudin V. M., Tronina A. S., Vorobyeva S. L., Ilyasov R. A., Neverova O. P., 2025

Республики. С конца XX века пасеки Удмуртии интенсивно подвергаются завозу нетипичных для региона пород – карника, карпатская породы и гибрид бакфаст. По сегодняшний день разведение этих пород приобретает широкий масштаб, многие пчеловоды перешли с ними на промышленное производство, реализуя не только продукции пчеловодства, но и пчелопакеты, пчелиных маток и еще более распространяя особей указанных пород. Вместе с тем среднерусская порода (местная) становится все менее популярной, учитывая ее высокую ройливость и злобливость в сравнении с вышеуказанными породами.

Многие пчеловоды-любители не видят экономической выгоды или не понимают ценности местной породы, ориентируясь на сиюминутные удобства (менее злобные пчелы). Фокус на медопродуктивности, мягкости нрава, зимостойкости сужает генофонд, игнорируя другие важные адаптивные признаки (устойчивость к болезням, приспособленность к местным условиям).

Способность среднерусской породы пчел переносить длительные (6–7 месяцев) холодные зимы Удмуртии с устойчивыми морозами делает данную породу одной из наиболее приспособленных к условиям региона. Южные пчелы чаще гибнут зимой или выходят сильно ослабленными, помесные пчелы часто теряют зимостойкость среднерусской породы, но и не приобретают в полной мере преимуществ южных пород в условиях Удмуртии, что также приводит к повышенному отходу семей зимой, нестабильной продуктивности. Кроме того, местная порода пчел имеет более высокую резистентность к ряду заболеваний (например, нозематозу) по сравнению с южными породами [8–9].

Среднерусская порода пчел является важнейшим опылителем местной флоры, сформировавшимся в симбиозе с ней. Ее вытеснение может негативно сказаться на воспроизводстве многих дикорастущих и сельскохозяйственных растений [10–12]. Ценный генетический материал данной породы для селекции на зимостойкость и устойчивость является уникальным, его потеря невосполнима. Это стратегический ресурс, который необходимо беречь и восстанавливать.

Генетическое разнообразие медоносных пчел – это ключевой элемент их выживания как вида в условиях глобальных угроз. Его потеря ведет к ослаблению семей, повышению их уязвимости, снижению продуктивности и в конечном счете угрожает экосистемным услугам опыления, которые пчелы обеспечивают [13–14]. Сохранение генетического разнообразия и управление им через защиту местных популяций, ответственное пчеловождение и научно обоснованную селекцию – это важнейшая задача для науки, пчеловодов и общества в целом.

Проблема генотипа медоносных пчел Удмуртии имеет массовый характер и обусловлена отсутствием контроля и регламента ввоза пчел других пород на территорию республики, отсутствием среди населения и пчеловодов понимания важности сохранения биоразнообразия видов живых существ, а также отсутствие необходимого материала аборигенной пчелы, позволяющего свободно разводить пчел в регионе.

Изучение генофонда медоносных пчел Удмуртской Республики ранее производилось в 2011–2012 годах, где было выявлено, что порядка 80 % исследуемых пчелиных семей подвержено метизации, при этом наибольшая чистота генома была обнаружена в северной части региона. Однако данные исследования были фрагментарными и с течением времени могли подвергнуться существенным изменениям в связи с активным завозом южных пород пчел в последнее десятилетие.

В связи с отсутствием данных о современном состоянии генофонда медоносных пчел на территории региона цель исследований, представленных в материалах данной статьи, – произвести поиск генома среднерусской (темной лесной) пчелы (*A. m. mellifera*) на территории северных районов Удмуртской Республики.

Методология и методы исследования (Methods)

Работа включала исследования пчелиных семей в восьми муниципальных районах Удмуртии (Балезинский, Глазовский, Дебесский, Игринский, Кезский, Красногорский, Юкаменский, Ярский). Для сбора материала в каждый район совершали экспедицию, в ходе которой на 45 частных пасеках (расположенных в лесах, на приусадебных участках и в полях) отбирали пчел для молекулярно-генетического анализа.

Из 82 обследованных пчелиных семей брали пробы по 20 рабочих особей. Отобранных пчел фиксировали в 96-процентном этаноле и хранили при –20 °С. ДНК выделяли из грудных мышц в лаборатории нейробиологии ИБР РАН им. Н. К. Кольцова, используя набор ДНК-ЭКСТРАН-2 (протокол СИНТОЛ, Москва).

Для оценки структуры популяции и интрогрессии генома все 82 семьи генотипировали по митохондриальному локусу COI-COII и девяти микросателлитным локусам ядерной ДНК (ap243, 4a110, a24, a8, a43, a113, a88, ap049, a28). Качество и количество выделенной тотальной ДНК (около 500 нг) анализировали на спектрофотометре NanoDrop 1000 (Thermo, США). Амплификация выполнялась в термоциклере BIO-RAD T100 (США) в 15 мкл общего объема смеси по протоколу СИЛЕКС (Москва) (www.sileks.com/ru). Фрагментный и секвенционный анализ продуктов ПЦР выполняли на автоматическом секвенаторе НАНОФОР (Россия) по протоколу СИНТОЛ (Москва). В результате про-

веденной работы для 10 локусов было обнаружено 54 аллелей со средним числом 5 аллелей на каждый локус. Размеры аллелей распределялись от 97 п. н. до 1016 п. н.: по локусу ap243 – 5 аллелей, по локусу 4a110 – 3 аллели, по локусу a24 – 3 аллели, по локусу a8 – 7 аллелей, по локусу a43 – 3 аллели, по локусу a113 – 11 аллелей, по локусу a88 – 4 аллели, по локусу ap049 – 4 аллели, по локусу a28 – 5 аллелей.

Анализ полиморфизма ДНК проводили с помощью набора специализированных программ (CHROMAS 1.45, MEGA 6.0, DNASTAR 5.05, FSTAT 2.9.3.2, GENEPOP 4.2.2, POPULATIONS 1.2.28, STRUCTURE 2.3.4, STATISTICA 8.0, STATGRAFICS Plus 3.0).

Уровень интрогрессии «южных» генов по митохондриальному геному рассчитывался на основе наблюдаемых частот фрагментов межгенного локуса COI-COII мтДНК PQQQ, PQQ (*A. m. mellifera*, эволюционная ветвь M) и Q (*A. m. carpatica* и *A. m. caucasia*, эволюционная ветвь C) [15].

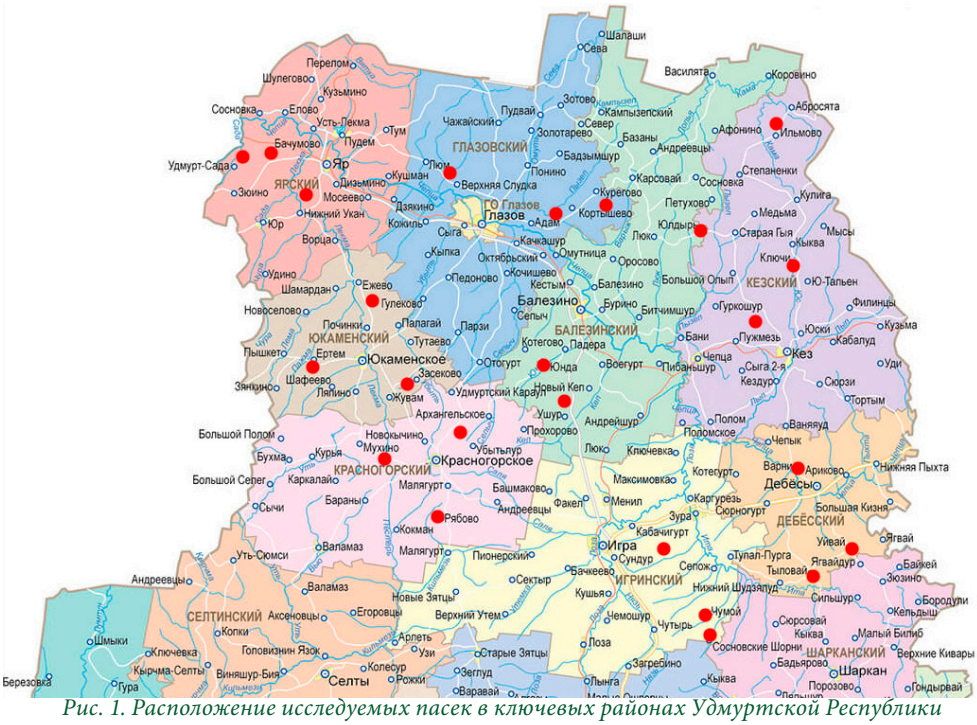


Рис. 1. Расположение исследуемых пасек в ключевых районах Удмуртской Республики

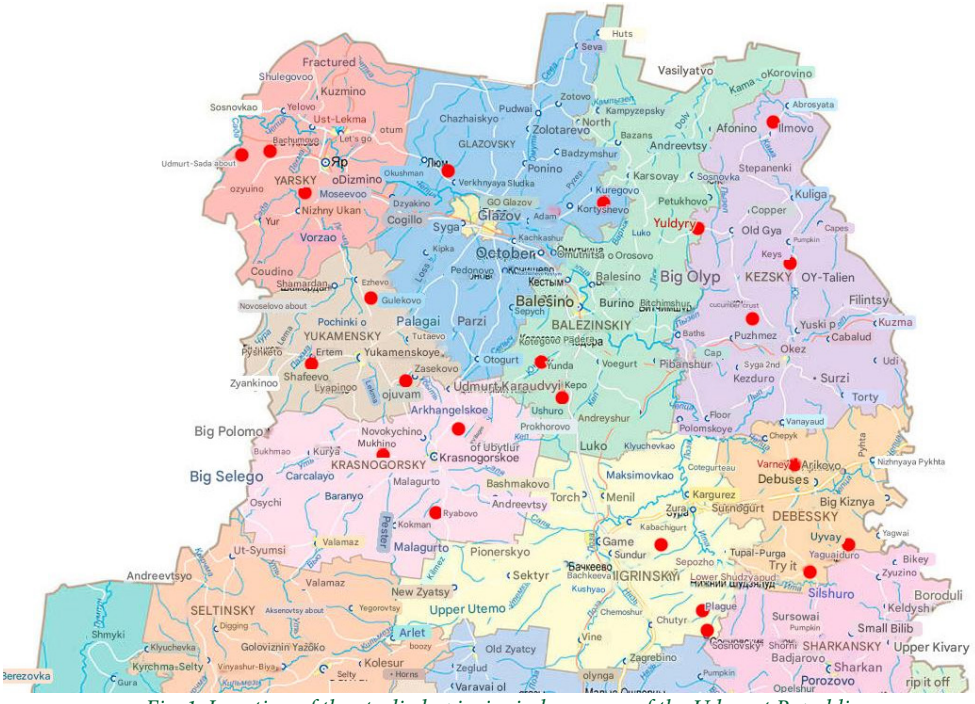


Fig. 1. Location of the studied apiaries in key areas of the Udmurt Republic

Результаты (Results)

Протяженность территории Удмуртской Республики с севера на юг составляет 297,5 км, с запада на восток – 200 км. Ландшафт региона представляет собой сочетание возвышенностей и низменностей с неравномерным распределением населения. Северные районы Удмуртской Республики составляют 34,8 % от общей площади региона и характеризуются меньшей плотностью населения с холмистым ландшафтом и с большим количеством хвойных лесов, что является естественным препятствием самостоятельному расселению и метизации пчел. В этой связи именно северные районы были выбраны в качестве ключевых для поиска сохранившегося генофонда темной лесной пчелы (рис. 1).

Для проведения исследований были отобраны по три пасеки в каждом исследуемом районе, экспедиции проводились с выездами в указанные населенные пункты для отбора проб пчел и анкетирования пчеловодов. Согласно проведенному анкетированию, 34,0 % пчеловодов занимаются содержанием небольших пасек до 10 пчелосемей, при этом почти половина пасек (44,8 %) основана до 1990 года, 24,2 % – в 90-х годах, 31,0 % – после 2000 года. В результате экспедиций было отобрано следующее количество проб пчел (таблица 1).

Генетический анализ популяций медоносных пчел (*Apis mellifera*) в муниципальных районах Удмуртской Республики выявил выраженную пространственную неоднородность в распределении эволюционных линий. Распределение на эволюционные ветви осуществилось на основании генотипирования локусов мт ДНК (локус COI-COII) и 9 микросателлитных локусов, где вариант Q межгенного локуса COI-COII мтДНК указывает на материнское происхождение от южных подвидов (*A. m. caucasica*, *A. m. carnica*, *A. m. carpatica*, *A. m. ligustica*), а варианты PQQ и PQQQ – от темной лесной пчелы (*A. m. mellifera*) [16–17]. При этом варианты PQ, PQQQQ и PQQQQQ, описанные для других популяций *A. m. mellifera* в Европе, в изученных выборках из Удмуртской Республики отсутствовали [18–20]. Данные демонстрируют четкий градиент доли генов аборигенной среднерусской пчелы (*A. m. mellifera*, линии M) от западных к восточным районам (рис. 2).

Таблица 1

Количество отобранных проб в муниципальных районах Удмуртии

Муниципальный район	Населенный пункт	Число семей	Общее число проб
Балезинский	д. Юлдырь	5	11
	д. Юнда	3	
	д. Быдыпи	3	
Глазовский	д. Пышкец	3	9
	д. Долгуево	3	
	д. Мартыково	3	
Дебесский	д. Уйвай	10	16
	д. Тыловай	3	
	д. Варни	3	
Игринский	д. Сосновские Шорни	4	10
	с. Чумой	3	
	д. Сеп	3	
Кезский	д. Гонка	3	9
	поч. Пажман	3	
	д. Ключи	3	
Красногорский	д. Новый Качкашур	3	9
	д. Рябово	3	
	д. Ботаниха	3	
Юкаменский	д. Коркан	3	9
	д. Муллино	3	
	д. Верх-Уни	3	
Ярский	с. Сады	3	9
	д. Шобоково	3	
	д. Бачумово	3	

Table 1

Number of samples taken in municipal districts of Udmurtia

Municipal district	*Settlement*	*Number of bee colonies*	*Total number of samples*
Balezinskiy	*v. Yuldyr'*	*5*	*11*
	v. Yunda	*3*	
	v. Bydypi	*3*	
Glazovskiy	*v. Pyshkets*	*3*	*9*
	v. Dolguevo	*3*	
	v. Martykovo	*3*	
Debesskiy	*v. Uyvay*	*10*	*16*
	v. Tylovay	*3*	
	v. Varni	*3*	
Igrinskiy	*v. Sosnovskie Shorni*	*4*	*10*
	v. Chumoy	*3*	
	v. Sep	*3*	
Kezskiy	*v. Gonka*	*3*	*9*
	poch. Pazhman	*3*	
	v. Klyuchi	*3*	
Krasnogorskiy	*v. Novyy Kachkashur*	*3*	*9*
	v. Ryabovo	*3*	
	v. Botanikha	*3*	
Yukamenskiy	*v. Korkan*	*3*	*9*
	v. Mullino	*3*	
	v. Verkh-Uni	*3*	
Yarskiy	*v. Sady*	*3*	*9*
	v. Shobokovo	*3*	
	v. Bachumovo	*3*	

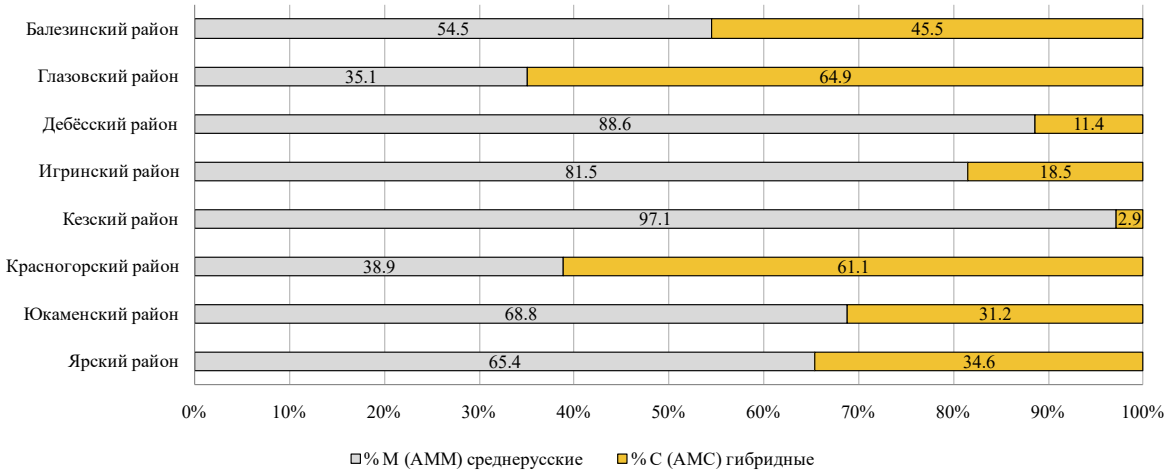


Рис. 2. Распределение генов эволюционных ветвей M и C по муниципальным районам Удмуртской Республики

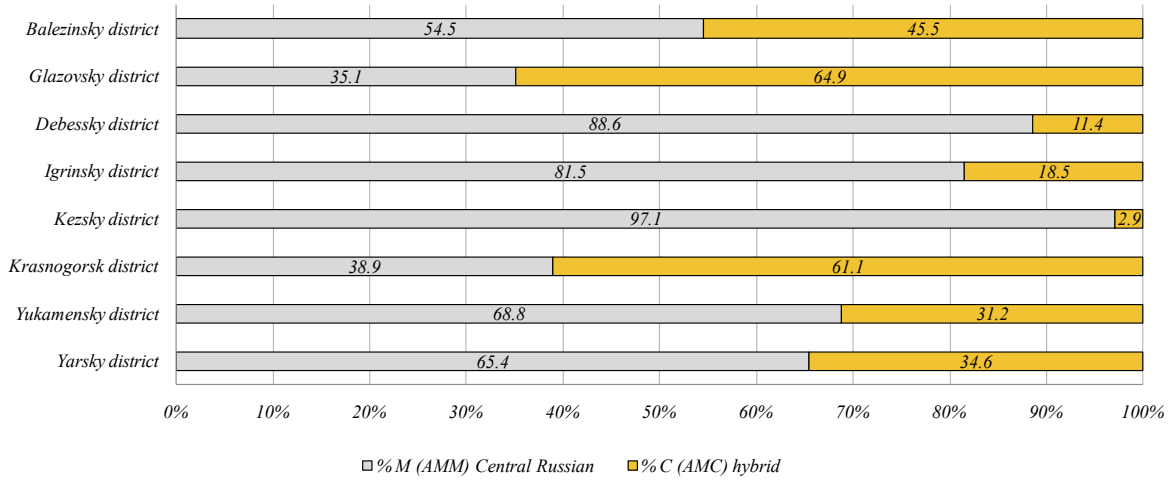


Fig. 2. Distribution of genes of evolutionary branches M and C in the municipal regions of the Udmurt Republic

В западных районах наблюдается доминирование генотипа М. Максимальная концентрация зафиксирована в Кезском районе (97,1 %), что позволяет рассматривать его как потенциальный эталонный район сохранения генетической чистоты *A. m. mellifera*. Высокие показатели также характерны для Дебесского (88,6 %) и Игринского (81,5 %) районов. Эти территории формируют западный кластер с минимальной интрогрессией генов южных подвидов (*A. m. carpatica* и *A. m. caucasia*, объединенных в линию С).

По мере смещения к востоку доля линии М закономерно снижается при одновременном росте доли гибридных генотипов (линия С). В Юкаменском (68,8 % М) и Ярском (65,4 % М) районах фиксируется умеренный уровень гибридизации. Балезинский район (54,5 % М) представляет собой переходную зону, где доли обеих линий близки к равновесию.

Западные районы характеризуются преобладанием генов линии С. В Красногорском районе доля линии М составляет лишь 38,9 %, а в Глазовском – минимальная по республике (35,1 %). Здесь гибридные особи (64,9 % и 61,1 % соответственно) формируют основу популяции.

Обнаруженный градиент (от > 97 % М на востоке до < 36 % М на западе) коррелирует с географическим положением и, вероятно, обусловлен комплексом факторов. Исторически восточные районы являются зоной традиционного колодного пчеловодства с ограниченным завозом неродных пород. Суровые климатические условия этой территории также благоприятствуют сохранению зимостойкой *A. m. mellifera*. В западных районах, напротив, активная пчеловодческая деятельность сопровождалась массовым ввозом и заменой маток южными породами (карпатской и кавказской), что привело к интенсивной гибридизации и эрозии аборигенного генофонда.

Полученные результаты имеют большое значение для сохранения генетических ресурсов *A. m. mellifera* – ценнейшего отечественного генотипа, адаптированного к условиям северных регионов. Восточные районы Удмуртии (Кезский, Дебесский, Игринский) имеют максимальную

генетическую чистоту пчел в качестве базы для дальнейшего распространения ценного генофонда. Умеренно гибридизированные центральные и северные районы (Балезинский, Юкаменский, Ярский) могут служить буферными зонами. Западные районы (Глазовский, Красногорский) представляют зону риска полной утраты аборигенного генофонда и требуют разработки программ по возможному восстановлению местной популяции на основе материала из восточных резерватов. Удмуртская Республика, обладающая уникальными восточно-уральскими популяциями *A. m. mellifera*, играет ключевую роль в сохранении этого подвида в европейской части России.

Генетический анализ на уровне населенных пунктов Удмуртской Республики подтверждает общий восточно-западные градиент доли генов аборигенной среднерусской пчелы (*A. m. mellifera*, линия М), выявленный на районном уровне, но демонстрирует существенную внутрирайонную неоднородность (рис. 3).

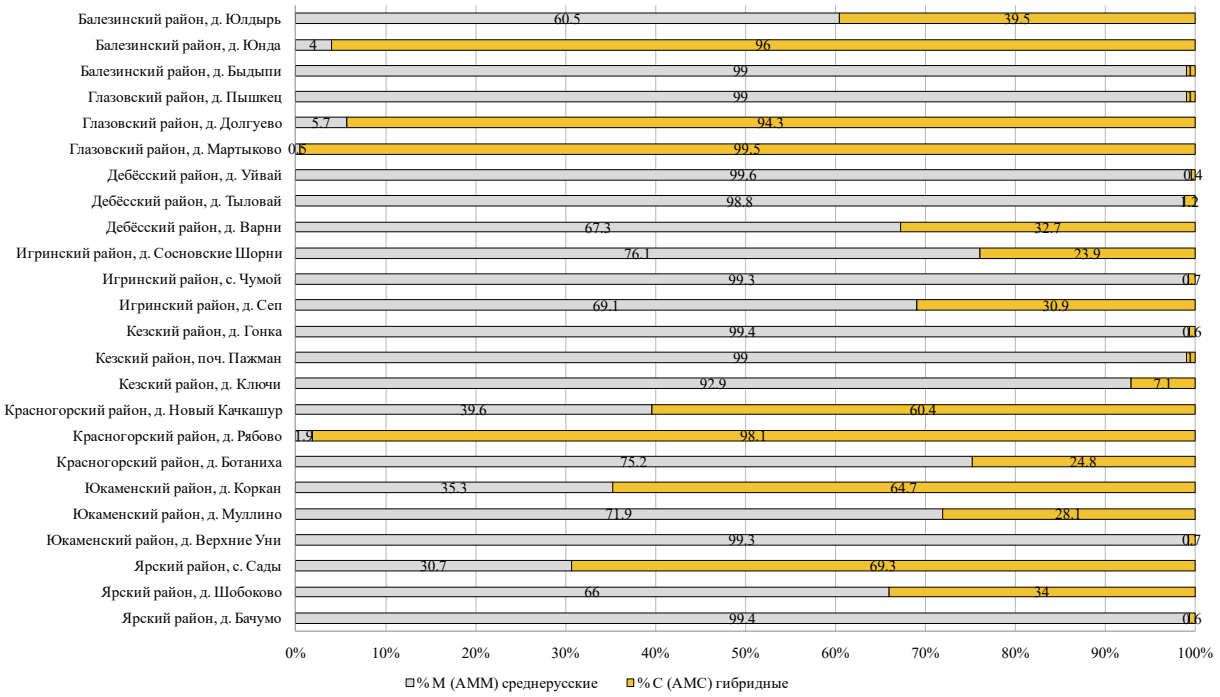


Рис. 3. Структурный анализ генов в популяции темной лесной пчелы Удмуртской республики

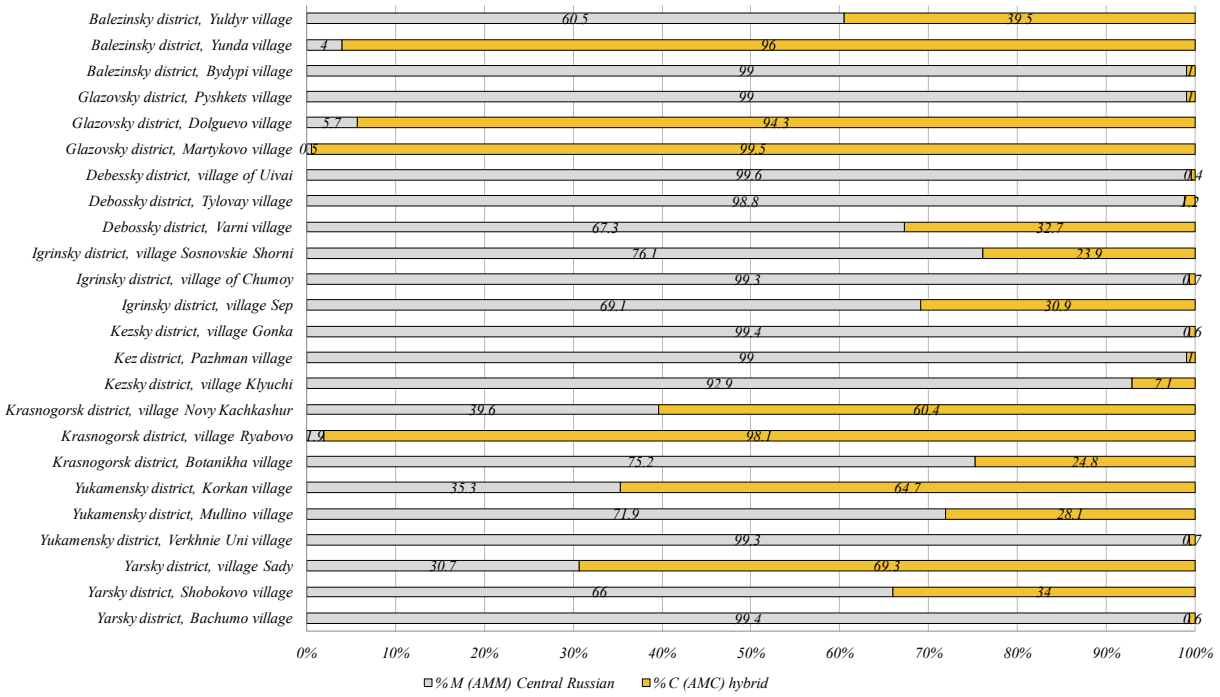


Fig. 3. Structural analysis of genes in the population of dark forest bees of the Udmurt Republic

Восточные районы сохраняют высокую концентрацию *A. m. mellifera*, но с внутрирайонными вариациями. В Кезском районе деревни Гонка (99,4 % М), Пажман (99,0 % М) и Ключи (92,9 % М) подтверждают статус эталонных резерватов. Дебесский район демонстрирует контраст: Уйвай (99,6 % М) и Тыловай (98,8 % М) сохраняют чистоту линии М, тогда как Варни (67,3 % М) показывает умеренную гибридизацию. Игринский район также вариабелен: Чумой (99,3 % М) выделяется как очаг чистоты, тогда как Сосновские Шорни (76,1 % М) и Сеп (69,1 % М) отражают усиление интрогрессии.

Ключевым открытием является обнаружение изолированных очагов чистоты М в западных районах, ранее характеризовавшихся доминированием гибридов. В Глазовском районе выявлен резкий контраст: Пышкец (99,0 % М) представляет исключительный локальный резерват, тогда как Долгуево (94,3 % С) и Мартыково (99,5 % С) полностью гибридизированы. Аналогично в Юкаменском районе деревня Верхние Уни (99,3 % М) формирует островок чистоты на фоне Коркана (64,7 % С) и Муллино (28,1 % С). Красногорский район демонстрирует противоположные значения: Ботаниха (75,2 % М) сохраняет значительную долю аборигенного генофонда, тогда как Новый Качкашур (60,4 % С) и Рябово (98,1 % С) почти полностью гибридизированы. Ярский район подчеркивает эту тенденцию: Бачумово (99,4 % М) и Шобоково (34,0 % С) существуют в пределах одной административной единицы.

Балезинский район иллюстрирует крайнюю степень локализации процессов гибридизации линий: деревня Быдыпи (99,0 % М) сохраняет эталонную чистоту, тогда как Юнда (96,0 % С) и Юлдырь (39,5 % С) подверглись интенсивной интрогрессии. Общий средний показатель по выборке (66,2 % М) маскирует экстремальную вариабельность на микроуровне.

Распределение линий М и С определяется не столько географией, сколько локальными пчеловодческими практиками. Обнаруженные очаги чистоты М (Пышкец, Верхние Уни, Быдыпи, Пажман) даже в «гибридных» районах свидетельствуют о возможности сохранения аборигенного генофонда при строгой изоляции пасек. Стратегия сохранения *A. m. mellifera* должна фокусироваться на идентификации и охране таких изолированных пасек, а не только на районировании. Данные подтверждают, что антропогенный фактор (массовая замена маток) является доминирующим драйвером гибридизации, что позволяет управлять процессом через регулирование пчеловодческой деятельности.

С целью поиска ДНК-маркеров, информативных для оценки породной принадлежности пчел, был проведен анализ вариабельности микросателлитных локусов с 82 образцов пчел, полученных с пасек Удмуртской Республики.

На основе анализа мтДНК было сформировано три выборки: западный, восточный и северо-центральный кластер (группа районов) (согласно данным распределения межгенного локуса COI-COII мтДНК). Каждый из 9 локусов яДНК (ap243, 4a110, a24, a8, a43, a113, a88, ap049, a28) оказался полиморфным.

Для локуса ap243 зарегистрировано 5 аллелей размером от 255 до 274 п. н., где аллель размером 255 п. н. регистрировалась во всем особях и размером 262 п. н. встречалась во 87,5 % случаев, уровень ожидаемой гетерозиготности составил 0,58. Для локуса 4a110 выявлено 3 аллели размером от 157 до 165 п. н., среди которых преобладала аллель размером 157 п. н, встречаясь повсеместно, несколько реже встречаемость аллели размером 161 п. н. (37,5 %), ожидаемая гетерозиготность равна 0,52. Для локуса a24 было обнаружено 3 аллели, одна из которых размером в 97 п. н. встречалась в 100 % случаев, 105 п. н. – 95,8 %, 107 п. н. – 70,8 %, ожидаемый уровень гетерозиготности равен 0,6. В локусе a8 было обнаружено 7 аллелей, где вариант в 160 п. н. встречался в 100 % случаев, а остальные (168–178 п. н.) варьировали в пределах 8,3–50,0 %, ожидаемая гетерозиготность при этом составила 0,58. Локус a43 представлен тремя вариантами аллели размером от 128 до 142 п. н., где аллель в 128 п. н. также встречается в каждом исследованном случае, 140 п. н. – в 95,8 % случаях, 142 п. н. – в 4,2 %, ожидаемая гетерозиготность равна 0,51. Локус a88 представлен четырьмя вариантами аллелей, размер в пределах 138–149 п. н., встречается при этом в каждом случае вариант размера 141 п. н. Ожидаемая гетерозиготность составляет 0,48. Для локуса ap049 выявлено также 4 аллели размером от 126 до 135 п. н., среди которых преобладал аллель размером 132 п. н. (95,3 %), ожидаемое разнообразие при этом составило 0,54. В локусе a28 обнаружено 5 аллелей размером от 133 до 148 п. н., уровень ожидаемой гетерозиготности составил 0,43. В локусе a113 выявлено наибольшее количество аллелей – 11 размером от 202 до 236 п. н., среди которых преобладала аллель размером 214 п. н. (54,2 %), несколько реже встречались аллели размером 202, 222 и 228 п. н. – по 16,7 %. Ожидаемая гетерозиготность составила 0,53, средняя ожидаемая гетерозиготность – 0,53.

При сравнении генетического разнообразия по различным микросателлитным локусам между медоносными пчелами разного происхождения было отмечено, что для всех пасек наибольшее генетическое разнообразие выявлено по локусам a8 и a113 (зарегистрировано 7 и 11 аллелей соответственно). При этом по данным локусам спектр выявленных аллелей частично перекрывался у разных выделенных кластов, но аллели, часто встречающиеся в одних районах, были редкими у другой

породы. Например, по локусу a8 аллель размером 160 п. н. встречалась в каждом районе и каждой пасеке, однако преобладала он у пчел западного кластера (41,6 %), тогда как у восточного и северо-центрального она составляла 22,2 % и 35,4 % соответственно. Также необходимо отметить, что у особей северо-центрального кластера (умеренно гибридизированных, согласно мтДНК) полностью отсутствовали аллели размером 174 и 178 п. н., при этом имелись у западного кластера районов (1,16 % и 0,34 % соответственно) и северо-центральных (1,16 % обеих аллелей).

Аллели локуса a113 имели наибольшее количество аллелей (11), при этом хотелось бы отметить, что есть аллели, встречающиеся лишь в рамках определенного выделенного нами ранее кластера. Так, например, аллели размерами в 232, 234 и 236 п. н. не встречаются в гибридных пчелиных семьях западного кластера районов (Глазовский и Красногорский), но имеются в северо-центральном и восточном кластерах, а вариант аллели размером 226 п. н. встречается в лишь в восточном кластере районов. Наличие уникальных аллелей (226 п. н. в восточном кластере) и специфическое отсутствие аллелей 232/234/236 п. н. в гибридных семьях западного кластера свидетельствуют об ограниченном потоке генов между этими группами и подчеркивают ценность локуса a113 как высокополиморфного маркера для изучения популяционной структуры.

Между исследованными микросателлитными локусами наблюдались различия в уровне полиморфизма и степени межпородной вариабельности. Наиболее высокий уровень генного разнообразия был характерен для локусов a8 и a113, наименьший – для локусов 4a110, a24 и a43 (по 3 варианта аллелей в каждом). На основании изучения девяти микросателлитных локусов установлено, что популяции медоносных пчел (*Apis mellifera*) в северных районах Удмуртской Республики характеризуются сохранным общепопуляционным генетическим разнообразием со средним значением тотальной гетерозиготности (H_T = 0,5244). Этот показатель соответствует типичному уровню для устойчивых популяций данного вида. Наибольшее генетическое разнообразие зафиксировано для локуса a24 (H_T = 0,6021), тогда как минимальное – для локуса a28 (H_T = 0,4346), что указывает на неравномерное распределение генетической вариабельности по геному (таблица 2).

Среднее внутрипопуляционное разнообразие (H_S = 0,4773) оказалось на 9 % ниже общего, что отражает накопление межрайонных генетических различий. Наиболее выраженная разница между H_T и H_S наблюдалась для локусов a28 (17,5 %) и a113 (16 %), что свидетельствует о существенной подразделенности популяции по этим маркерам. В противоположность этому локус a24 продемонстрировал минимальный разрыв (2,4 %) между общим и внутрипопуляционным разнообразием.

Расчет коэффициента генной дифференциации (G_{ST}) выявил умеренный уровень различий между исследованными пасеками в среднем по всем локусам (G_{ST} = 0,093). Однако обнаружены значительные межлокусные контрасты: тогда как a24 показал крайне низкую дифференциацию (G_{ST} = 0,0244), предполагающую активный обмен генами между пасеками, локусы a28 (G_{ST} = 0,1749) и a113 (G_{ST} = 0,1599) продемонстрировали сильную дифференциацию, характерную для изолированных субпопуляций. Такая изоляция может объясняться географическими барьерами, антропогенными факторами или предпочтением местных пород пчел.

Таблица 2

Уровень генного разнообразия и коэффициент генной дифференциации между изученными выборками пасек северных районов Удмуртской Республики

Локусы	H_T	H_S	G_{ST}
ap243	0,5772	0,5513	0,0449
4a110	0,5169	0,4675	0,0956
a24	0,6021	0,5874	0,0244
a8	0,5719	0,5242	0,0834
a43	0,4964	0,4615	0,0703
a113	0,5178	0,4350	0,1599
a88	0,4672	0,4248	0,0908
ap049	0,5355	0,4855	0,0934
a28	0,4346	0,3586	0,1749
Суммарно	0,5244	0,4773	0,0930

Примечание. H_T – тотальное генное разнообразие; H_S – среднее внутрипопуляционное (внутрипородное) разнообразие; G_{ST} – коэффициент генной дифференциации между выборками пчел разных районов региона.

Table 2

Level of gene diversity and coefficient of gene differentiation between the studied samples of apiaries of the northern regions of the Udmurt Republic

Loci	H_T	H_S	G_{ST}
ap243	*0.5772*	*0.5513*	*0.0449*
4a110	*0.5169*	*0.4675*	*0.0956*
a24	*0.6021*	*0.5874*	*0.0244*
a8	*0.5719*	*0.5242*	*0.0834*
a43	*0.4964*	*0.4615*	*0.0703*
a113	*0.5178*	*0.4350*	*0.1599*
a88	*0.4672*	*0.4248*	*0.0908*
ap049	*0.5355*	*0.4855*	*0.0934*
a28	*0.4346*	*0.3586*	*0.1749*
In total	*0.5244*	*0.4773*	*0.0930*

Note. H_T – total gene diversity; H_S – average intrapopulation (intrabreed) diversity; G_{ST} – coefficient of gene differentiation between samples of bees from different areas of the region.

Локусы a28 и a113, проявляющие аномально высокую дифференциацию, требуют особого внимания в качестве маркеров генетической фрагментации. Для районов со сниженным внутрипопуляционным разнообразием, особенно выраженным для a28 в Ярском и Балезинском районах, рекомендовано внедрение программ контролируемого скрещивания для предотвращения инбредной депрессии. Параллельно следует разработать меры по созданию «генетических коридоров» между изолированными пасеками и ограничить замену аборигенных пчел импортными породами.

Несмотря на удовлетворительный уровень общего генетического разнообразия, выявленная пространственная неоднородность подчеркивает необходимость разработки региональной стратегии сохранения генофонда медоносной пчелы. Перспективным направлением дальнейших исследований является изучение влияния ландшафтной структуры и хозяйственных практик на генетический обмен между пасеками.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Настоящее исследование устанавливает антропогенный фактор как доминирующий драйвер генетической эрозии *A. m. mellifera*, превосходящий влияние географических барьеров. Выявленный феномен микроизоляции генофонда – сохранение локальных очагов чистоты линии М (Пышкец, Быдыпи) в административных районах с > 60 % гибридизации – свидетельствует о принципиальной возможности поддержания аборигенных аллелей даже в условиях массовой интрогрессии. Этот парадокс объясняется строгой изоляцией пасек и отказом от практики замены маток, что подтверждает гипотезу об обратимости процессов гибридизации при регулировании пчеловодческих практик.

Ключевое методологическое значение имеет идентификация локуса a113 как высокочувствительного индикатора популяционной дифференциации. Уникальное распределение его аллелей (226 п. н. эксклюзивно в восточном кластере, системное отсутствие 232–236 п. н. в гибридах запада региона) не только отражает ограниченный генный поток, но и позволяет идентифицировать аборигенные генотипы при скрининге. Данный маркер превосходит традиционные мтДНК-анализы в детекции ранних стадий интрогрессии.

Полученные результаты диктуют необходимость пересмотра стратегий сохранения генофонда. Вместо акцента на крупные резерваты приоритет должен сместиться в сторону охраны выявленных локальных очагов генетической чистоты (таких как Пышкец или Быдыпи) через введение строгих ограничений на оборот неродных маток в этих локалитетах. Особое значение приобретает разработка нормативной базы, регламентирующей импорт южных пород в ключевых районах с высокой сохранностью аборигенного генофонда, прежде всего в Кезском и Дебесском районах. Параллельно для деградировавших популяций (например, в Глазовском районе) требуются научно обоснованные программы восстановления на основе контролируемой интродукции маток из восточных популяций-доноров.

На фундаментальном уровне анализ динамики гетерозиготности (H_T = 0,5244; G_{ST} = 0,093) подтверждает сохранение общего адаптивного потенциала, однако нарастающая подразделенность популяции создает серьезные риски инбредной депрессии в изолированных группах, особенно в Балезинском районе. При этом исследование демонстрирует, что традиционные климатические адаптации *A. m. mellifera* перестают быть гарантией устойчивости генофонда под доминирующим антропогенным влиянием. Ключевым условием эффективности любых природоохранных мер станет обязательная интеграция системы генетического мониторинга, основанного на применении высокочувствительных маркеров (COI-COII мтДНК и локус a113), в механизмы регулирования пчеловодческой деятельности на региональном уровне.

Удмуртская Республика представляет уникальную модель для разработки превентивных стратегий сохранения подвида в условиях глобальной гибридизации медоносных пчел. Дальнейшие исследования должны сфокусироваться на количественной оценке влияния социально-экономических факторов (доступность местных маток, экономические стимулы) на генетическую целостность популяций.

Библиографический список

1. Бородачев А. В., Савицкая О. Н., Кривцов Н. И. Генетические ресурсы среднерусской породы медоносных пчел Apis mellifera mellifera L. // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55, № 6. С. 1093–1105. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1093rus.

2. Петров Д. С., Сидорова А. В. Оценка генетического разнообразия среднерусской породы пчел по микросателлитным маркерам // Генетика и разведение животных. 2021. № 3. С. 45–52. DOI: 10.24411/9999-0001-2021-10003.

3. Кривцов Н. И., Савицкая О. Н., Бородачев А. В. Сохранение и рациональное использование генофонда среднерусской породы пчел // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 11. С. 65–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11115.

4. Oleksa A., Chybicki I., Tofilski A., Burczyk J. Nuclear and mitochondrial patterns of introgression into native dark bees (Apis mellifera mellifera) in Poland // Journal of Apicultural Research. 2021. Vol. 60, No. 3. Pp. 497–511. DOI: 10.1080/00218839.2020.1808652.

5. Поскряков А. В., Ильясов Р. А., Николенко А. Г. Генетическая дифференциация популяций темной лесной пчелы Apis mellifera mellifera L. в России и Европе // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24, № 7. С. 722–731. DOI: 10.18699/VJ20.661.

6. Chen C., Liu Z., Pan Q., Chen X., Wang H., Guo H., Liu S., Lu H., Tian S., Li R., Shi W. Genomic analyses reveal demographic history and temperate adaptation of the newly discovered honey bee subspecies Apis mellifera sinisxinyuan n. ssp // Molecular Biology and Evolution. 2023. Vol. 40, No. 2. Article number msad038. DOI: 10.1093/molbev/msad038.

7. Саттаров В. Н., Николенко А. Г. Анализ полиморфизма локуса COI-COII мтДНК у медоносных пчел (Apis mellifera L.) Башкортостана // Пчеловодство. 2022. № 5. С. 14–16. DOI: 10.24412/0132-6097-2022-5-14-16.

8. Ilyasov R. A., Kosarev M. N., Neal A., Yumaguzhin F. G. Complete mitochondrial genome of dark European honey bee Apis mellifera mellifera from the Southern Urals // Mitochondrial DNA Part B. 2021. Vol. 6, No. 3. Pp. 1173–1175. DOI: 10.1080/23802359.2021.1907803.

9. Брандорф А. З., Шафиков Р. Т., Юмагузин Ф. Г., Ильясов Р. А. Анализ ДНК-диагностики породной принадлежности пчелиных семей заповедника «Шульган-Таш» // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. Т. 22, № 6. С. 746–756. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.6.746-756.

10. Плотников С. А., Родькина М. В., Середа А. С. Генетическая структура популяций Apis mellifera mellifera в условиях антропогенной интрогрессии // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 5 (187). С. 106–112. DOI: 10.53083/1996-4277-2020-187-5-106-112.

11. Garnery L., Solignac M., Celebrano G., Cornuet J.-M. A simple test using restricted PCR-amplified mitochondrial DNA to study the genetic structure of Apis mellifera L. // Evolutionary Ecology. 1993. Vol. 7, No. 1. Pp. 91–98. DOI: 10.1007/BF01237741.

12. Колбина Л. М., Петухова Г. Н. Молекулярно-генетические методы в оценке чистопородности среднерусской породы пчел // Инновации в пчеловодстве: сборник научных трудов по материалам международной конференции. Нижний Новгород, 2022. С. 78–83.

13. Муратова А. И., Поскряков А. В. Анализ микросателлитных локусов у пчел (Apis mellifera mellifera L.) Татарстана // Биотехнологические и молекулярно-генетические методы в сохранении биоразнообразия: тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции. Казань, 2023. С. 56–58.

14. Hassani A. K., Sefc K. M., Herniou E. A., Haddad N., Adjlane N., Engel M. S., Packer L. Conservation of honey bee Apis mellifera L. // Animals. 2023. Vol. 13, No. 23. Article number 3683. DOI: 10.3390/ani13233683.

15. Ильясов Р. А., Поскряков А. В., Николенко А. Г. Популяционно-генетический анализ Apis mellifera mellifera L. на Урале с использованием микросателлитных маркеров // Генетика. 2021. Т. 57, № 3. С. 302–310. DOI: 10.31857/S0016675821030060.

16. Henriques D., Browne K. A., Barnett M. W., Parejo M., Kryger P., Freeman T. C., Soland-Reckeweg G., de la Rúa P., Jaffe R. High-density SNP genotyping reveals hybridization among European honey bees (Apis mellifera) in the Nearctic // Ecology and Evolution. 2022. Vol. 12, No. 3. Article number e8752. DOI: 10.1002/ece3.8752.

17. Лебедева М. П., Федорова Е. А. Применение ПЦР-анализа для идентификации породной принадлежности пчел // Современные методы генетики в животноводстве: сборник научных трудов по материалам Всероссийской конференции. Омск, 2023. С. 112–117.

18. Potapov G. S., Kolchenko V. A., Ilinsky Y. Y. Population genomics of A. m. mellifera in the context of climate adaptation // Scientific Reports. 2022. Vol. 12, No. 1. Article number 15089. DOI: 10.1038/s41598-022-19421-z.

19. Золотарев В. В., Козлова М. А. Использование ISSR-маркеров для оценки генофонда среднерусской пчелы в заповедниках // Сохранение биоразнообразия: методы и практика: материалы международного симпозиума. Санкт-Петербург, 2022. С. 89–95.

20. Wallberg A., Glémin S., Webster M. T. Extreme differences in recombination rate between the genomes of a solitary and a social bee // Molecular Biology and Evolution. 2023. Vol. 40, No. 9. Article number msad195. DOI: 10.1093/molbev/msad195.

Об авторах:

Виталий Маратович Юдин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0001-9976-2029, AuthorID 663648. *E-mail: vitaliyiudin@yandex.ru*

Анастасия Сергеевна Тронина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры частного животноводства, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0001-5374-2655, AuthorID 1025632. *E-mail: anststron@mail.ru*

Светлана Леонидовна Воробьева, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0001-5640-3472, AuthorID 106797. *E-mail: vorobievasveta@mail.ru*

Рустем Абузарович Ильясов, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории нейробиологии развития, Институт биологии развития им. Н. К. Кольцова Российской академии наук, Москва, Россия; ORCID 000-0003-2445-4739, AuthorID 156929. *E-mail: apismell@mail.ru*

Ольга Петровна Неверова, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. *E-mail: kbpp@urgau.ru*

References

1. Borodachev A. V., Savitskaya O. N., Krivtsov N. I. Genetic resources of the dark European honey bee *Apis mellifera mellifera* L. *Agricultural Biology*. 2020; 55 (6): 1093–1105. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.6.1093rus. (In Russ.)

2. Ilyasov R. A., Poskryakov A. V., Nikolenko A. G. Population genetic analysis of *Apis mellifera mellifera* L. in the Urals using microsatellite markers. *Russian Journal of Genetics*. 2021; 57 (3): 302–310. DOI: 10.31857/S0016675821030060. (In Russ.)

3. Krivtsov N. I., Savitskaya O. N., Borodachev A. V. Conservation and sustainable use of the gene pool of the dark European honey bee. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019; 33 (11): 65–69. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11115. (In Russ.)

4. Oleksa A., Chybicki I., Tofilski A., Burczyk J. Nuclear and mitochondrial patterns of introgression into native dark bees (*Apis mellifera mellifera*) in Poland. *Journal of Apicultural Research*. 2021; 60 (3): 497–511. DOI: 10.1080/00218839.2020.1808652.

5. Poskryakov A. V., Ilyasov R. A., Nikolenko A. G. Genetic differentiation of *Apis mellifera mellifera* L. populations in Russia and Europe. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020; 24 (7): 722–731. DOI: 10.18699/VJ20.661. (In Russ.)

6. Chen C., Liu Z., Pan Q., Chen X., Wang H., Guo H., Liu S., Lu H., Tian S., Li R., Shi W. Genomic analyses reveal demographic history and temperate adaptation of the newly discovered honey bee subspecies *Apis mellifera sinisxinyuan* n. ssp. *Molecular Biology and Evolution*. 2023; 40 (2): msad038. DOI: 10.1093/molbev/msad038.

7. Sattarov V. N., Nikolenko A. G. Analysis of mtDNA COI-COII locus polymorphism in honey bees (*Apis mellifera* L.) of Bashkortostan. *Beekeeping*. 2022; (5): 14–16. DOI: 10.24412/0132-6097-2022-5-14-16. (In Russ.)

8. Ilyasov R. A., Kosarev M. N., Neal A., Yumaguzhin F. G. Complete mitochondrial genome of dark European honey bee *Apis mellifera mellifera* from the Southern Urals. *Mitochondrial DNA Part B*. 2021; 6 (3): 1173–1175. DOI: 10.1080/23802359.2021.1907803.

9. Brandorf A. Z., Shafikov R. T., Yumaguzhin F. G., Ilyasov R. A. DNA-based diagnostics of the racial affiliation of bee colonies in the "Shulgan-Tash" Nature Reserve. *Agricultural Science of Euro-North-East*. 2021; 22 (6): 746–756. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.6.746-756. (In Russ.)

10. Plotnikov S. A., Rodkina M. V., Sereda A. S. Genetic structure of *Apis mellifera mellifera* populations under anthropogenic introgression. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2020; 5: 106–112. DOI: 10.53083/1996-4277-2020-187-5-106-112. (In Russ.)

11. Garnery L., Solignac M., Celebrano G., Cornuet J.-M. A simple test using restricted PCR-amplified mitochondrial DNA to study the genetic structure of *Apis mellifera* L. *Evolutionary Ecology*. 1993; 7 (1): 91–98. DOI: 10.1007/BF01237741.

12. Kolbina L. M., Petukhova G. N. Molecular genetic methods for assessing the purebred status of the dark European honey bee. *Innovations in Beekeeping: collection of scientific papers from the international conference*. Nizhny Novgorod, 2022. Pp. 78–83. (In Russ.)

13. Muratova A. I., Poskryakov A. V. Analysis of microsatellite loci in bees (*Apis mellifera mellifera* L.) of Tatarstan. *Biotechnological and Molecular Genetic Methods in Biodiversity Conservation: abstracts of the all-Russian scientific-practical conference*. Kazan, 2023. Pp. 56–58. (In Russ.)

14. Hassani A. K., Sefc K. M., Herniou E. A., Haddad N., Adjlane N., Engel M. S., Packer L. Conservation of honey bee *Apis mellifera* L. *Animals*. 2023; 13 (23): 3683. DOI: 10.3390/ani13233683.

15. Petrov D. S., Sidorova A. V. Assessment of genetic diversity in the dark European honey bee using microsatellite markers. *Genetics and Animal Breeding*. 2021; 3: 45–52. DOI: 10.24411/9999-0001-2021-10003. (In Russ.)

16. Henriques D., Browne K. A., Barnett M. W., Parejo M., Kryger P., Freeman T. C., Soland-Reckeweg G., de la Rúa P., Jaffe R. High-density SNP genotyping reveals hybridization among European honey bees (*Apis mellifera*) in the Nearctic. *Ecology and Evolution*. 2022; 12 (3): e8752. DOI: 10.1002/ece3.8752.

17. Lebedeva M. P., Fedorova E. A. Application of PCR analysis for identification of bee subspecies. *Modern Methods of Genetics in Animal Husbandry: collection of scientific papers from the all-Russian conference*. Omsk, 2023. Pp. 112–117. (In Russ.)

18. Potapov G. S., Kolchenko V. A., Ilinsky Y. Y. Population genomics of *A. m. mellifera* in the context of climate adaptation. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1): 15089. DOI: 10.1038/s41598-022-19421-z.

19. Zolotarev V. V., Kozlova M. A. Use of ISSR markers for assessing the gene pool of the dark European honey bee in nature reserves. *Biodiversity Conservation: Methods and Practice: proceedings of the international symposium*. Saint Petersburg, 2022. Pp. 89–95. (In Russ.)

20. Wallberg A., Glémin S., Webster M. T. Extreme differences in recombination rate between the genomes of a solitary and a social bee. *Molecular Biology and Evolution*. 2023; 40 (9): msad195. DOI: 10.1093/molbev/msad195.

Authors' information

Vitaliy M. Yudin, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of feeding and breeding of farm animals, Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0001-9976-2029, AuthorID 663648. *E-mail: vitaliyiudin@yandex.ru*

Anastasiya S. Tronina, candidate of agricultural sciences, senior lecturer of the department of private animal husbandry, Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0001-5374-2655, AuthorID 1025632. *E-mail: anststron@mail.ru*

Svetlana L. Vorobyeva, doctor of agricultural sciences, professor of the department of feeding and breeding of farm animals, Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0001-5640-3472, AuthorID 106797. *E-mail: vorobievasveta@mail.ru*

Rystem A. Ilyasov, doctor of biological sciences, leading researcher at the laboratory of developmental neurobiology, Koltsov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; ORCID 000-0003-2445-4739, AuthorID 156929. *E-mail: apismell@mail.ru*

Olga P. Neverova, candidate of biological sciences, associate professor, head of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. *E-mail: kbpp@urgau.ru*

УДК 631.171
Код ВАК 5.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1443-1455

Методика оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК

М. В. Киварина✉, **Н. Н. Юрина**
Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия
✉*E-mail: mariya.kivarina@novsu.ru*

Аннотация. Статья посвящена разработке методики оценки эффективности региональных цифровых платформ агропромышленного комплекса (АПК), основанной на системном подходе и включающей технические, экономические и социальные показатели. В условиях цифровой трансформации АПК особую актуальность приобретает задача оценки эффективности функционирования региональных цифровых платформ. Авторская методика предполагает использование как количественных, так и качественных критериев оценки, что позволяет получить объективную картину функционирования цифровой платформы. **Цель статьи** заключается в формировании и научном обосновании интегральной методики оценки результативности функционирования региональных цифровых платформ АПК, способной отразить их многоаспектную структуру, технологическую специфику и региональную обусловленность. Предлагаемая методика апробирована на примере одного из субъектов Северо-Западного федерального округа Российской Федерации – Новгородской области. **Методы исследования:** научно-теоретический анализ и критическое осмысление существующих подходов к оценке цифровых трансформаций в агропромышленной сфере, систематизация критериев и показателей, применяемых в современной практике мониторинга эффективности цифровых решений. Используются методы сравнительного анализа, элементы контент-анализа нормативно-проектной документации, интерпретации официальных статистических данных. Информационную основу исследования составляют статистические материалы по Российской Федерации и Новгородской области за 2020–2024 годы, а также плановые и отчетные документы регионального проекта «Цифровое сельское хозяйство». **Научная новизна** исследования заключается в том, что впервые предложена целостная система показателей оценки эффективности функционирования цифровой платформы АПК, включая метрики пользовательской активности, технической производительности, экономической эффективности и социального воздействия. **Результаты исследования.** На основе анализа статистической и аналитической информации доказана возможность применения авторской методики оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК. Предложенная методика может быть использована региональными органами управления АПК для мониторинга и оптимизации деятельности цифровых платформ.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, регион, цифровая трансформация, цифровизация сельского хозяйства, эффективность, методика оценки, региональное развитие

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-20434 «Научно-методологический подход к оценке эффективности функционирования цифровой платформы АПК», https://rscf.ru/project/24-28-20434/

Для цитирования: Киварина М. В., Юрина Н. Н. Методика оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1443–1455. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1443-1455.

Дата поступления статьи: 09.07.2025, ***дата рецензирования:*** 30.07.2025, ***дата принятия:*** 07.08.2025.

© Kivarina M. V., Yurina N. N., 2025

Methodology for evaluating the effectiveness of the regional digital agribusiness platform

M. V. Kivarina✉, **N. N. Yurina**
Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia
✉*E-mail: mariya.kivarina@novsu.ru*

Abstract. The article is devoted to the development of a methodology for evaluating the effectiveness of regional digital platforms of the agro-industrial complex, based on a systematic approach and including technical, economic and social indicators. In the context of the digital transformation of the agro-industrial complex, the task of evaluating the effectiveness of regional digital platforms is becoming particularly relevant. The author's methodology involves the use of both quantitative and qualitative evaluation criteria, which allows to obtain an objective picture of the functioning of the digital platform. **The purpose** of the article is to form and scientifically substantiate an integrated methodology for assessing the effectiveness of regional digital platforms of the agro-industrial complex, capable of reflecting their multidimensional structure, technological specifics and regional conditionality. The proposed methodology has been tested on the example of one of the subjects of the North-Western Federal District of the Russian Federation – the Novgorod region. **Research methods:** scientific and theoretical analysis and critical understanding of existing approaches to assessing digital transformations in the agro-industrial sector, systematization of criteria and indicators used in modern practice of monitoring the effectiveness of digital solutions. Methods of comparative analysis, elements of content analysis of regulatory and project documentation, interpretation of official statistical data are used. The information base of the study consists of statistical materials for the Russian Federation and the Novgorod Region for the years 2020-2024, as well as planning and reporting documents of the regional project «Digital Agriculture». **The scientific novelty** of the study lies in the fact that for the first time an integrated system of indicators for evaluating the effectiveness of the digital agribusiness platform, including metrics of user activity, technical productivity, economic efficiency and social impact, has been proposed. **Research results.** Based on the analysis of statistical and analytical information, the possibility of applying the author's methodology for evaluating the effectiveness of the regional digital agribusiness platform is proved. The proposed methodology can be used by regional agribusiness authorities to monitor and optimize the activities of digital platforms.

Keywords: agro-industrial complex, region, digital transformation, digitalization of agriculture, efficiency, assessment methodology, regional development

Acknowledgements. The study was carried out with the support of the Russian Science Foundation grant No. 24-28-20434 "Scientific and methodological approach to assessing the effectiveness of the agro-industrial digital platform", https://rscf.ru/project/24-28-20434

For citation: Kivarina M. V., Yurina N. N. Methodology for evaluating the effectiveness of the regional digital agribusiness platform. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1443–1455. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1443-1455. (In Russ.)

Date of paper submission: 09.07.2025, ***date of review:*** 30.07.2025, ***date of acceptance:*** 07.08.2025.

© Киварина М. В., Юрина Н. Н., 2025

Постановка проблемы (Introduction)

Современное сельское хозяйство выступает стратегически важной отраслью, от эффективного функционирования которой напрямую зависит уровень продовольственной безопасности как страны в целом, так и отдельных ее регионов. В условиях нарастающих внутренних и внешних вызовов приоритетной задачей аграрной политики становится трансформация агропромышленного комплекса в производительно эффективную, высокотехнологичную и конкурентоспособную систему, способную обеспечивать устойчивое производство качественной продукции и сопутствующих услуг при оптимальных затратах. Решающую роль в достижении этих целей играет цифровизация аграрного сектора, предполагающая использование интеллектуальных систем управления, платформенных решений, инструментов анализа больших данных.

Внедрение цифровых технологий в отрасли сельского хозяйства следует рассматривать как один из определяющих векторов их социально-экономического развития, который способный обеспечить технологический прорыв, повысить прозрачность производственных процессов, минимизировать издержки и создать основу для устойчивого роста сельскохозяйственного производства в долгосроч-

ной перспективе [1; 2]. Важнейшую роль в этом процессе играют региональные цифровые платформы АПК, выступающие в качестве интегрирующего звена, объединяющего различных участников сельскохозяйственного производства, переработки и сбыта продукции [3]. Однако отсутствие единой методики оценки эффективности функционирования таких платформ затрудняет их оптимизацию и развитие.

Проблема оценки эффективности цифровых платформ в АПК обусловлена их многофункциональностью и сложностью измерения социально-экономических эффектов. Традиционные подходы к оценке эффективности информационных систем не в полной мере учитывают специфику сельскохозяйственного производства и его региональные особенности. В связи с этим разработка комплексной методики оценки эффективности функционирования региональных цифровых платформ АПК представляется в настоящее время особо актуальной и значимой.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование базируется на использовании комплекса научных методов, включая системный анализ, сравнение, обобщение и синтез теоретических и эмпирических материалов, применяемых в изучении процессов цифровизации сельского хозяйства и функционирования цифровых платформ в агропромышленном комплексе. Применение указанных методов позволило обосновать подходы к оценке эффективности функционирования цифровой платформы АПК и выявить специфику цифровых решений, адаптированных к региональному контексту.

Теоретико-методологическую основу работы составляют научные исследования ведущих отечественных и зарубежных авторов, посвященные инновационному развитию сельского хозяйства в условиях цифровизации, а также проблемам интеграции цифровых платформ в систему аграрного производства и управления.

Вопросы внедрения цифровых технологий в отрасль АПК и оценки эффективности цифровых платформ в последние годы рассматриваются в работах многих отечественных и зарубежных исследователей [4–6]. Концепцию платформенной экономики и основные принципы оценки эффективности цифровых платформ предложили Дж. Паркер, М. Ван Альстайн и С. Чаудари [7]. Они выделяют такие ключевые метрики оценки, как сетевые эффекты, качество взаимодействий и создание ценности для пользователей. Другие зарубежные исследования (С. Волферт, Л. Клерх) демонстрируют важность учета пользовательского опыта и социальных эффектов при оценке цифровых платформ в сельском хозяйстве [8; 9].

Российские исследователи С. В. Шайтура, А. В. Максимов, С. Л. Филимонов и другие акцентируют внимание на особенностях цифровизации АПК, проблемах, с которыми сталкивается цифровая трансформация в сельскохозяйственной сфере, и предлагают собственную систему показателей для оценки цифровых технологий в сельском хозяйстве [10–12]. Однако их подход сфокусирован преимущественно на технических аспектах совершенствования отрасли. А. В. Петриков в своих исследованиях проблемы цифровой трансформации сельского хозяйства в России подчеркивает необходимость комплексного подхода к оценке эффективности цифровых решений в АПК [13].

Проведенный анализ литературы показывает, что существующие подходы к оценке эффективности цифровых платформ в АПК носят фрагментарный характер и не учитывают в полной мере региональную специфику и многоаспектность функционирования таких систем. Поэтому в основе авторской парадигмы исследования лежит комплексный подход, в рамках которого региональная цифровая платформа агропромышленного комплекса рассматривается как сложная, многокомпонентная социально-экономическая система, функционирующая на стыке технологических, институциональных и управленческих процессов.

Информационную базу исследования составляют официальные статистические данные по Российской Федерации и Новгородской области за 2020–2024 годы, аналитические обзоры и справочные материалы, подготовленные специалистами в области цифровой трансформации аграрного сектора, а также данные, публикуемые рейтинговыми агентствами и профильными экспертными структурами.

Результаты (Results)

Возникновение цифровых технологий в сельском хозяйстве связано с активным развитием таких прогрессивных решений, как автоматизация, роботизация и геопозиционирование. Эффективное внедрение цифровых технологий способно сократить себестоимость сельскохозяйственной продукции на 20–30 %, а также увеличить производительность труда в отрасли в 2 раза [14]. Однако в современной России цифровые решения в АПК внедряются точечно, бессистемно, предпочтение отдается относительно недорогим технологиям с быстрым сроком окупаемости. В результате можно констатировать, что цифровая трансформация сельского хозяйства осуществляется стихийно и скачкообразно [15].

Наблюдавшийся с начала 2016 года рост объемов производства сельскохозяйственной продукции в 2023 году сменился спадом. По данным Росстата, в 2024 году объем производства сократился на 3,2 % по сравнению с предыдущим периодом (рис. 1).

Снижение объемов производства сельскохозяйственной продукции в 2024 году обусловлено главным образом сокращением выпуска растениеводческой продукции. Как следует из материалов Росстата, выпуск продукции растениеводства в хозяйствах всех категорий в 2024 году демонстрирует отставание от аналогичного показателя 2023 года на 6,5 %, в то время как по производству продукции животноводства зафиксирован рост на 0,9 %, что в целом смягчило общий спад отрасли [17].

Структура сельскохозяйственного производства в 2023–2024 годах в России претерпевает незначительные изменения. По данным Поле.РФ, на сельхозорганизации в 2024 году пришлось 60,2 % всего объема произведенной продукции, что выше показателя 2023 года (59,9 %). Хозяйства населения увеличили свою долю в 2024 году до 25,6 % по сравнению с 25,3 % годом ранее. Доля фермерских хозяйства в общей структуре сельхозпроизводства напротив сократилась до 14,2 %, в то время как в 2023 году этот показатель составлял 14,8 % [18]. Фермерские хозяйства сокращают свое присутствие на рынке уже второй год подряд, что идет вразрез с общей тенденцией на их укрепление, наблюдавшейся с 2011 по 2022 год (рис. 2).

Представленные статистические данные свидетельствуют о том, что потенциал экстенсивного расширения производства сельскохозяйственной продукции в российских регионах в значительной степени исчерпан. В связи с этим на первый план выходит задача внедрения цифровых технологий в агропромышленный комплекс как ключевого условия перехода к новому этапу развития – интенсивному и высокотехнологичному росту отрасли. Цифровые решения в данной сфере рассматриваются как один из наиболее перспективных факторов, способных обеспечить повышение эффективности аграрного производства в условиях ограниченности традиционных ресурсов. При этом важно оценивать эффективность реализации внедряемых цифровых решений и своевременно принимать управленческие решения, направленные на совершенствование цифрового развития отрасли.

Авторская методология оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК предусматривает описание ее целей и принципов, блоков и ключевых показателей эффективности, источников данных для оценки и этапов реализации (рис. 3).

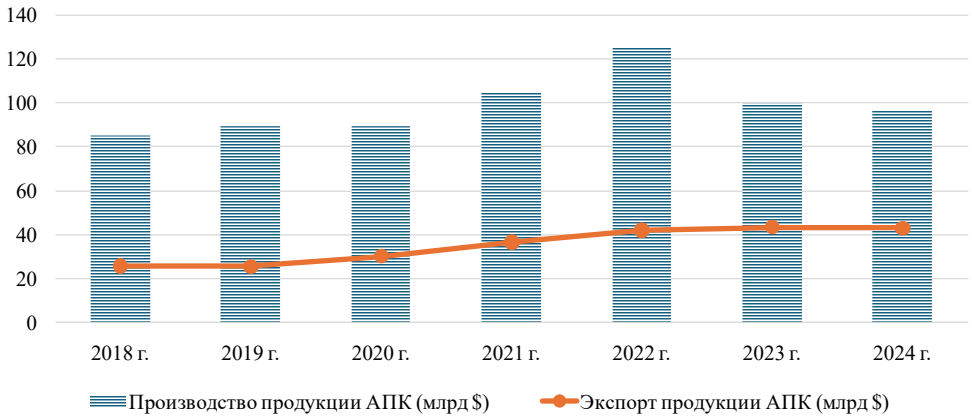


Рис. 1. Динамика производства и экспорта продукции АПК
Источник: составлено авторами по данным [16]

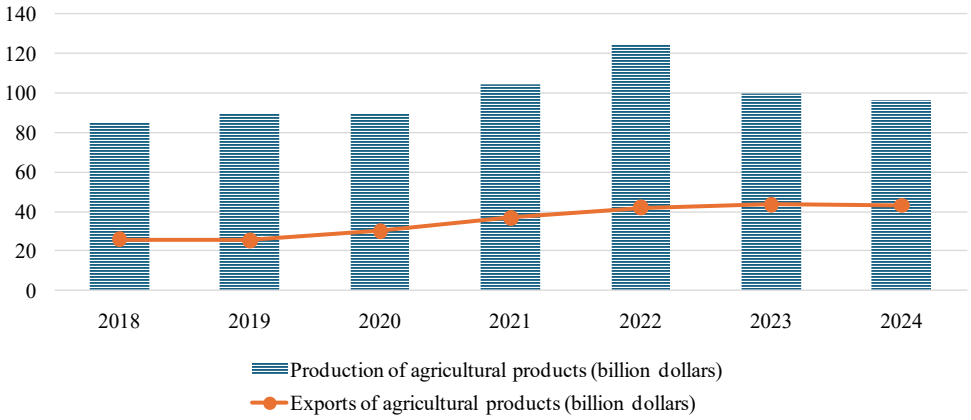


Fig. 1. Dynamics of production and export of agricultural products
Source: compiled by the authors according to [16]

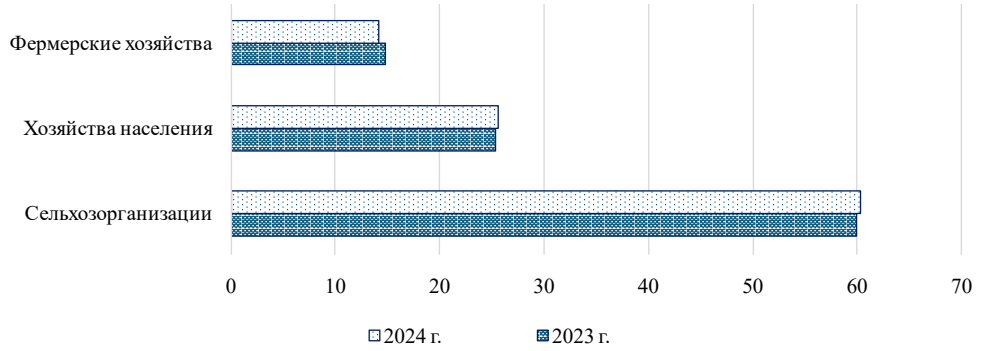


Рис. 2. Структура сельхозпроизводства в России в 2023–2024 гг., %
Источник: составлено авторами по данным [18]

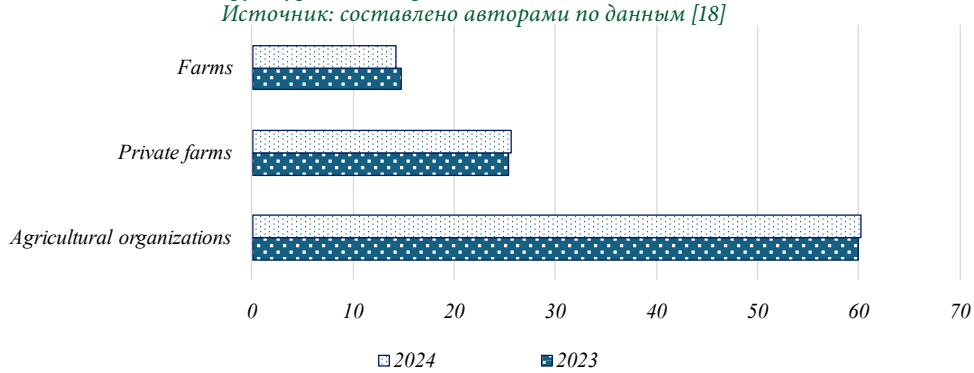


Fig. 2. The structure of agricultural production in Russia in 2023–2024, %
Source: compiled by the authors according to [18]

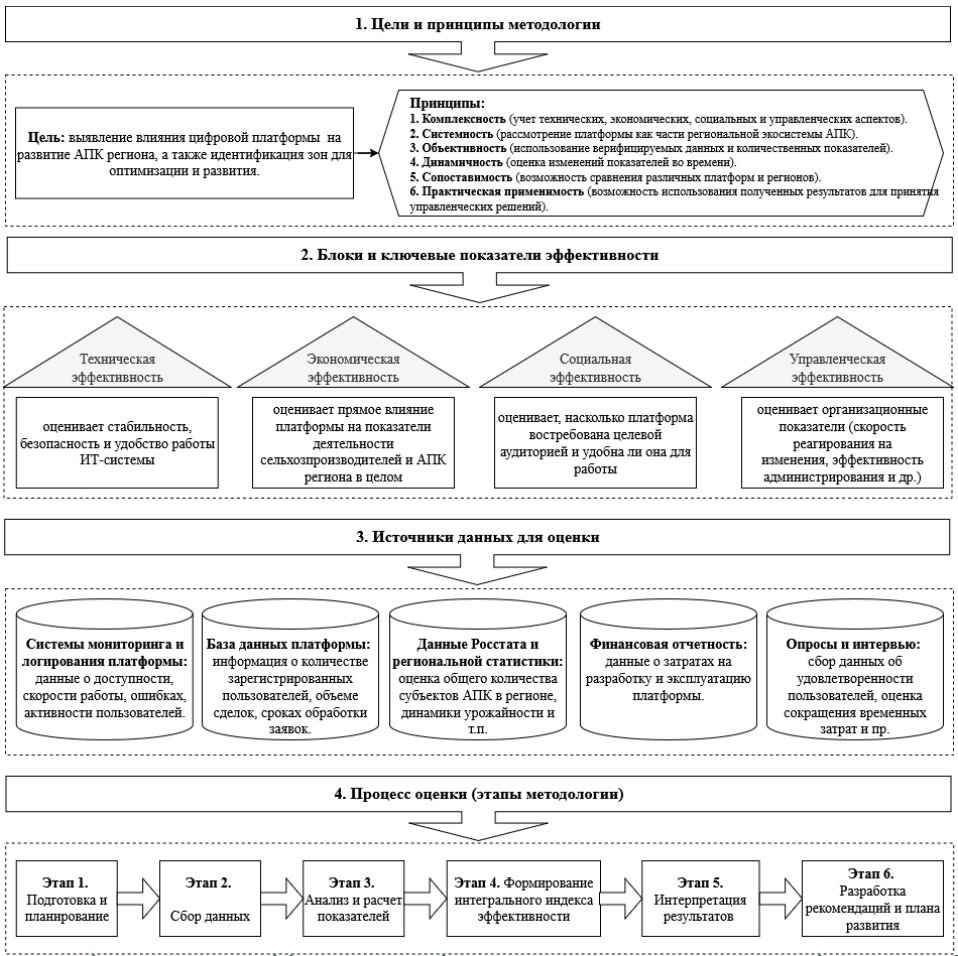


Рис. 3. Этапы методологии оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК
Источник: составлено авторами

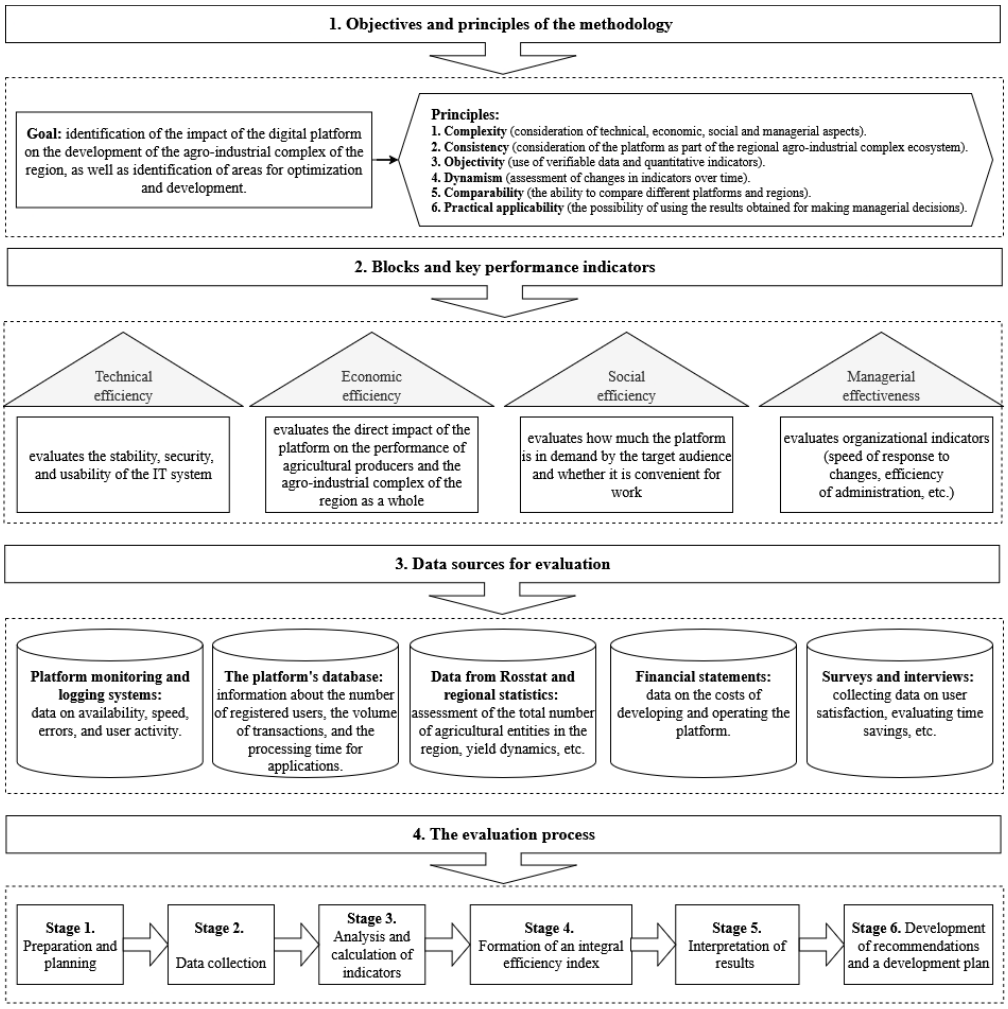


Fig. 3. Stage-by-stage methodology for assessing the effectiveness of the regional digital agribusiness platform
Source: compiled by the authors

Эффективность функционирования региональной цифровой платформы АПК предлагается рассматривать как интегральную характеристику, отражающую степень достижения поставленных целей при оптимальном использовании ресурсов.

Концептуальная модель оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК включает четыре блока показателей:

1) техническая эффективность;
2) экономическая эффективность;
3) социальная эффективность;
4) управленческая эффективность.

Блок технической эффективности (Т) позволяет оценить качество технической реализации платформы. Блок экономической эффективности (Э) позволяет определить финансовые результаты функционирования платформы. Показатели социального блока (С) характеризуют влияние цифровой платформы АПК на социальную сферу региона. Блок управленческой эффективности (У) позволяет сделать выводы о качестве управления региональной платформой (таблица 1).

Интегральный показатель эффективности (ИПЭ) рассчитывается как взвешенная сумма блочных показателей:

$$ИПЭ = \alpha_1 \times Т + \alpha_2 \times Э + \alpha_3 \times С + \alpha_4 \times У,$$

гдеТ, Э, С, У – нормализованные значения блочных показателей: соответственно технической, экономической, социальной и управленческой эффективности (находятся в диапазоне от 0 до 1);

α_1, α_2, α_3, α_4 – весовые коэффициенты значимости каждой группы показателей, определяемые экспертным методом ($\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1$).

Нормализация блочных показателей осуществляется по общепринятой формуле:

$$X_{норм} = (X_{факт} - X_{min}) / (X_{max} - X_{min}).$$

Весовые коэффициенты определяются экспертным путем или на основе анализа приоритетов региона.

Для интерпретации полученных результатов исследования предлагаем использовать следующую шкалу оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК:

– $0{,}8 \leq ИПЭ \leq 1{,}0$ – высокий уровень эффективности;

– 0,6 ≤ ИПЭ < 0,8 – средний уровень эффективности;

– 0,4 ≤ ИПЭ < 0,6 – низкий уровень эффективности;

– ИПЭ < 0,4 – критический уровень эффективности.

Полученные выводы могут быть в дальнейшем использованы региональными органами власти и управления для принятия своевременных решений по устранению выявленных недостатков с целью повышения эффективности функционирования цифровой платформы АПК в регионе.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Новгородская область занимает важное место в агропромышленном комплексе Северо-Западного федерального округа. Регион характеризуется развитым животноводством, картофелеводством и производством овощей. По состоянию на 2024 год в области функционируют 247 сельскохозяйственных организаций, 1847 крестьянских (фермерских) хозяйств и 89 542 личных подсобных хозяйства.

Среди специфических особенностей АПК региона можно выделить следующие:

– преобладание молочного животноводства (52 % от общего объема продукции);

– развитое тепличное овощеводство;

– высокая степень интеграции с предприятиями пищевой промышленности;

– близость к крупным рынкам сбыта (Санкт-Петербург, Москва).

Необходимость цифровой трансформации агропромышленного комплекса Новгородской области, как и ряда других субъектов Российской Федерации, обусловлена текущими тенденциями и динамикой развития сельского хозяйства в регионе. Об этом свидетельствуют ключевые показатели отрасли за 2022–2023 годы, отражающие потребность в переходе к более эффективным и технологически продвинутым моделям аграрного производства (таблица 2).

Таблица 1

Показатели оценки эффективности функционирования цифровой платформы АПК в регионе

Блок	Наименование показателя	Формула для расчета
1. Техническая эффективность	Коэффициент доступности платформы	$Т_1$ = (время работы – время простоя) / время работы
	Скорость обработки запросов	$Т_2$ = среднее время отклика / эталонное время отклика
	Масштабируемость платформы	$Т_3$ = максимальное количество пользователей / плановое количество пользователей
	Уровень информационной безопасности	$Т_4$ = количество успешно отраженных атак / общее количество атак
2. Экономическая эффективность	Рентабельность инвестиций в платформу	$Э_1$ = (доходы от платформы – затраты на платформу) / затраты на платформу
	Экономия затрат (З) пользователей	$Э_2$ = (З без платформы – З с платформой) / З без платформы
	Увеличение товарооборота (ТО) сельхозпродукции	$Э_3$ = (ТО с платформой – ТО без платформы) / ТО без платформы
	Снижение транзакционных издержек (ТИ)	$Э_4$ = (ТИ без платформы – ТИ с платформой) / ТИ без платформы
3. Социальная эффективность	Охват целевой аудитории	$С_1$ = количество активных пользователей / общее количество потенциальных пользователей
	Удовлетворенность пользователей	$С_2$ = средняя оценка удовлетворенности / максимальная оценка
	Повышение доступности информации	$С_3$ = количество информационных ресурсов на платформе / общее количество необходимых ресурсов
	Развитие цифровых компетенций	$С_4$ = количество пользователей с цифровыми компетенциями / общее количество пользователей
4. Управленческая эффективность	Скорость реагирования на изменения	$У_1$ = 1 / среднее время внедрения изменений
	Качество технической поддержки	$У_2$ = количество решенных обращений / общее количество обращений
	Адаптивность к потребностям пользователей	$У_3$ = количество внедренных предложений пользователей / общее количество предложений
	Эффективность администрирования	$У_4$ = количество выполненных административных задач / общее количество задач

Источник: разработано авторами.

Table 1

Indicators for evaluating the effectiveness of the digital agribusiness platform in the region

Group	*Naming of the indicator*	*The formula for calculating*
1. Technical efficiency	*Platform availability coefficient*	T_1 = (working time – idle time) / working time
	Request processing speed	T_2 = average response time / reference response time
	Platform scalability	T_3 = maximum number of users / planned number of users
	Information security level	T_4 = number of successfully repelled attacks / total number of attacks
2. Economic efficiency	*Return on investment in the platform*	E_1 = (platform revenue – platform costs) / platform costs
	Cost savings for (C) users	E_2 = (C without platform – C with platform) / C without platform
	Increase in the turnover (TO) of agricultural products	E_3 = (TO with a platform – TO without a platform) / TO without a platform
	Reducing transaction costs (TC)	E_4 = (TC without platform – TC with platform) / TC without platform
3. Social efficiency	*Covers the target audience*	C_1 = number of active users / total number of potential users
	User satisfaction	C_2 = average satisfaction score / maximum score
	Increasing the availability of information	C_3 = number of information resources on the platform / total number of required resources
	Development of digital competencies	C_4 = number of users with digital competencies / total number of users
4. Managerial effectiveness	*Speed of response to changes*	Y_1 = 1 / average time to implement changes
	Quality of technical support	Y_2 = number of resolved requests / total number of requests
	Adaptability to user needs	Y_3 = number of embedded user offers / Total NUMBER of offers
	Efficiency of administration	Y_4 = number of completed administrative tasks / total number of tasks

Source: compiled by the authors.

Таблица 2

Показатели развития сельскохозяйственной отрасли Новгородской области

Наименование показателя	2022 г.	2023 г.	Темп прироста, %
Продукция сельского хозяйства, млн руб.	32 091	35 675	11,2
Доля в валовом региональном продукте, %	8,5	8,7	0,2
Рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг), %: – растениеводство – животноводство	 10,5 10,2	 22,1 10,5	 11,6 0,3
Объем затрат на инвестиции, млн руб.	869,4	1125,0	29,4

Источник: составлено авторами по данным [16]

Table 2

Indicators of the development of the agricultural sector of the Novgorod region

The name of the indicator	*2021*	*2022*	*Growth rate, %*
Agricultural products, million rubles	*32 091*	*35 675*	*11.2*
Share in the gross regional product, %	*8.5*	*8.7*	*0.2*
Profitability of goods, products (works, services) sold, %: *– crop production* *– animal husbandry*	 *10.5* *10.2*	 *22.1* *10.5*	 *11.6* *0.3*
The amount of investment costs, million rubles	*869.4*	*1125.0*	*29.4*

Source: compiled by the authors according to [16].

Развитие сельскохозяйственной отрасли Новгородской области в настоящее время носит преимущественно экстенсивный характер. Рост объема сельскохозяйственной продукции на 11,2 % в 2022–2023 годах в значительной степени обусловлен экстенсивными факторами, поскольку темпы развития отрасли уступают общим темпам роста региональной экономики. Это подтверждается незначительным увеличением доли сельскохозяйственного производства в структуре валового регионального продукта – всего на 0,2 % [19].

Существенное наращивание объема инвестиций в агропромышленный комплекс (на 29,4 %) положительно сказывается на уровне рентабельности реализуемой сельскохозяйственной продукции и оказываемых услуг, однако требует более эффективного использования вложенных капитальных ресурсов и повышения их отдачи.

Осознавая необходимость перехода к инновационной модели развития, региональные органы предпринимают системные шаги в направлении цифровизации отрасли. Так, с 2020 года в рамках реализации национального проекта «Цифровая экономика» и государственной программы развития сельского хозяйства в Новгородской области функционирует региональная цифровая платформа АПК. Основные функции платформы: электронный документооборот между участниками рынка, система мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, цифровая биржа сельскохозяйственной продукции, информационно-консультационный сервис, система государственной поддержки АПК, модуль точного земледелия, система прослеживаемости продукции. По состоянию на декабрь 2024 года региональной цифровой платформой пользуются:

– 59 сельскохозяйственных организаций (63 % от общего числа);

– 323 крестьянских (фермерских) хозяйства (46 % от общего числа);

– 89 организаций пищевой промышленности;

– 234 торговые организации.

Для проведения оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК была сформирована экспертная группа из представителей Министерства сельского хозяйства Новгородской области, Новгородского государственного университета имени Ярослава Мудрого, союза «Новгородская торгово-промышленная палата», некоммерческого партнерства крестьянских (фермерских) хозяйств, сельскохозяйственных кооперативов и личных подсобных хозяйств Новгородской области «Вече», разработчиков цифровой платформы.

Таблица 3

Показатели эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК в Новгородской области (2024 г.)

№	Показатели	Значение
1. Техническая эффективность		
1	Коэффициент доступности платформы	0,99
2	Скорость обработки запросов	0,90
3	Масштабируемость платформы	1,00
4	Уровень информационной безопасности	1,00
	Интегральный показатель по блоку 1	0,97
2. Экономическая эффективность		
1	Рентабельность инвестиций в платформу	0,30
2	Экономия затрат (З) пользователей	0,74
3	Увеличение товарооборота (ТО) сельхозпродукции	0,42
4	Снижение транзакционных издержек (ТИ)	0,44
	Интегральный показатель по блоку 2	0,48
3. Социальная эффективность		
1	Охват целевой аудитории	0,54
2	Удовлетворенность пользователей	0,84
3	Повышение доступности информации	0,71
4	Развитие цифровых компетенций	0,24
	Интегральный показатель по блоку 3	0,58
4. Управленческая эффективность		
1	Скорость реагирования на изменения	1,00
2	Качество технической поддержки	0,94
3	Адаптивность к потребностям пользователей	0,66
4	Эффективность администрирования	0,95
	Интегральный показатель по блоку 4	0,89

Источник: рассчитано авторами.

Table 3

Performance indicators of the regional digital agribusiness platform in the Novgorod region (2024)

No.	*Indicators*	*Value*
1. Technical efficiency		
1	*Platform availability coefficient*	*0.99*
2	*Request processing speed*	*0.90*
3	*Platform scalability*	*1.00*
4	*Information security level*	*1.00*
	Integral indicator for block 1	*0.97*
2. Economic efficiency		
1	*Return on investment in the platform*	*0.30*
2	*Cost savings for (C) users*	*0.74*
3	*Increase in the turnover (TO) of agricultural products*	*0.42*
4	*Reducing transaction costs (TC)*	*0.44*
	Integral indicator for block 2	*0.48*
3. Social efficiency		
1	*Covers the target audience*	*0.54*
2	*User satisfaction*	*0.84*
3	*Increasing the availability of information*	*0.71*
4	*Development of digital competencies*	*0.24*
	Integral indicator for block 3	*0.58*
4. Managerial efficiency		
1	*Speed of response to changes*	*1.00*
2	*Quality of technical support*	*0.94*
3	*Adaptability to user needs*	*0.66*
4	*Efficiency of administration*	*0.95*
	Integral indicator for block 4	*0.89*

Source: compiled by the authors.

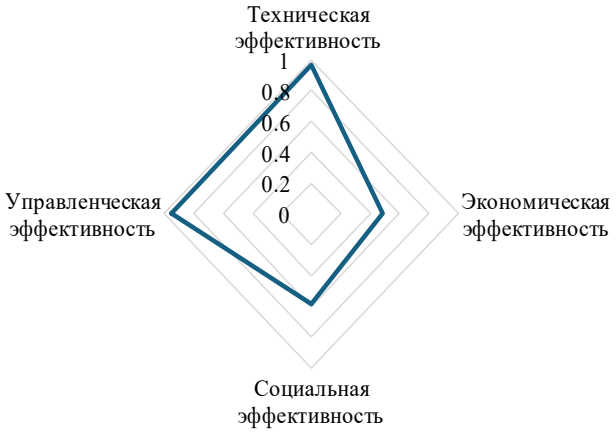


Рис. 4. Интегральные индексы эффективности функционирования цифровой платформы АПК Новгородской области, 2024 г.
Источник: составлено авторами

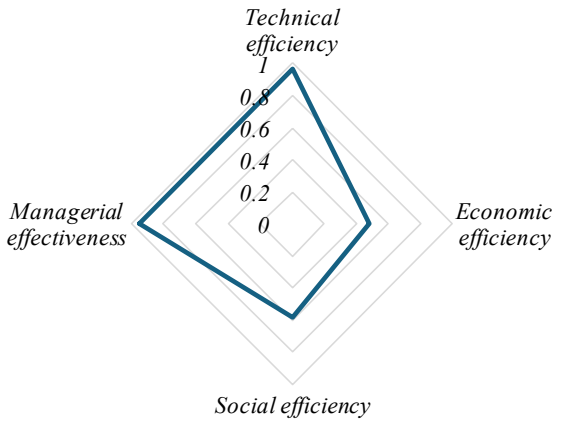


Fig. 4. Integral indices of the efficiency of the digital platform of the agro-industrial complex of the Novgorod region, 2024
Source: compiled by the authors

Результаты оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК представлены в таблице 3.

Для расчета интегрального показателя эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК используются весовые коэффициенты, определенные экспертной группой с учетом приоритетов развития АПК Новгородской области:

$\alpha_1 = 0{,}20$ (техническая эффективность);

$\alpha_2 = 0{,}40$ (экономическая эффективность) – повышенный приоритет;

$\alpha_3 = 0{,}25$ (социальная эффективность);

$\alpha_4 = 0{,}15$ (управленческая эффективность);

ИПЭ = 0,20 × 0,97 + 0,40 × 0,48 + 0,25 × 0,58 + 0,15 × 0,89;

ИПЭ = 0,194 + 0,192 + 0,145 + 0,134 = 0,665.

Интегральный показатель эффективности составляет 0,665, что соответствует среднему уровню эффективности функционирования цифровой платформы.

Разработанная методика оценки эффективности функционирования региональной цифровой платформы АПК позволяет не только определить общий уровень результативности цифровой трансформации сельского хозяйства в регионе, но и выявить узкие места, которые требуют особого внимания со стороны руководства региона (рис. 4).

На основе проведенного анализа сформулированы следующие рекомендации.

1. Краткосрочные меры (6–12 месяцев):

– внедрение дифференцированной системы тарифов для различных категорий пользователей;

– запуск сервиса кредитования через платформу совместно с региональными банками;

– создание системы комиссионных от сделок на цифровой бирже.

2. Среднесрочные меры (1–2 года):

– развитие модуля страхования сельскохозяйственных рисков;

– интеграция с федеральными системами субсидирования;

– создание системы факторинга для участников платформы.

Ожидаемый эффект – повышение показателя экономической эффективности до 0,72.

Увеличение социальной эффективности может быть достигнуто через расширение охвата пользователей и развитие цифровых компетенций:

– проведение информационной кампании среди личных подсобных хозяйств;

– создание упрощенной версии платформы для мелких производителей;

– организация выездных семинаров в районах области;

– запуск онлайн-курсов по работе с платформой;

– создание системы наставничества «опытный пользователь – новичок»;

– партнерство с НовГУ по подготовке специалистов.

Ожидаемый эффект – увеличение показателя социальной эффективности до 0,74.

Дальнейшее развитие технических возможностей предполагает установку таких новых модулей, как:

– система IoT для мониторинга животноводческих комплексов;

– модуль прогнозирования урожайности на основе искусственного интеллекта;

– интеграция с беспилотными летательными аппаратами.

Кроме этого, перспективными направлениями являются подключение к системе «Меркурий», интеграция с платформой «Цифровое сельское хозяйство», связь с региональными логистическими системами.

Среди организационных мер совершенствования системы управления цифровой платформой АПК можно выделить создание совета пользователей платформы, внедрение системы постоянного мониторинга удовлетворенности, развитие партнерских отношений с ведущими ИТ-компаниями.

Финансовые меры совершенствования включают привлечение частных инвестиций в развитие платформы, участие в федеральных программах цифровизации АПК, создание фонда развития цифровых технологий в АПК региона.

Таким образом, цифровая трансформация сельского хозяйства Новгородской области способна обеспечить прирост производственной эффективности, повышение качественных характеристик выпускаемой продукции и увеличение конкурентоспособности аграрного сектора региона.

Разработанная методика оценки эффективности функционирования региональных цифровых платформ АПК представляет собой комплексный инструмент, позволяющий получить объективную оценку деятельности платформы по четырем ключевым направлениям: техническому, экономическому, социальному и управленческому.

Апробация методики на примере платформы в Новгородской области подтвердила ее практическую применимость и позволила выявить как сильные стороны платформы (высокая техническая надежность, эффективное управление), так и области для улучшения (экономическая эффективность, охват пользователей).

Предложенная методика вносит значительный вклад в развитие теории и практики оценки эффективности цифровых технологий в агропромышленном комплексе и может служить основой для принятия обоснованных управленческих решений в сфере цифровой трансформации сельского хозяйства. Разработанная методика может быть использована региональными органами управления АПК для мониторинга и оптимизации цифровых платформ, разработчиками ИТ-решений для повышения качества цифровых продуктов, инвесторами для оценки инвестиционной привлекательности проектов цифровизации АПК, научными организациями для проведения сравнительных межрегиональных исследований.

Направлениями дальнейших исследований являются расширение апробации методики на платформы на данных других регионов России, разработка автоматизированных систем мониторинга показателей эффективности, исследование влияния внешних факторов результативность функционирования цифровых решений, а также формирование прогностической модели оценки эффективности с применением методов машинного обучения.

Библиографический список

1. Петерс И. А., Рудкова Т. А., Смотрова Е. Е. Цифровизация как фактор повышения эффективности функционирования АПК на региональном уровне // Экономика и предпринимательство. 2020. № 12 (125). С. 378–382. DOI: 10.34925/EIP.2021.125.12.073.

2. Попова Л. В., Лата М. С., Мелихов П. А. Цифровизация как драйвер устойчивого развития аграрной экономики региона // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. 2022. № 1 (295). С. 31–45. DOI: 10.53598/2410-3683-2022-1-295-31-45.

3. Shuyu Y., Yirong D., Xiao Z. Research and application of agricultural internet of things technology in intelligent agriculture // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1769. Article number 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1769/1/012020.

4. Bryntsev A., Levina E. Platform-network economy: features of formation in Russia // Management and Business Administration. 2023. Vol. 3. Pp. 149–161. DOI: 10.33983/2075-1826-2023-3-149-161.

5. Musina D., Yangirov A., Kharitonov S. Improvement of business processes of subjects of the agro-industrial complex through a digital platform // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 949. Article number 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012023.

6. Arykbaev R. Organization of a single digital platform for agro-industrial and fisheries complexes // Economic Analysis: Theory and Practice. 2022. Vol. 21. Pp. 2041–2059. DOI: 10.24891/ea.21.11.2041.

7. Parker G. G., Van Alstyne M. W., Choudary S. P. Platform revolution: how networked markets are transforming the economy and how to make them work for you. New York: W. W. Norton & Company, 2016. 352 p.

8. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M. J. Big data in smart farming – a review // Agricultural Systems. 2017. Vol. 153. Pp. 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

9. Klerkx L., Jakku E., Labarthe P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda // NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences. 2019. Vol. 90-91. Article number 100315. DOI: 10.1016/j.njas.2019.100315.

10. Шайтура С. В., Максимов А. В., Филимонов С. Л. [и др.] Цифровая экономика, точное позиционирование и беспилотное вождение в сельском хозяйстве // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4. С. 38–44.

11. Шмидт Ю. И. Оценка сдвигов в применении цифровых технологий в сельском хозяйстве федеральных округов России // Репутациология. 2024. № 3-4 (73-74). С. 55–58. DOI: 10.34925/2071-9094.2024.73.3.003.

12. Аева А. В., Полянская М. С., Драгуленко В. В. Цифровая трансформация управления процессами в сельском хозяйстве // Журнал прикладных исследований. 2024. № 12. С. 20–26. DOI: 10.47576/2949-1878.2024.12.12.002.

13. Петриков А. В. Новые тенденции в развитии сельского хозяйства и приоритеты аграрной политики в России // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. Т. 230, № 4. С. 275–284. DOI: 10.38197/2072-2060-2021-230-4-275-284.

14. 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.

15. Абдрахманова Г. И., Быховский К. Б., Веселитская Н. Н., Вишневский К. О., Гохберг Л. М. [и др.]. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты: доклад к XXII Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества. Москва, 2021. 239 с.

16. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2024: статистический сборник. Москва: Росстат, 2024. 1081 с.

17. Сельское хозяйство в России [Электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/a/206468 (дата обращения: 06.06.2025).

18. Сельхозпроизводство сократилось на 3,2 % в 2024 году – Росстат [Электронный ресурс]. URL: https://xn--e1alid.xn--p1ai/journal/publication/selkhozproizvodstvo-sokratilos-na-32-v-2024-godu-rosstat (дата обращения: 06.06.2025).

19. Киварина М. В., Юрина Н. Н. Цифровизация регионального АПК: проблемы и перспективы // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 3. С. 515–528. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-03-515-528.

Об авторах:

Мария Валентиновна Киварина, доктор экономических наук, профессор кафедры цифровой экономики и управления, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия; ORCID 0000-0002-8533-4573, AuthorID 316850. *E-mail: mariya.kivarina@novsu.ru*

Наталия Николаевна Юрина, кандидат экономических наук, доцент кафедры цифровой экономики и управления, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия; ORCID 0000-0002-6730-8523, AuthorID 743083. *E-mail: nataliya.yurina@novsu.ru*

References

1. Peters I. A., Rudkova T. A., Smotrova E. E. Digitalization as a factor in increasing the efficiency of the agro-industrial complex at the regional level. *Economy and Entrepreneurship*. 2020; 12 (125): 378–382. DOI: 10.34925/EIP.2021.125.12.073. (In Russ.)

2. Popova L. V., Lata M. S., Melikhov P. A. Digitalization as a driver of sustainable development of the agrarian economy of the region. *Bulletin of Adyghe State University. Series 5: Economics*. 2022; 1 (295): 31–45. DOI: 10.53598/2410-3683-2022-1-295-31-45. (In Russ.)

3. Shuyu Y., Yirong D., Xiao Z. Research and application of agricultural internet of things technology in intelligent agriculture. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021; 1769: 012020. DOI: 10.1088/1742-6596/1769/1/012020.

4. Bryntsev A., Levina E. Platform-network economy: features of formation in Russia. *Management and Business Administration*. 2023; 3: 149–161. DOI: 10.33983/2075-1826-2023-3-149-161.

5. Musina D., Yangirov A., Kharitonov S. Improvement of business processes of subjects of the agro-industrial complex through a digital platform. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 949: 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012023.

6. Arykbaev R. Organization of a single digital platform for agro-industrial and fisheries complexes. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2022; 21: 2041–2059. DOI: 10.24891/ea.21.11.2041.

7. Parker G. G., Van Alstyne M. W., Choudary S. P. *Platform revolution: how networked markets are transforming the economy and how to make them work for you*. New York: W. W. Norton & Company, 2016. 352 p.

8. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M. J. Big data in smart farming – a review. *Agricultural Systems*. 2017; 153: 69–80. DOI: 10.1016/j.agsy.2017.01.023.

9. Klerkx L., Jakku E., Labarthe P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*. 2019; 90-91: 100315. DOI:10.1016/j.njas.2019.100315.

10. Shaytura S. V., Maksimov A. V., Filimonov S. L., et al. Digital economy, precise positioning and unmanned driving in agriculture. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2021; 4: 38–44. (In Russ.)

11. Shmidt Yu. I. Assessment of shifts in the application of digital technologies in agriculture of the federal districts of Russia. *Reputationology*. 2024; 3-4 (73-74): 55–58. DOI: 10.34925/2071-9094.2024.73.3.003. (In Russ.)

12. Aeva A. V., Polyanskaya M. S., Dragulenko V. V. Digital transformation of process management in agriculture. *Journal of Applied Research*. 2024; 12: 20–26. DOI: 10.47576/2949-1878.2024.12.12.002. (In Russ.)

13. Petrikov A. V. New trends in the development of agriculture and priorities of agrarian policy in Russia. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*. 2021; 230 (4): 275–284. DOI: 10.38197/2072-2060-2021-230-4-275-284. (In Russ.)

14. Petukhova M. S., Agafonova O. V. Theoretical and methodological foundations of the digital transformation of Russian agriculture: basic concepts and stages. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (4): 79–89. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-233-04-79-89. (In Russ.)

15. Abdrakhmanova G. I., Bykhovsky K. B., Veselitskaya N. N., Vishnevskiy K. O., Gokhberg L. M., et al. *Digital transformation of industries: starting conditions and priorities: report for the XXII April international scientific conference on the problems of economic and social development*. Moscow: Publishing house of the Higher School of Economics, 2021. 239 p. (In Russ.)

16. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2024: statistical collection. Moscow: Rosstat, 2023. 1081 p. (In Russ.)

17. Agriculture in Russia [Internet]. 2025 [cited 2025 Jun 06]. Available from: https://www.tadviser.ru/a/206468.

18. Agricultural production decreased by 3.2 % in 2024 – Rosstat [Internet]. 2025 [cited 2025 Jun 06]. Available from: https://www.tadviser.ru/a/206468.

19. Kivarina M. V., Yurina N. N. Digitalization of the regional agro-industrial complex: problems and prospects. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (03): 515–528. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-03-515-528. (In Russ.)

Authors' information:

Mariya V. Kivarina, doctor of economic sciences, professor of the department of digital economics and management, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia; ORCID 0000-0002-8533-4573, AuthorID 316850. *E-mail: mariya.kivarina@novsu.ru*

Nataliya N. Yurina, candidate of economic sciences, associate professor of the department of digital economics and management, Yaroslav-the-Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia;
ORCID 0000-0002-6730-8523, AuthorID 743083. *E-mail: nataliya.yurina@novsu.ru*

УДК 336.027
Код ВАК 5.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1456-1466

Субсидии как фактор импортозамещения семян сельскохозяйственных культур

З. П. Меделяева[1]✉, С. В. Гончаров[1], С. А. Голикова[2], А. В. Шишлянников[1]
[1] Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия
[2] Лебедянский техникум промышленных, информационных технологий и управления, Лебедянь, Липецкая область, Россия
✉*E-mail: medelaeva@mail.ru*

Аннотация. **Цель исследования** состоит в развитии подходов к совершенствованию государственной поддержки, в т. ч. в вопросах господдержки отечественной системы семеноводства. Научная значимость статьи состоит в обосновании методического подхода; практическая – в применении данного подхода при определении уровня господдержки сельхозпроизводителям при переходе к использованию отечественных семян. **Методология и методы**. Методологической базой исследования выступили системный и комплексный подходы, которые использовались при обосновании импортозамещения семян; статистико-экономический метод – для характеристики тенденций использования отечественных и импортных семян; расчетно-конструктивный метод применялся для обоснования требуемых расчетов. **Результаты**. Вопрос импортозамещения семян сельскохозяйственных культур остро стоит перед Россией, где в настоящее время велик удельный вес импортных семян, особенно по техническим культурам. В последние годы имеет место субсидирование строительства новых селекционно-семеноводческих центров, субсидирование процентных ставок при использовании кредитов банков на покупку необходимого оборудования, значительное увеличение финансирования бюджетных научно-исследовательских учреждений и т. д. В то же время удельный вес импортных семян технических культур очень высокий. Министерством сельского хозяйства страны внесены изменения в Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы в части снижения удельного веса отечественных семян по картофелю, кукурузе. Для стимулирования рынка отечественных семян господдержка оказывается только при условии использования отечественных семян. Результаты свидетельствуют о том, что суммы предоставляемых субсидий на приобретение отечественных семян на современном этапе значительно меньше дополнительной выручки, которую товаропроизводители могут иметь при посеве технических культур семенами импортного происхождения. Делается вывод о необходимости увеличения финансирования селекционно-семеноводческой отрасли страны с целью поставки на российский рынок более конкурентоспособных отечественных сортов и гибридов, что будет стимулом для их приобретения сельхозтоваропроизводителями. **Научная новизна** заключается в обосновании подходов к государственному регулированию рынка семян в условиях их импортозамещения.

Ключевые слова: селекция, семеноводство, субсидии, сельскохозяйственные культуры, рынок семян, импорт семян, прибыль, рентабельность

Для цитирования: Меделяева З. П., Гончаров С. В., Голикова С. А., Шишлянников А. В. Субсидии как фактор импортозамещения семян сельскохозяйственных культур // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1456–1466. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1456-1466.

Дата поступления статьи: 14.12.2024, ***дата рецензирования:*** 23.05.2025, ***дата принятия:*** 14.07.2025.

© Меделяева З. П., Гончаров С. В., Голикова С. А., Шишлянников А. В., 2025

Subsidies as a factor of seed import substitution

Z. P. Medelyaeva[1]✉, S. V. Goncharov[1], S. A. Golikova[2], A. V. Shishlyannikov[1]
[1] Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia
[2] Lebedyan College of Industrial, Information Technologies and Management, Lebedyan, Lipetsk region, Russia
✉*E-mail: medelaeva@mail.ru*

Abstract. **The purpose** of the study is to develop approaches to improving state support, including in matters of state support for the domestic seed production system. The scientific significance of the article lies in substantiating the methodological approach; practical significance – in applying this approach when determining the level of state support for agricultural producers when switching to the use of domestic seeds. **Methodology and methods.** The methodological basis of the study was the systematic and integrated approaches that has been used to justify the import substitution of seeds; the statistical and economic method was used to characterize the trends in the use of domestic and imported seeds; the computational and constructive method was used to justify the required calculations. **Results**. Import substitution of agricultural seeds is an acute problem in Russia, where the share of imported seeds is currently high, especially for hybrid crops. In recent years, there has been subsidization of the construction of new breeding programs and seed centers, subsidization of interest rates when using bank loans to purchase necessary equipment, a significant increase in financing of budgetary research institutions, etc. At the same time, the share of imported seeds of industrial crops is very high. The Ministry of Agriculture of the country has made changes to the Federal Scientific and Technical Program for the development of agriculture for 2017–2030 in terms of reducing the proportion of domestic seeds for potatoes and corn. To stimulate the domestic seed market, state support is provided only if domestic seeds are used. The results indicate that the amount of subsidies provided for the purchase of domestic seeds at the present stage is significantly less than the additional revenue that commodity producers can have when sowing industrial crops with seeds of imported origin. It is concluded that it is necessary to increase financing for the country's seed breeding industry in order to supply more competitive domestic varieties and hybrids to the Russian market, which will be an incentive for agricultural producers to purchase them. **The scientific novelty** lies in the substantiation of approaches to state regulation of the seed market in the context of their import substitution.

Keywords: selection, seed production, subsidies, crops, seed market, seed import, profit, profitability

For citation: Medelyaeva Z. P., Goncharov S. V., Golikova S. A., Shishlyannikov A. V. Subsidies as a factor of seed import substitution. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1456–1466. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1456-1466. (In Russ.)

Date of paper submission: 14.12.2024, ***date of review:*** 23.05.2025, ***date of acceptance:*** 14.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Каждый сельхозпроизводитель для посевной кампании создает качественный семенной фонд – отборные семена как собственного производства, так и покупные, используемые для предстоящего посева и гарантирующие получение хорошего урожая. Потребность в семенах для посева в рамках страны определяется в 10 млн т в год, в т. ч. около 3,5 млн т озимых культур и около 6,5 млн т яровых. Сорта отечественной селекции занимают доминирующее положение в посевах зерновых и зернобобовых (озимая и яровая пшеница, овес, озимые ячмень и рожь, тритикале, просо, гречиха, рис). С точки зрения семенного бизнеса это низкомаржинальные культуры по сравнению с сахарной свеклой, кукурузой, подсолнечником, рапсом, овощными культурами, пивоваренным ячменем, где преобладает сортимент зарубежных компаний. Более 42 млрд руб. ежегодно тратится на приобретение импортного семенного материала, в т. ч. почти 19 млрд руб. – на приобретение семян подсолнечника и более 5 млрд руб. – на семена сахарной свеклы, культуры, по которой отмечается самая высокая зависимость (97 %) (рис. 1).

В динамике тенденции по изменению использования отечественных и импортных семян технических культур и кукурузы за последние годы представлены в таблице 1.

Необходимо отметить, что семена колосовых и отдельных видов кукурузы экспортируются нашей страной за границу в объемах от 17 до 25 и от 3 до 6 тыс. т соответственно [5]. В то же время экспорт российских оригинальных семян сельскохозяйственных растений запрещен [6].

В 2024 году Постановлением Правительства РФ введены ограничения на импорт семян. По норма-

© Medelyaeva Z. P., Goncharov S. V., Golikova S. A., Shishlyannikov A. V., 2025

тивному акту, вступившему в силу 12.02.2024 года, до конца 2024 года общий объем семян, разрешенных к ввозу в рамках квот, составлял 33,1 тыс. т. Среди крупных зарубежных компаний, работающих на российском рынке, квоты получили «Сингента», «КВС Рус». Из отечественных компаний существенный объем выделен ЗАО «Агрофирма Павловская Нива». Однако по ряду культур квоты на семена были предоставлены никому не известным ИП и, как следствие, не были выбраны. На 2025 год режим квотирования ввоза импортных семян продлен, объемы квот определялись исходя из потребностей рынка и наличия семян отечественного производства, общий объем квотирования на 2025 год – 18,3 тыс. т, что на 15,7 тыс. т. меньше, чем в 2024 году. Так, на 2025 год квоты на семена картофеля уменьшены на 4 тыс. т, на пивоваренный ячмень – на 100 т; имеет место квота только на семена восковидной кукурузы, нулевые квоты на семена сои, сортовые семена рапса (на гибридные семена ярового рапса – квота 2 тыс. т), подсолнечника (кроме высокоолеинового гибрида). По семенам подсолнечника и кукурузы планируется даже перепроизводство семян соответственно 6,7 и 10,2 тыс. т. По семенам сахарной свеклы квота на ввоз выросла на 700 т по сравнению с 2024 годом, что свидетельствует об отсутствии отечественных семян данной сельскохозяйственной культуры. В 2025 году на квоты может претендовать только тот поставщик, который уже занимался поставками семян в Россию в 2024 году, при этом он должен либо быть собственником семян, либо иметь материально заверенные документы, подтверждающие наличие у него семян.

Современное состояние на рынке семян заставляет определять направления, способствующие увеличению доли отечественных и в первую очередь конкурентоспособных сортов и гибридов. Квотирование вместе с программой импортозамещения способствует увеличению доли отечественных семян, хотя зачастую снижает эффективность коммерческой деятельности сельхозтоваропроизводителей.

Методология и методы исследования (Methods)

Системный и комплексный подходы, являясь методологической базой при изучении многих экономических явлений, были использованы при исследовании проблем и определении направлений повышения эффективности отечественного семеноводства. При обосновании экономических показателей использовались методы анализа и синтеза; статистико-экономический, расчетно-конструктивный и др.

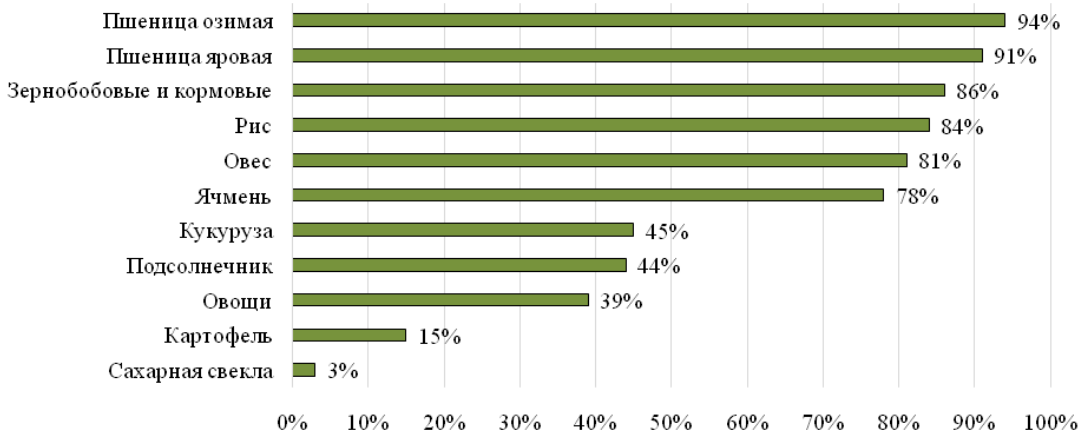


Рис. 1. Доля семенного материала отечественного сортимента, 2022, % [1; 2; 3]

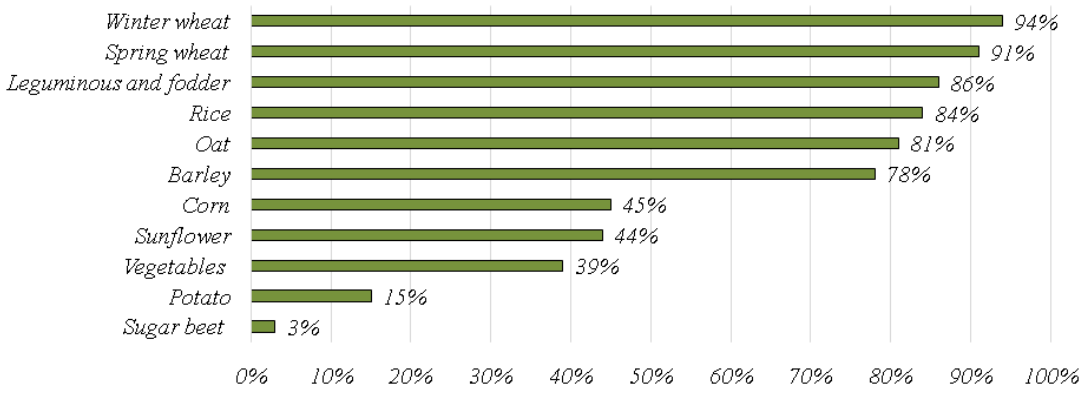


Fig. 1. The seed share of the domestic assortment, 2022, % [1; 2; 3]

Таблица 1

Удельный вес семян отечественной селекции, % [4]

Сельскохозяйственные культуры	Годы			
	2021	2022	2023	2024
Подсолнечник	23,0	23,0	29,9	46,0
Кукуруза	43,0	41,8	45,5	48,0
Соя	43,0	43,5	47,1	50,0
Рапс	30,0	30,6	62,5	67,6

Table 2

The proportion of seeds of domestic selection, % [4]

Agricultural crops	*Years*			
	2021	*2022*	*2023*	*2024*
Sunflower	*23.0*	*23.0*	*29.9*	*46.0*
Corn	*43.0*	*41.8*	*45.5*	*48.0*
Soybeans	*43.0*	*43.5*	*47.1*	*50.0*
Rapeseed	*30.0*	*30.6*	*62.5*	*67.6*

Системный подход и элементы комплексного подхода применялись при исследовании вопросов обеспеченности страны отечественными и зарубежными семенами, статистико-экономический метод – для установления тенденций по использованию регионами семян отечественного и импортного происхождения; расчетно-конструктивный метод – для обоснования объемов финансирования при получении стимулирующей и компенсирующей субсидий, расчете превышения выручки при производстве технических культур с использованием семян импортного происхождения по сравнению с семенами отечественных селекционеров.

При проведении исследования использовались монографический, расчетно-конструктивный, графический методы, метод сравнения и экспертных оценок.

Результаты (Results)

В последние годы в связи с санкциями, непредсказуемостью решений многих недружественных стран государством нашей страны предпринимаются меры по стимулированию рынка отечественных семян. Стимулирование проявляется, с одной стороны, в получении субсидий (безвозмездные целевые выплаты, предоставляемые за счет бюджетов) сельхозтоваропроизводителями при закупке отечественных семян в условиях отсутствия государственной поддержки при приобретении импортных семян, с другой – установлением квот и ограниченности ввоза семян из-за рубежа. Уже в 2024 году по отдельным сельскохозяйственным культурам (соя, озимый рапс) были предусмотрены нулевые квоты.

Для достижения продовольственной безопасности к 2030 году, согласно Указу Президента РФ от 21 января 2020 года № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации», необходимо довести удельный вес семян отечественной селекции до 95 % по озимой пшенице, 77 % – по кукурузе, 75 % – по подсолнечнику и 50 % – по картофелю и сахарной свекле [7]. Однако Минсельхоз РФ предлагает внести изменения в Федеральную научно-техническую программу развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы (ФНТП). Так, целевой показатель самообеспеченности семенами картофеля российской селекции к 2030 году предполагается 35 % вместо 50 %. По годам целевые показатели следующие: 2024 год – 10 %, 2025 год – 10,5 %, 2026 год – 11 %, 2027 год – 11,5 %, 2028 год – 12 %, 2029 год – 12,5 %, 2030 год – 35 %. Скорректированы целевые показатели по кукурузе: при планируемом уровне на 2024 год в 48 % в новой редакции показатель снижен до 46,5 %. Далее по годам он следующий: 2025 – 48 %, 2026 – 50 %, 2027 – 55 %, 2028 – 60 %, 2029 – 65 %, 2030 – 77 %. Средний уровень самообеспеченности по всем сельскохозяйственным культурам к 2030 году остается тот же – 75 % [8]. Принятие изменений связано в т. ч. с возникающими трудностями по организации отечественного семеноводства картофеля, овощей, технических культур.

По оценке консалтинговой компании «Яков и партнеры», общий потенциальный объем импортозамещения посредством производства АПК оценивается в 2,4–3,4 млрд долларов США, в том числе по генетическим технологиям – 1,2–1,7 млрд долларов США [9]. Главное препятствие в достижении целей программы импортозамещения – неопределенность в наличии сотен тысяч человеко-лет PhD и терабайт экспертизы. Действительно, переход аграриев на отечественные семена может обойтись в 250–300 млрд рублей в год, причем эта разница будет разделена между потребителями и производителями, несущими убытки из-за неэффективности.

Сельхозтоваропроизводители получают средства господдержки по различным программам, позволяющие улучшить их финансовое состояние. Объемы государственной поддержки сельхозпроизводителей в динамике за 2015–2023 годы отражены в таблице 2.

Таблица 2

Объемы государственной поддержки сельхозпроизводителей, Россия [4]

Показатели	Годы						
	2015	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Перечислено сельхозпроизводителям средств господдержки, всего млрд руб.	187,9	170,6	150,2	159,1	170,0	164,7	170,2
В % к предыдущему году	–	90,8	88,0	105,9	113,2	96,9	103,3

Table 2

Volumes of state support for agricultural producers, Russia [4]

Indicators	*Years*						
	2015	*2018*	*2019*	*2020*	*2021*	*2022*	*2023*
Transferred state support funds to agricultural producers, total billion rubles	*187.9*	*170.6*	*150.2*	*159.1*	*170.0*	*164.7*	*170.2*
In % to the previous year	–	*90.8*	*88.0*	*105.9*	*113.2*	*96.9*	*103.3*

Принимаемые Правительством меры, естественно, должны дать определенный прогресс в развитии отечественной селекции и семеноводства – системы создания новых, улучшения существующих сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, размножения родительских форм и обеспечения сельхозтоваропроизводителей качественным семенным материалом.

Однако следует учитывать, что предприниматели всегда выбирают для себя направления производства, использование которых принесет большую прибыль. При этом принимаются во внимание как финансовые средства, полученные от продажи продукции, так и средства, которые потенциально можно получить от государства (регионов) в качестве субсидий за выполнение определенных требований. Так, в настоящее время предусмотрены субсидии за покупку элитных и репродукционных отечественных семян. При этом семена обязательно должны быть включены в Государственный реестр селекционных достижений и допущены к использованию по тому или иному региону страны (для Воронежской области – пятый регион допуска (для защищенного грунта – третья световая зона)) [10]. При определении суммы субсидий учитываются сорт и репродукция высеваемых семян, площадь посева, поправочные коэффициенты, ставки, утвержденные регионами. Субсидия предоставляется на возмещение части затрат, произведенных и оплаченных за период с 01.10 прошлого года по 30.09 следующего года. Размер субсидии не должен превышать 95 % от суммы фактических затрат.

При этом предусмотрено использование поправочных коэффициентов:

Q 1 – его показатель до 1,2. Определяется выполнением сельскохозяйственным предприятием условия по достижению в отчетном году результатов предоставления субсидии;

Q 2 – в случае невыполнения сельскохозяйственным предприятием условия по достижению результатов предоставления субсидии к ставке применяется коэффициент в размере, равном отношению фактического значения за отчетный год к установленному, но не менее 0,8;

Q 3 – для сельскохозяйственных товаропроизводителей, использующих семена отечественной селекции, применяется коэффициент в размере 2. Базовые ставки в расчете на 1 га определяются регионами и отличаются по ним незначительно. Так, в Новгородской области на 2024 год они утверждены в следующих размерах: колосовые, включая овес, – 3135 руб., зернобобовые – 4620 руб. [11].

В то же время предприниматель всегда ориентируется не только на доход, получаемый в виде субсидий, но и на финансовый результат от продажи продукции, который, как правило, в несколько раз превышает суммы всех субсидий.

Немаловажным моментом при покупке семян является учет сумм НДС, которые можно принять к вычету. В декабре 2023 года в статью 164 НК РФ была внесена поправка, распространяющая ставку НДС 10 % на реализацию протравленных семян подсолнечника и кукурузы. В августе 2024 года данное решение применяется в отношении всех видов обработанных протравителями семян сельскохозяйственных культур [12].

До этой поправки ставка НДС на семена сельскохозяйственных культур составляла 20 %, что вело к удорожанию семенного материала и, как следствие, росту себестоимости сельскохозяйственной продукции. Как результат, по оценке Национального семенного альянса, доля фальсифицированных семян в 2024 году возросла до 15 %, что связано с уменьшением доходности предприятий и стремлением закупить семена подешевле.

С 01.01.2009 года изменились требования, и налог на добавленную стоимость возможно записать к возмещению при предварительной оплате [13]. Обязательное условие при этом – чтобы поставщик был плательщиком НДС и сумма НДС второй строкой фигурировала в счете-фактуре. Хозяйствующие субъекты, находящиеся на упрощенном режиме налогообложения, не смогут уплаченные суммы НДС принять к вычету, так как они не являются плательщиками НДС.

Таблица 3

Расчет недополучения средств господдержки по компенсирующей и стимулирующей субсидиям сельхозтоваропроизводителям Липецкой области, 2022 г. [14]

Сельскохозяйственные культуры	Сумма компенсирующей субсидии, млн руб.	Сумма стимулирующей субсидии, млн руб.	Общая сумма средств по компенсирующей и стимулирующей субсидиям, млн руб.
Зерновые	190,1	25,8	215,9
Кукуруза на зерно	11,8	–	11,8
Подсолнечник	41,8	3,3	45,1
Сахарная свекла	32,4	–	32,4
Итого	276,1	29,1	305,2

Table 3

Calculation of the shortfall in state support funds for compensation and stimulating subsidies to agricultural enterprises of the Lipetsk region, 2022 [14]

Crops	*The amount of the compensating subsidy, million rubles.*	*The amount of the incentive subsidy, million rubles.*	*The total amount of funds for compensatory and incentive subsidies, million rubles.*
Cereals	*190.1*	*25.8*	*215.9*
Corn	*11.8*	–	*11.8*
Sunflower	*41.8*	*3.3*	*45.1*
Sugar beet	*32.4*	–	*32.4*
Total	*276.1*	*29.1*	*305.2*

Кроме субсидий на покупку семян отечественного производства, сельхозтоваропроизводители до 2024 года получали компенсирующие и стимулирующие субсидии. Цель первых – поддержка сельхозпроизводителей в производстве сельскохозяйственной продукции, и выплачивались они за каждый гектар посевных площадей, вторые – за прирост валового производства продукции по сравнению с прошлым периодом по сельскохозяйственной продукции, являющейся приоритетной для региона. С 2024 года эти два вида субсидий объединены, стимулирующие отменены.

В подтверждение того, что финансовый результат от продажи сельскохозяйственной продукции намного превышает возможные суммы получаемых субсидий и сельхозтоваропроизводители не всегда делают на них ставку в своей производственной деятельности, нами проведены расчеты. Они показывают возможное недополучение государственных средств в виде субсидий в сравнении с теми дополнительными средствами, подучаемыми в виде прибыли от посевов импортными семенами сельскохозяйственных культур и получения более высокого урожая и более высокого качества (таблицы 1–3).

При расчетах принималась запланированная посевная площадь, действующие компенсационные выплаты, утвержденные управлением сельского хозяйства Липецкой области, ежегодные фактические объемы фосфоритования и гипсования почв в регионе (3,4 %), агрострахования (4 %) от общей площади пашни.

При расчетах стимулирующей субсидии за основу брался прирост производства продукции по зернобобовым культурам и подсолнечнику, полученный в среднем за пять предыдущих лет. В анализируемом регионе он определен на уровне 6 %. В абсолютных значениях этот прирост по зерновым планировался в 258 тыс. т, по подсолнечнику – 32,9 тыс. т. При утвержденной ставке стимулирующей субсидии в 100 руб/т сумма субсидии могла составить 29,1 млн руб. (25,8 млн руб. по зерновым культурам и 3,1 млн руб. по подсолнечнику).

Возможное недополучение средств по двум субсидиям сельхозпроизводителями региона, по нашим расчетам, могло составить 305,2 млн руб. (таблица 3).

Сельскохозяйственные предприятия, цель которых, как и других коммерческих организаций, – получение прибыли для дальнейшего воспроизводства, сравнивают возможные дополнительные средства, которые они могут получить в виде господдержки при соблюдении установленных требований по посевам отечественными сортами с дополнительными потоками денежных средств от реализации большего объема полученной продукции при более высокой урожайности импортных сортов и гибридов. Возможные дополнительные объемы валового сбора за счет более высокой урожайности сортов сельскохозяйственных культур импортного происхождения определялись на основе экспертных оценок специалистов Липецкой и Воронежской областей. Более высокая урожайность, как правило, в предыдущие годы наблюдалась при посевах им-

портными семенами сахарной свеклы и подсолнечника. Ради справедливости необходимо отметить, что обеспечение более высокой урожайности импортными семенами долгое время достигалось продажей сельхозпроизодителям иностранными компаниями наряду с импортными семенами полного пакета других средств, обеспечивающих получение высокого урожая,

Расчеты, позволяющие определить возможные дополнительные финансовые средства сельхозпроизводителей при посевах импортными сортами и гибридами сельскохозяйственных культур, представлены в таблице 4.

В 2020–2022 годах производство и реализация большинства сельскохозяйственных культур обеспечивали высокий уровень эффективности. Однако даже при его снижении в 2 раза сумма прибыли от продажи дополнительного объема продукции будет значительно превышать суммы субсидий, недополученные по господдержке при ее отмене за невыполнение требований по посевам сельскохозяйственных культур семенами отечественного производства (таблица 5).

Именно технические культуры обеспечивают получение значимой прибыли, и они будут востребованы в ближайшее время, так как продолжается строительство перерабатывающих данную продукцию предприятий [15].

Расчеты свидетельствуют, что дополнительная прибыль, которая может быть получена сельхозтоваропроизводителями от посева более урожайными импортными семенами, на сегодняшний день намного превышает государственные субсидии, что будет побуждать аграриев к поиску более качественного семенного материала.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В рыночных условиях товаропроизводители самостоятельно определяют состав, каналы приобретения оборотных средств для производственной деятельности. Это касается и семенного материала, который занимает до 10 % в структуре себестоимости продукции растениеводства. Определяющим при этом является экономическая эффективность – сумма полученной прибыли, во многом обуславливающая поведение товаропроизводителей на рынках приобретения оборотных средств и продажи сельскохозяйственной продукции.

Необходимо комплексное и постепенное использование административных и экономических методов в развитии отечественного семеноводства с целью улучшения материально-технической базы, создания более конкурентоспособных отечественных сортов и гибридов, не ухудшая при этом финансовое состояние сельхозтоваропроизводителей за счет полного запрета использования импортных семян в условиях отсутствия высокоурожайных отечественных аналогов [16–19]. Особенно важно плодотворное, взаимовыгодное сотрудничество между селекционными и семеноводческими организациями [20].

Таблица 4

Дополнительные объемы возможного валового сбора и прибыли от более высокой урожайности сортов сельскохозяйственных культур импортного производства, 2022 г. [14]

Сельскохозяйственные культуры	Превышение урожайности, ц/га	Дополнительный валовый объем за счет более высокой урожайности импортных семян, тыс. т	Рентабельность (факт 2020 г.)	Прибыль с 1 т, тыс. руб.	Дополнительный объем прибыли, млн руб.
Кукуруза на зерно	20	93,6	37	3,2	299,5
Сахарная свекла	150	1929,0	47	1,1	2121,9
Подсолнечник	8	132,4	47	8,0	1059,2
Итого					3480,6

Table 4

Additional volumes of possible gross harvest and profit from higher yields of imported seeds, 2022 [14]

Crops	*Yield increase, c/ha*	*Additional gross volume due to higher yields of imported seeds, thousand tons*	*Profitability (fact 2020)*	*Profit from 1 ton, thousand rubles*	*Supplement the total amount of profit, million rubles*
Corn	*20*	*93.6*	*37*	*3.2*	*299.5*
Sunflower	*150*	*1929.0*	*47*	*1.1*	*2121.9*
Sugar beet	*8*	*132.4*	*47*	*8.0*	*1059.2*
Total					*3480.6*

Таблица 5

Обоснование эффективности и неэффективности использования импортных семян при отмене государственной поддержки за невыполнение требований по посевам сельскохозяйственных культур семенами отечественного производства, Липецкая область, 2022 г. [14]

Сельскохозяйственные культуры	Дополнительная прибыль от использования импортных сортов, тыс. руб.	Возможное недополученное финансирование, млн руб.				Результат, тыс. руб.
		Компенсирующая субсидия	Стимулирующая субсидия	Субсидии на приобретение элитных семян	Итого	
Зерновые	–*	209,1	25,8	127,1	360,0	–60,5
Кукуруза на зерно	299,5					
Сахарная свекла	2121,9	32,4	–	–	32,4	2089,5
Подсолнечник	1059,2	41,8	3,3	–	45,1	1014,1
Итого	3480,6	276,1	29,1	127,1	1496,7	1983,9

*Примечание. * Импортные сорта не используются.*

Table 5

Justification of the effectiveness and inefficiency of the use of foreign seeds in the cancellation of state support for non-compliance with the requirements for sowing crops with local seeds, Lipetsk region, 2022 [14]

Crops cereals	*Additional profit from the use of imported varieties, thousand rubles*	*Possible short-term financing, million rubles.*				*Result, thousand rubles*
		Compensating subsidy	*Incentive subsidy*	*Subsidies for the purchase of elite seeds*	*Total*	
Corn	–*	*209.1*	*25.8*	*127.1*	*360.0*	*–60.5*
Sunflower	*299.5*					
Sugar beet	*2121.9*	*32.4*	–	–	*32.4*	*2089.5*
Total	*1059.2*	*41.8*	*3.3*	–	*45.1*	*1014.1*
Crops	*3480.6*	*276.1*	*29.1*	*127.1*	*1496.7*	*1983.9*

*Note. *Imported varieties are not used.*

Улучшение состояния регионального семеноводства видится в рамках развития производственно-экономических связей на основе создания селекционно-семеноводческого кластера, который будет объединять:

– производителей семян в лице селекционно-семеноводческих центров, семеноводческих предприятий и поставщиков семян, в т. ч. фирмы, поставляющие семена из-за рубежа;

– хозяйствующих субъектов с функциями инфраструктурного обеспечения;

– органы управления агропромышленного комплекса региона;

– государственные органы контроля над использованием семенного материала;

– сельскохозяйственных производителей – потребителей семян.

К функциям селекционно-семеноводческого кластера регионального уровня следует отнести:

– определение направлений деятельности, взаимовыгодных для всех участников кластера;

– создание благоприятных конкурентных преимуществ отечественным производителям семян, что будет достигнуто в том числе при правильном использовании механизмов защиты прав интеллектуальной собственности;

– увеличение количества и эффективности семеноводческих предприятий;

– регулирование экономических взаимоотношений в соответствие с нормативно-правовым полем в рамках кластера;

– возможность получения участниками кластера прогрессивных приемов и технологий производства семян;

– проведение маркетинговых исследований по вопросам диверсификации сельскохозяйственного производства, изменения тенденций размера и структуры посевных площадей, потребности в семенах и т. п.;

– изучение спроса по видам семян на мировом и национальном рынках;

– определение рациональных схем логистики поставок семян по зонам страны;

– научное и кадровое обеспечение селекции и производства семян и др. [11].

Целесообразным должно быть возрождение отечественной селекционно-семеноводческой школы, обеспечивающей АПК качественными семенами сельскохозяйственных культур в пакетном предложении продуктов и услуг (консалтинг, цифровизация, адаптивные технологии, защита растений и др.).

Это возможно лишь в условиях, когда субсидии перестанут служить фактором компенсации затрат и убытков сельхозпроизводителей от реализации программы импортозамещения семян сельскохозяйственных культур. Семеноводство может стать прибыльным бизнесом лишь при устранении нормативно-правовых барьеров по реализации интеллектуальных прав собственника сорта и приемлемого уровня доходности сельхозпроизводиелей. Потребность в модернизации диктуется необходимостью достижения технологического суверенитета в сфере АПК, выполнения программных значений Доктрины продовольственной безопасности.

Библиографический список

1. Доля отечественных семян в посевах зерновых и зернобобовых культур составляет 71,1 % [Электронный ресурс] // Информационное агентство Зерно Он-Лайн. URL: https://www.zol.ru/n/3033b (дата обращения: 27.09.2024).

2. Рынок семян попал в зависимость [Электронный ресурс] // ИКАР. Институт Конъюнктуры Аграрного Рынка. URL: http://www.ikar.ru/articles/138/ (дата обращения: 27.11.2024).

3. Семеноводство – 2024: вызовы, потребности, успехи. Как отечественные селекция и семеноводство идут к новым целям [Электронный ресурс] // Сайт компании «Щелково Агрохим». URL: https://betaren.ru/news/semenovodstvo-2024-vyzovy-potrebnosti-uspekhi/?journal_id=15220 (дата обращения: 24.11.2024).

4. Сельское хозяйство в России. 2023: стат. сб. Москва: Росстат, 2023. 103 с.

5. Семенной альянс выступил за развитие экспорта российских семян [Электронный ресурс] // Национальное аграрное агентство (ROSNG.RU). URL: https://rosng.ru/post/semennoy-al-yans-vystupil-za-razvitiye-eksporta-rossiyskikh-semyan (дата обращения: 01.10.2024).

6. Осторожно, двери закрываются: в Госдуме предложили запретить экспорт оригинальных семян [Электронный ресурс] // Таможенно-логистический портал «Виртуальная таможня». URL: http://vch.ru/event/view.html?alias=ostoroghno_dveri_zakryvayutsya_v_gosdume_predloghili_zapretit_eksport_originalnyh_semyan (дата обращения: 01.11.2024).

7. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2021 № 20 [Электронный ресурс] // Сайт Администрации Президента России. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106/page/1 (дата обращения: 02.11.2024).

8. Минсельхоз предлагает изменить целевые показатели ФНТП развития сельского хозяйства в части селекции картофеля [Электронный ресурс] // Сайт журнала Поле.рф. URL: https://xn--e1alid.xn--p1ai/journal/publication/minselkhoz-predlagaet-izmenit-celevye-pokazateli-fntp-razvitiya-selskogo-khozyaiystva-v-chasti-selekcii-kartofelya (дата обращения: 02.12.2024).

9. Клецко А., Ветошкин С. Суверенная генетика для российского АПК: где найти сотни тысяч человеколет PhD и терабайты экспертизы. Москва: Международная консалтинговая компания «Яков и Партнеры», 2024. 32 с.

10. Федеральные и региональные меры поддержки сельского хозяйства Воронежской области [Электронный ресурс] // Сайт «Свое фермерство от Россельхозбанка». URL: https://svoefermerstvo.ru/mery-podderzhki/region/voronezhskaya-oblast (дата обращения: 02.11.2024).

11. Об утверждении Порядка предоставления субсидий сельскохозяйственным товаропроизводителям на возмещение части затрат на приобретение элитных семян сельскохозяйственных культур: Постановление Министерства сельского хозяйства Новгородской области от 28.03.2023 № 16 [Электронный ресурс] // Официальное опубликование правовых актов**.** URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/5301202303310002 (дата обращения: 10.11.2024).

12. Правительство РФ расширило перечни кодов семян сельхозкультур, облагаемых НДС по ставке 10 % при реализации и импорте [Электронный ресурс] // ООО «1С-Паблишинг». URL: https://buh.ru/news/pravitelstvo-rf-rasshirilo-perechni-kodov-semyan-selkhozkultur-oblagaemykh-nds-po-stavke-10.html (дата обращения: 14.12.2024).

13. Medelyaeva Z. P., Malitskaya V. B., Zharkovskaya I. G. VAT for Agricultural Producers: Changes, Advantages, and Disadvantages // In: Bogoviz A. V. (ed.) The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS). Heidelberg: Springer International Publishing, 2021. Vol. 205.1. Pp. 403–408. DOI: 10.1007/978-3-030-73097-0_45.

14. Голикова С. А. Совершенствование организационно-экономического механизма развития семеноводства сельскохозяйственных культур: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Воронеж, 2022. 193 с.

15. Меделяева З. П., Гончаров С. В., Беппиев А. Т. Зависимость сельскохозяйственного производства от потребностей перерабатывающей индустрии // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2024. № 1 (76). С. 152–156.

16. Nechaev V. I., Mikhaylushkin P. V., Arzhantsev S. A. The vegetable seed market in Russia: incentive proposals for greater development // In: Bogoviz A. V. (ed.) The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS). Heidelberg: Springer International Publishing, 2021. Vol. 205.1. Pp. 387–394. DOI: 10.1007/978-3-030-73097-0_43.

17. Нечаев В. И. Новые подходы в отечественной селекции и семеноводстве сельскохозяйственных культур: организационный и экономический аспект // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. № 6 (75). С. 68–73. DOI: 10.33938/216-68.

18. Нечаев В. И., Михайлушкин П. В. Совершенствование организационно-экономических и нормативно-правовых подходов к развитию селекции и семеноводства в Российской Федерации // АПК: экономика, управление. 2021. № 11. С. 63–69. DOI: 10.33305/2111-63.

19. Иванов А. Ю., Харченко М. М., Куликов Р. С. (руководители авторского коллектива). Исследовательский проект «Селекция 2.0»: научный доклад НИУ ВШЭ и ФАС. Москва: Издательский дом НИУ ВШЭ, 2020. 357 с.

20. Михайлушкин П. В., Моисеев А. В. Развитие интеграционных процессов в направлении селекции и семеноводства // АПК: экономика, управление. 2021. № 3. С. 62–69. DOI: 10.33305/213-62.

Об авторах:

Зинаида Петровна Меделяева, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой экономики АПК, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия; ORCID 0000-0001-7203-6772, AuthorID 660802. *E-mail: medelaeva@mail.ru*

Сергей Владимирович Гончаров, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции, семеноводства и биотехнологии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия; ORCID 0000-0002-5521-8723, AuthorID 222854.
E-mail: slogan070260@gmail.com

Светлана Алексеевна Голикова, кандидат экономических наук, директор, Лебедянский техникум промышленных, информационных технологий и управления, Лебедянь, Липецкая область, Россия; ORCID 0000-0002-6682-0613, AuthorID 1065647. *E-mail: ltpitu@lmnumy.pф*

Алексей Васильевич Шишлянников, аспирант кафедры экономики АПК, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия; ORCID 0009-0003-1886-7796, AuthorID 1271285. *E-mail: aleksei_shishlyannikov98@mail.ru*

References

1. The share of domestic seeds in cereal and leguminous crops plantings is equal to 71.1 %. *Zerno On-Line News Agency* [Internet]. 2024 [cited 2024 Sep 27]. Available from: https://www.zol.ru/n/3033b. (In Russ.)

2. *The seed market has become addicted. IKAR. Institute for Agricultural Market Studies* [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov 27]. Available from: http://www.ikar.ru/articles/138/. (In Russ.)

3. Seed production – 2024: challenges, needs, successes. How domestic breeding and seed production are moving towards new goals. *Shchelkovo Agrochem Company Website* [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov 24]. Available from: https://betaren.ru/news/semenovodstvo-2024-vyzovy-potrebnosti-uspekhi/?journal_id=15220. (In Russ.)

4. *Agriculture in Russia. 2023: Statistical Compendium*. Moscow: Rosstat, 2023. 103 p. (In Russ.)

5. The Seed Alliance came out for the development of Russian seed export. *National Agrarian Agency (ROSNG. RU)* [Internet]. 2024 [cited 2024 Oct 15]. Available from: https://rosng.ru/post/semennoy-al-yans-vystupil-za-razvitiye-eksporta-rossiyskikh-semyan. (In Russ.)

6. Mind the closing doors: the Russian State Duma proposed to prohibit export of original seeds. *Customs and logistics portal "Virtual Customs"* [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov 01]. Available from: http://vch.ru/event/view.html?alias=ostoroghno_dveri_zakryvayutsya_v_gosdume_predloghili_zapretit_eksport_originalnyh_semyan. (In Russ.)

7. On the approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2021 No. 20. *Website of the Presidential Administration of Russia* [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov. 02]. Available from: http://www.kremlin.ru/acts/bank/45106/page/1. (In Russ.)

8. The Ministry of Agriculture proposes to change the targets of the Federal Research and Technical Program for the development of agriculture in terms of potato breeding. *Website of Pole.rf. journal* [Internet]. 2024 [cited 2024 Dec. 02]. Available from: https://xn--e1alid.xn--p1ai/journal/publication/minselkhoz-predlagaet-izmenit-celevye-pokazateli-fntp-razvitiya-selskogo-khozyaiystva-v-chasti-selekcii-kartofelya. (In Russ.)

9. Kletsko A., Vetoshkin S. *Sovereign genetics for the Russian Agro-Industrial Complex: where to find hundreds of thousands of PhD man-years and terabytes of expertise*. Moscow: Yakov and Partners International Consulting Company, 2024. 32 p. (In Russ.)

10. Federal and regional measures in favour of Voronezh regional agriculture. *Svoefermerstvo.ru – Website of the Russian Agricultural Bank* [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov. 02]. Available from: https://svoefermerstvo.ru/mery-podderzhki/region/voronezhskaya-oblast. (In Russ.)

11. On approval of the Procedure for granting subsidies to agricultural producers for reimbursement of part of the costs of purchasing elite seeds of agricultural crops: Decree of the Ministry of Agriculture of Novgorod Oblast of March 28, 2023 No. 16. *Official publication of legal acts* [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov. 10]. Available from: http://publication.pravo.gov.ru/document/5301202303310002. (In Russ.)

12. The Government of the Russian Federation has expanded the lists of codes for agricultural seeds subject to VAT at a rate of 10 % on sale and import. *1C-Publishing* [Internet]. 2024 [cited 2024 Dec. 14]. Available from: https://buh.ru/news/pravitelstvo-rf-rasshirilo-perechni-kodov-semyan-selkhozkultur-oblagaemykh-nds-po-stavke-10.html. (In Russ.)

13. Medelyaeva Z. P., Malitskaya V. B., Zharkovskaya I. G. VAT for Agricultural Producers: Changes, Advantages, and Disadvantages. In: Bogoviz A. V. (ed.) *The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS).* Heidelberg: Springer International Publishing, 2021. Vol. 205.1. Pp. 403–408. DOI: 10.1007/978-3-030-73097-0_45.

14. Golikova S. A. *Improvement of the organizational and economic mechanism for the development of seed production of agricultural crops*: dis. ... candidate of economic sciences: 08.00.05. Voronezh, 2022. 193 p. (In Russ.)

15. Medelyaeva Z. P., Goncharov S. V., Beppiev A. T. Dependence of agricultural production on the needs of the processing industry. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2024; 1 (76): 152–156. (In Russ.)

16. Nechaev V. I., Mikhaylushkin P. V., Arzhantsev S. A. The vegetable seed market in Russia: incentive proposals for greater development. In: Bogoviz A. V. (ed.) *The Challenge of Sustainability in Agricultural Systems. Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS).* Heidelberg: Springer International Publishing, 2021. Vol. 205.1. Pp. 387–394. DOI: 10.1007/978-3-030-73097-0_43.

17. Nechaev V. I. New approaches in domestic breeding and seed breeding of agricultural crops: organizational and economic aspects. *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2021; 6 (75): 68–73. DOI: 10.33938/216-68. (In Russ.)

18. Nechaev V. I., Mikhaylushkin P. V. Improvement of organizational, economic and regulatory approaches to the development of breeding and seed production in the Russian Federation. *AIC: Economics, Management*. 2021; 11: 63–69. DOI: 10.33305/2111-63. (In Russ.)

19. Ivanov A. Yu., Kharchenko M. M., Kulikov R. S. (project team leaders). *Research project Plant Breeding 2.0: Research Report of the Higher School of Economics and Federal Antimonopoly Service*. Moscow: Publishing House of National Research University Higher School of Economics, 2020. 357 p. DOI: 10.17323/978-5-7598-2349-0. (In Russ.)

20. Mikhaylushkin P. V., Moiseev A. V. Development of integration processes in the direction of selection and seed production. *AIC: Economics, Management*. 2021; 3: 62–69. DOI: 10.33305/213-62. (In Russ.)

Authors information:

Zinaida P. Medelyaeva, doctor of economic sciences, professor, head of the department of economics of agro-industrial complex, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia; ORCID 0000-0001-7203-6772, AuthorID 660802. *E-mail: medelaeva@mail.ru*

Sergey V. Goncharov, doctor of agricultural sciences, professor, the department of breeding, seed production and biotechnology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia; ORCID 0000-0002-5521-8723, AuthorID 222854. *E-mail: slogan070260@gmail.com*

Svetlana A. Golikova, candidate of economic sciences, director, Lebedyan College of Industrial, Information Technologies and Management, Lebedyan, Lipetsk region, Russia; ORCID 0000-0002-6682-0613, AuthorID 1065647. *E-mail: ltpitu@лmnumy.рф*

Aleksey V. Shishlyannikov, postgraduate of the department of economics of agro-industrial complex, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia; ORCID 0009-0003-1886-7796, AuthorID 1271285. *E-mail: aleksei_shishlyannikov98@mail.ru*

УДК 631.67.03:631.8:004.9
Код ВАК 5.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1467-1480

Автоматизация процесса фертигации как цифровая технология сельскохозяйственных предприятий

М. С. Оборин[1, 2, 3]✉, **Р. Ф. Шайдулин**[3], **М. Г. Субботина**[3]
[1] Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова, Пермь, Россия
[2] Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
[3] Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия
✉*E-mail: recreachin@rambler.ru*

Аннотация. Внедрение цифровых технологий существенно меняет вектор развития сельскохозяйственной отрасли, способствуя повышению качества процессов и результатов. Сложность заключается в специфических объектах воздействия, живых организмах, представленных сельскохозяйственными растениями и животными. Особенностью производства является создание благоприятных условий для поддержания биологических процессов в зависимости от отраслевой специализации предприятия. Важным направлением технологической оптимизации производства является ресурсное обеспечение растениеводства. Сельскохозяйственные культуры отличаются требованиями к уходу и выращиванию, чувствительностью к составу питательных веществ, их дозировке. Перечисленные факторы усиливают риски ошибок и неточностей, связанных с обеспечением процесса питания и нарушением его технологий. Последствиями могут быть недостаточная продуктивность, убытки, снижение качества продукции. В связи с этим автоматизация данной функции является актуальным направлением развития цифровизации и автоматизации производства растениеводческих предприятий. **Цель** исследования – проектирование автоматизации процесса фертигации для тепличных комплексов. **Задачи исследования:** 1) рассмотреть фертигацию как технологию сельскохозяйственного предприятия в условиях цифровизации растениеводства; 2) описать технологическую схему автоматизации процесса фертигации, этапы технологии; 3) проектирование аппаратного решения процесса автоматизации фертигации. **Методы исследования:** процессный подход, анализ, описание, моделирование. **Научная новизна** заключается в разработке решения для автоматизации процесса фертигации. **Результаты**. В статье рассматриваются ключевые преимущества использования фертигации в сельском хозяйстве, а также предлагается решение для автоматизации этого процесса в тепличном комплексе Пермского государственного аграрно-технологического университета. В рамках работы представлена схема, описывающая технологию внедрения системы фертигации, а также подобрано необходимое оборудование для эффективного решения поставленной задачи.

Ключевые слова: автоматизация, полив, маточный раствор, ризосферная зона растения, теплица, ресурсосбережение, микроконтроллер, датчик

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Министерства науки и образования РФ, номер госрегистрации 1023051000003-9-4.1.1.

Для цитирования: Оборин М. С., Шайдулин Р. Ф., Субботина М. Г. Автоматизация процесса фертигации как цифровая технология сельскохозяйственных предприятий // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1467–1480. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1467-1480.

Дата поступления статьи: 10.01.2025, ***дата рецензирования:*** 07.05.2025, ***дата принятия:*** 31.07.2025.

© Oborin M. S., Shaydulin R. F., Subbotina M. G., 2025

Automation of the fertigation process as a digital technology of agricultural enterprises

M. S. Oborin[1, 2, 3]✉, R. F. Shaydulin[3], M. G. Subbotina[3]
[1] Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics, Perm, Russia
[2] Perm State National Research University, Perm, Russia
[3] Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia
✉*E-mail: recreachin@rambler.ru*

Abstract. The introduction of digital technologies significantly changes the vector of development of the agricultural sector, contributing to an improvement in the quality of processes and results. The difficulty lies in the specific objects of impact, living organisms represented by agricultural plants and animals. A feature of production is the creation of favorable conditions for the maintenance of biological processes, depending on the industry specialization of the enterprise. An important area of technological optimization of production is the resource provision of crop production. Agricultural crops differ in their requirements for care and cultivation, sensitivity to the composition of nutrients, and their dosage. These factors increase the risks of errors and inaccuracies associated with the provision of nutrition and disruption of its technology. The consequences may be insufficient productivity, losses, and a decrease in product quality. In this regard, automation of this function is an urgent direction for the development of digitalization and automation of crop production. **The purpose** of the study is to design automation of the fertigation process for greenhouse complexes. **Research objectives:** 1) consider fertigation as a technology of an agricultural enterprise in the context of digitalization of crop production; 2) describe the technological scheme of automation of the fertigation process, the stages of technology; 3) design of a hardware solution for the automation of fertigation. **Research methods:** process approach, analysis, description, modeling. **The scientific novelty** lies in the development of a solution for automating the fertigation process. **Results.** The article discusses the key advantages of using fertigation in agriculture, and also suggests a solution for automating this process in the greenhouse complex of Perm State Agrarian and Technological University. As part of the work, a diagram is presented describing the technology of implementing the fertigation system, as well as the necessary equipment for the effective solution of the task.

Keywords: automation, irrigation, mother liquor, rhizosphere zone of the plant, greenhouse, resource conservation, microcontroller, sensor

Acknowledgements. The study was supported by a grant from the Ministry of Science and Education of the Russian Federation, state registration number 1023051000003-9-4.1.1.

For citation: Oborin M. S., Shaydulin R. F., Subbotina M. G. Automation of the fertigation process as a digital technology of agricultural enterprises. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1467–1480. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1467-1480. (In Russ.)

Date of paper submission: 10.01.2025, ***date of review:*** 07.05.2025, ***date of acceptance:*** 31.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Сельское хозяйство как одна из ключевых отраслей человеческой деятельности, обеспечивающая растущую численность населения планеты не только питанием, но и сырьевыми источниками для многих производств, стремится к постоянному совершенствованию и оптимизации процессов для увеличения урожайности и качества продукции.

В глобально меняющихся климатических условиях специалистам растениеводческой отрасли все сложнее регулировать питание растений, особенно в открытом грунте, за счет внесения удобрений в сухом виде и даже листовых подкормок. Аномальные погодные явления все чаще приводят к значительным недоборам урожаев сельскохозяйственных культур [1–5].

При недостатке влаги снижается способность корневой системы растений поглощать элементы питания из грунта или почвы за счет массового потока, что приводит к нарушению физиологических процессов, снижению качества и уровня урожайности сельскохозяйственных культур, а следовательно, использованию не в полной мере потенциала сортов [6–11].

В этом контексте фертигация, или внесение удобрений в почву в растворенном виде в процес-

© Оборин М. С., Шайдулин Р. Ф., Субботина М. Г., 2025

се полива или орошения, выступает важным инструментом, позволяющим сельхозпроизводителям добиваться максимальной эффективности при использовании ресурсов.

Фертигация представляет собой неотъемлемый элемент современных технологий питания растений, где точность и рациональность играют решающую роль. Этот подход объединяет в себе две ключевые составляющие – подкормку растений и полив, обеспечивая целенаправленное внесение необходимых питательных веществ прямо в ризосферную зону в соответствии с фенологическими фазами конкретной культуры и ее сортовых особенностей. Основное преимущество фертигации заключается в том, что она предоставляет возможность растениям гораздо быстрее усваивать необходимые элементы, подаваемые уже в ионообменной форме, имитирующей условия почвенного раствора, минимизируя потери и обеспечивая оптимальные условия для их роста и развития [12–14].

С развитием современных технологий и внедрением инноваций в аграрный сектор фертигация переживает новый этап своего развития. Автоматизация этого процесса предоставляет сельхозпроизводителям уникальную возможность добиться более точного, эффективного и ресурсосберегающего использования удобрений, а также экономить трудовые ресурсы в условиях дефицита кадров [13–15].

Производители оборудования для фертигации, такие как Netafim, Rivulis Eurodrip (Израиль), Valmont Industries, Lindsay Corporation (США), Jain Irrigation Systems (Индия), Irritec (Италия) и другие, предлагают как отдельные компоненты (инжекторы, дозаторы), так и комплексные системы. Среди российских производителей можно отметить ГК «БИО-Комплекс», компанию «Полив-Сервис», Завод «Агрополимер» и другие, которые предлагают оборудование для фертигации, но в большинстве случаев имеют ограниченные возможности по автоматизации или поставляются с зарубежной автоматикой. Производители оборудования для фертигации предполагают использование готового маточного раствора или концентрированного раствора с удобрением. Предлагаемый авторами аппаратно-программный комплекс предполагает использование сухих водорастворимых удобрений для автоматической подготовки маточного раствора с заданными параметрами и подачу его в систему орошения.

Наиболее проблемная технологическая задача в системах фертигации – подготовка маточного раствора. Очередность смешивания минеральных удобрений в нужных пропорциях для создания маточного раствора требует внимания к деталям, чтобы обеспечить точное соотношение питательных элементов.

На основе анализа почвы и требований конкретных сельскохозяйственных культур определяется необходимый состав маточного раствора, выбираются подходящие водорастворимые минеральные удобрения, содержащие основные элементы питания (азот, фосфор и калий), а также кальций, магний и другие мезо- и микроэлементы, которые входят в состав комплексных солей с основными элементами. Рассчитывается необходимая дозировка каждого удобрения в соответствии с технологической рецептурой. Навески минеральных удобрений добавляются в воду поочередно, при этом важно обеспечивать интенсивное перемешивание для равномерного растворения [14].

После смешивания важно проверить и, если необходимо, скорректировать уровень pH маточного раствора. Рост и развитие растений в значительной степени зависят от множества факторов, среди которых уровень pH, который влияет на доступность питательных элементов для растений и общий уровень концентрации солей. Диапазон pH колеблется от 0 до 14, где значения меньше 7 считаются кислыми, 7 – нейтральным, а выше 7 – щелочными. Оптимальный уровень реакции среды и концентрации солей определяется биологическими особенностями сельскохозяйственных культур. После подготовки маточный раствор может быть использован в составе поливных вод. При этом важно следить за дозировкой и частотой применения для обеспечения оптимального питания растений и рационального использования удобрений.

Цель настоящей работы – разработка решения для автоматизации процесса фертигации.

Методология и методы исследования (Methods)

Технологическая схема автоматизации процесса фертигации состоит из следующих компонентов:

– блоки подготовки смеси;

– емкости для хранения концентрированных удобрений;

– автоматика (клапан, датчики расхода, датчик EC, блок управления);

– емкость для маточного раствора;

– насосы.

Процесс фертигации будет состоять из четырех подпроцессов:

1. Настройка параметров. Настраиваются следующие параметры:

– количество подаваемого удобрения (грамм за один оборот шнека);

– количество воды для подготовки концентрированного раствора с удобрением;

– уровень pH;

– время подачи раствора растениям для орошения (полива);

– время старта подачи маточного раствора;

– время подачи раствора.

2. Подготовка концентрированных растворов удобрений.

3. Подготовка маточного раствора.

4. Подача маточного раствора в систему орошения.

Результаты (Results)

Подготовка концентрированных растворов удобрений (рис. 1). Подпроцесс начинается с подачи воды в емкость для смешивания, при этом вода проходит предварительную очистку. Объем воды регулируется автоматикой (клапаном и датчиком расхода). При достижении необходимого уровня воды клапан перекрывается. Расчет объема определяется с помощью датчика расхода. Процесс регулируется микроконтроллером.

После подготовки емкости с водой на следующем шаге в приемный бункер засыпается удобрение в сухом виде, далее с помощью шнека оно подается в емкость для смешивания. Для приготовления питательных растворов используют только водорастворимые формы удобрений, при этом соблюдается разделение несовместимых соединений в разных баках во избежание выпадения осадков и перехода элементов питания в недоступные растениям формы.

На сегодняшний день в составе растений и готовой продукции насчитывают порядка 70 химических элементов, роль многих из них еще не изучена, однако они формируют урожай и его потребительские качества. Питательные растворы заменяют растениям корневое питание, имитируя условия естественной среды, поэтому они многокомпонентные, содержащие более 10 минеральных и органических веществ. В рецептурах питательных растворов учитывают только основные макро- и мезоэлементы (азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера, железо) и наиболее изученные микроэлементы (цинк, медь, кобальт, марганец, молибден, бор).

Как правило, формируют 2–3 бака, маркируя их A, B, C (рис. 2). В баке А готовят смеси солей азотной кислоты (селитры), такие как нитрат калия, нитрат кальция, нитрат магния, нитрат аммония. В баке В обычно замешивают фосфорсодержащие соли и сульфаты, а в баке С готовят растворы хелатных форм микроэлементов или средств защиты растений. Иногда соединения микроэлементов добавляют в бак В в зависимости от технологии, сырья и принятых на предприятии рецептур питательных растворов.

Данные по расходу воды и количество подаваемого сухого удобрения задаются в настройках системы. Объем подаваемого удобрения регулируется количеством оборотов шнека, в настройках указывается количество необходимого удобрения в граммах, а далее система преобразует его в количество оборотов для правильной дозировки. Эта зависимость хранится в базе данных для каждого удобрения. После добавления воды и удобрения выполняется смешивание с помощью соответствующего устройства – смешивающего механизма. Важно тщательно подготовить концентрированный раствор, смешать воду и добавленное удобрение, которое должно полностью раствориться. Данный процесс необходим для формирования базового комплекса питания растений, состоящего из набора минеральных удобрений. Растворы готовятся в отдельных емкостях.

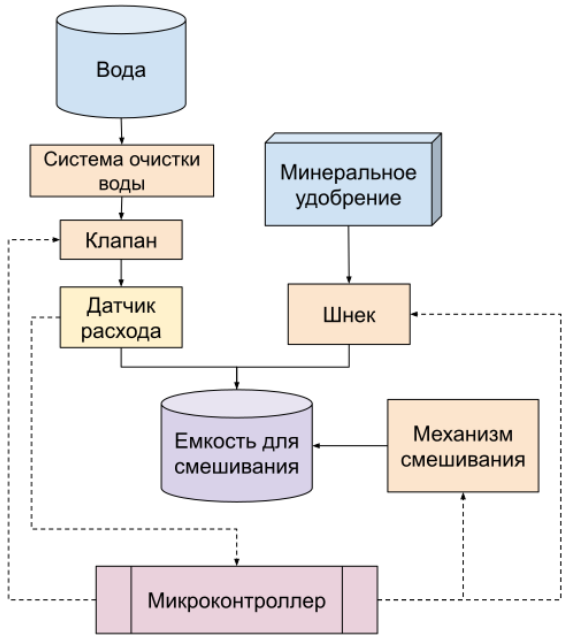


Рис. 1. Технологическая схема автоматизации процесса подготовки концентрата минерального удобрения (разработано авторами)

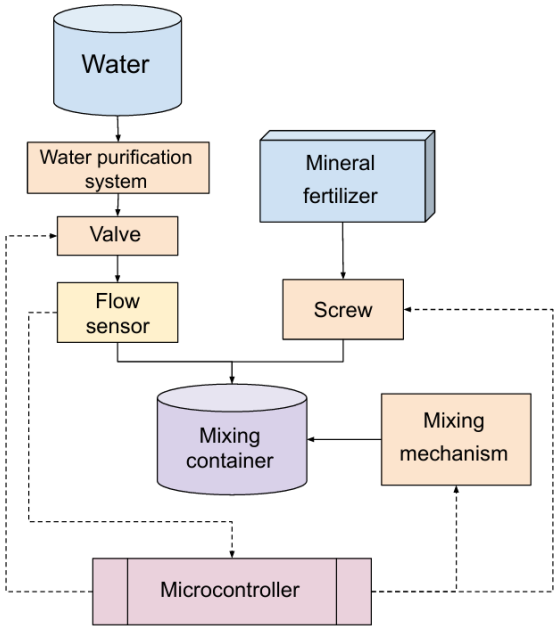


Fig. 1. Technological diagram for automating the process of preparing mineral fertilizer concentrate (developed by the authors)

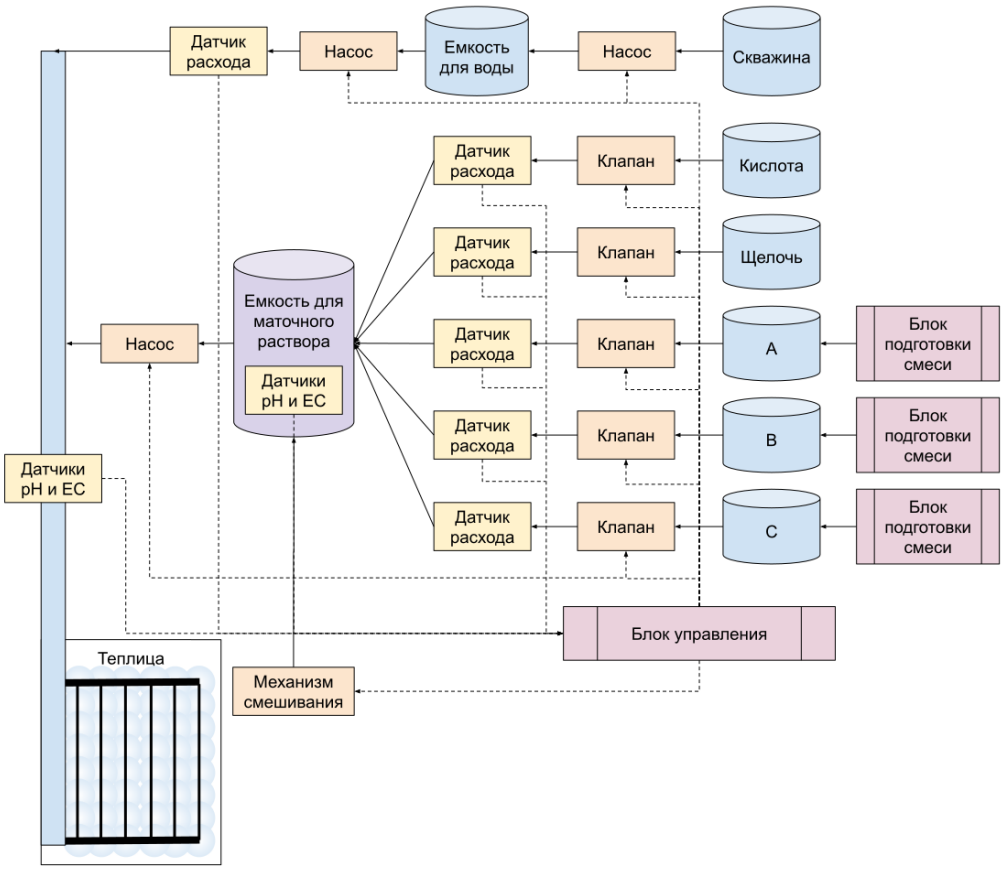


Рис. 2. Технологическая схема автоматизации процесса фертигации (разработано авторами)

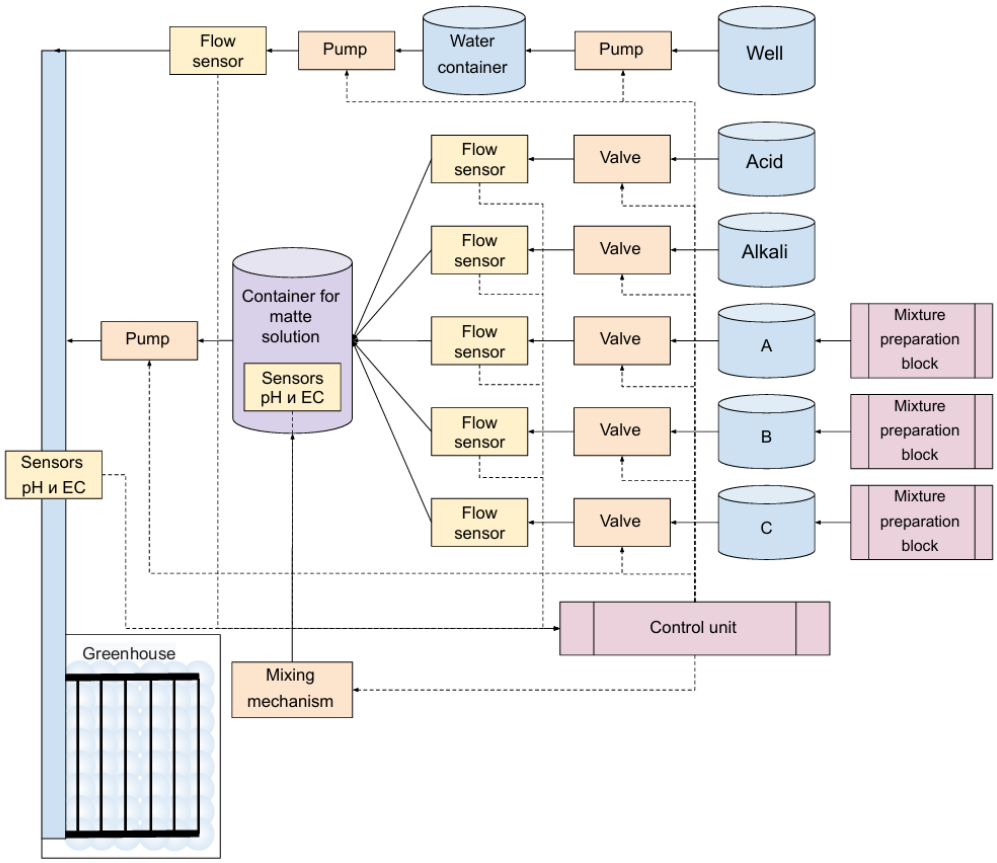


Fig. 2. Technological diagram of automation of the fertigation process (developed by the authors)

Подготовка маточного раствора. Маточный раствор готовится в зависимости от фазы вегетации растений из полученных концентратов в баках A, B, C. На первом этапе в емкость для маточного раствора подается вода для разбавления концентратов солей, и далее поочередно дозируются в нужном соотношении заранее приготовленные растворы удобрений. Маточный раствор должен быть достаточно разбавлен во избежание возникновения нежелательных химических реакций. Далее в емкости для маточного раствора проверяется уровень pH. Если pH отличается от заданного в настройках, то добавляется соответствующий регулятор – кислотный или щелочной. После добавления регулятора маточный раствор перемешивается, после снова проверяется уровень pH. Шаги повторяются, пока уровень pH не достигнет установленного значения.

Технологически целесообразно реализовать данный процесс с применением автоматизированных систем (рис. 2).

Подача маточного раствора в систему орошения. Заранее подготовленный маточный раствор подается не сразу. Сначала запускается система орошения. Далее, по истечении заданного в настройках времени, подается маточный раствор. Время подачи берется из настроек системы. По завершении времени подачи полив продолжается, для того чтобы прочистить трубы и форсунки от остатков раствора. Если этот процесс пропустить, то появятся отложения, которые приведут в некорректной работе системы полива и выведут ее из строя. Из этого вытекает несколько проблем: 1) отсутствие полива негативно скажется на растениях; 2) замена форсунок и труб системы орошения – достаточно затратный и трудоемкий процесс.

Во избежание этих проблем предлагается установить следующие настройки системы орошения: 10 минут на весь полив, 3 минуты подается чистая вода для подготовки системы, далее 3 минуты в воду добавляется маточный раствор, 4 минуты чистая вода для промывки системы орошения и доставки питательных веществ до ризосферной зоны растения.

Поскольку система орошения работает на основе распыления над растением и часть элементов питания будет поглощаться через листовую поверхность, для предотвращения негативных реакций вследствие длительного взаимодействия раствора с листьями важно смыть остатки питательных растворов с внешней первичной покровной ткани растений и доставить их непосредственно в субстрат. Таким образом, подпроцесс промывки решает две задачи.

Весь процесс управляется микроконтроллером (рис. 3).

При проектировании аппаратно-программного комплекса акцент сделан на гибкость управления, точность дозирования, надежность коммуникации, масштабируемость.

Основные компоненты блока подготовки смеси:

1. Основной контроллер для управления всеми устройствами блока подготовки смеси (Arduino Nano).

Обоснование выбора:

– достаточная вычислительная мощность для управления устройствами и обработки данных с датчиков;

– низкое энергопотребление;

– наличие цифровых и аналоговых портов для подключения датчиков и исполнительных устройств;

– поддержка протоколов UART, I²C, SPI;

– доступность и низкая стоимость.

2. Конвертер TTL в RS485 на базе MAX485 для связи между Arduino и удаленными устройствами.

Обоснование выбора:

– RS485 обеспечивает устойчивую передачу данных на большие расстояния (до 1200 м);

– поддерживает многоточечные сети (можно подключить несколько устройств);

– защищает от помех благодаря дифференциальной передаче сигналов;

– MAX485 – популярная и надежная микросхема.

3. Преобразователь напряжения, понижающий DC/DC, используется для преобразования 24В в 5В для питания Arduino Nano.

Обоснование выбора:

– Arduino Nano требует стабильного напряжения 5В;

– DC/DC-преобразователь эффективно понижает напряжение с минимальными потерями;\

– защищает контроллер от перепадов напряжения.

4. Моторизованный шнек используется для точного дозирования сухого удобрения в емкость для смешивания.

Обоснование выбора:

– высокая точность дозирования (зависит от шага шнека и управления ШИМ);

– возможность работы с различными типами сыпучих материалов.

5. Механизм смешивания (верхнеприводная погружная мешалка) для равномерного смешивания воды и удобрений.

Обоснование выбора:

– обеспечивает быстрое и качественное перемешивание;

– простота установки и обслуживания;

– возможность регулировки скорости вращения.

6. Блок из MOSFET-модуля и электромагнитного промежуточного реле обеспечивают управление питанием электромагнитного клапана от логического сигнала Raspberry Pi.

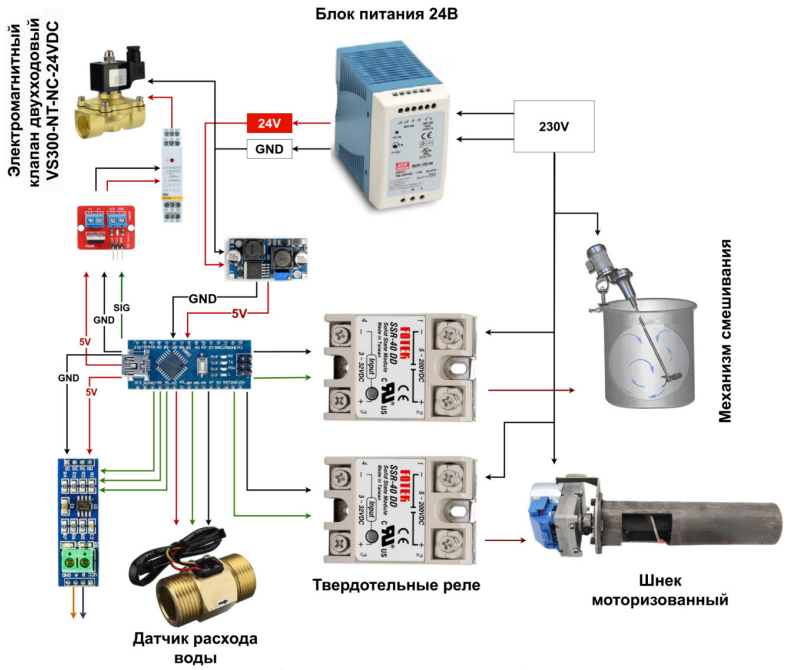


Рис. 3. Схема блока подготовки смеси (разработано авторами)

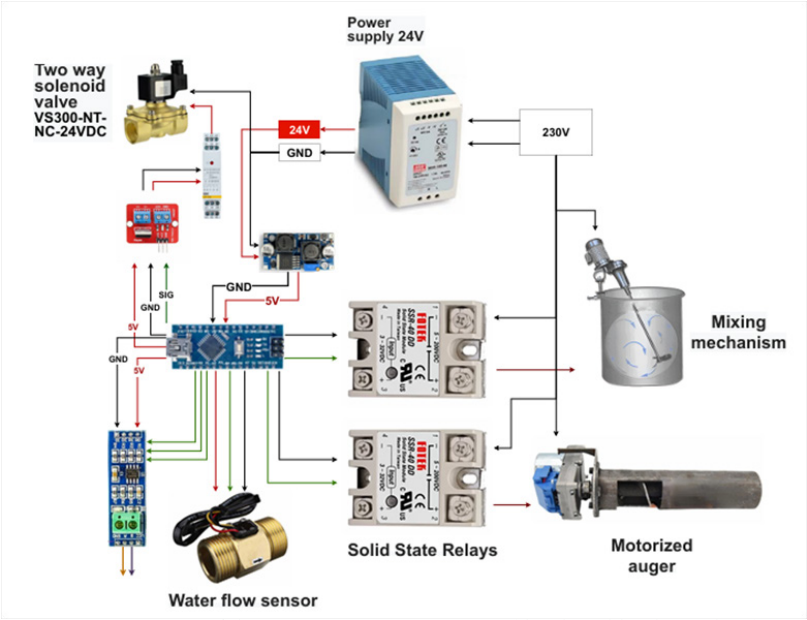


Fig. 3. Diagram of the mixture preparation unit (developed by the authors)

Обоснование выбора:

– MOSFET обеспечивает быстрое переключение высоких токов;

– реле обеспечивает гальваническую развязку между управляющей цепью (5В) и силовой (24В);

– защита контроллера от индуктивных нагрузок.

7. Электромагнитный клапан обеспечивает подачу воды к компонентам системы.

Обоснование выбора:

– быстрое срабатывание (мгновенное открытие/закрытие);

– надежность и долгий срок службы;

– совместимость с управлением через реле/MOSFET.

8. Твердотельное реле EKF однофазное RTP-40-DA используется для управления шнеком и механизмом смешивания.

Обоснование выбора:

– высокая скорость переключения;

– долговечность (нет механического износа).

9. Многоструйный счетчик «Пульсар-М» с импульсным выходом обеспечивает контроль расхода воды.

Обоснование выбора:

– импульсный выход совместим с Arduino (подсчет импульсов для измерения объема);

– высокая точность (±1...2 %);

– надежность и устойчивость к загрязнениям воды.

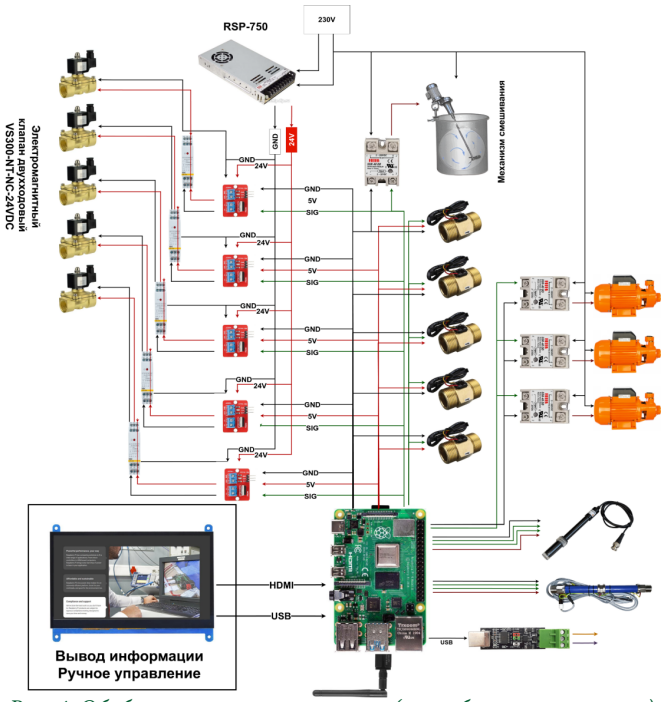


Рис. 4. Обобщенная схема комплекса (разработано авторами)

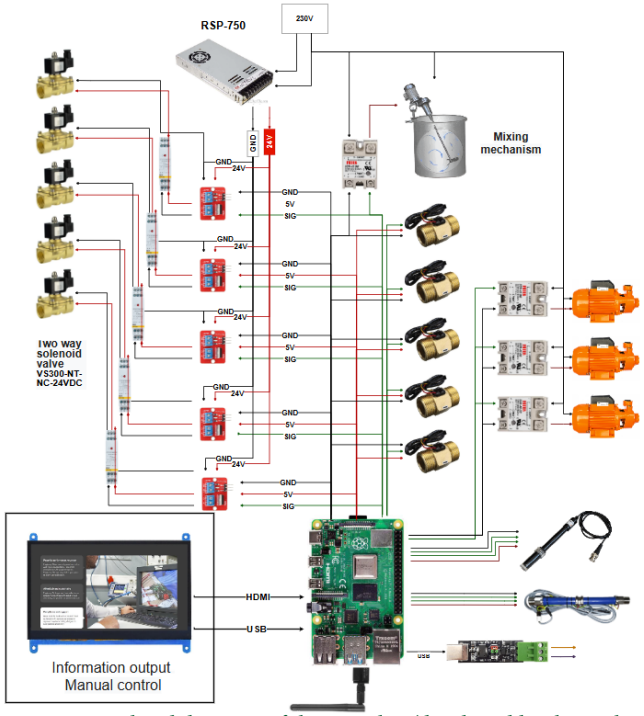


Fig. 4. Generalized diagram of the complex (developed by the authors)

10. Источник питания на 24В.

Обоснование выбора:

– 24В – стандартное напряжение для промышленной автоматизации;

– достаточная мощность для питания всех компонентов;

– безопасность (низковольтное питание снижает риски поражения током).

Предлагается следующее аппаратное решение процесса автоматизации фертигации (общая схема блока управления представлена на рис. 4).

Основные компоненты аппаратного комплекса:

1. Одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 Model B с 4 Гб памяти обеспечивает автоматическое управление системой.

Обоснование выбора:

– достаточная производительность для управления, обработки данных с датчиков и взаимодействия с периферией;

– поддержка языков программирования (Python, C++, Node-RED и других), что упрощает разработку ПО;

– наличие USB, Ethernet, Wi-Fi и Bluetooth для интеграции в локальную сеть и удаленного управления;

– возможность работы с графическим интерфейсом (сенсорный экран);

– низкое энергопотребление при высокой вычислительной мощности.

2. Сенсорный экран (10″) предоставляет интерфейс для отображения текущих параметров работы системы, а также используется для ручного управления и настройки системы.

Обоснование выбора:

– удобный интерфейс для оператора;

– возможность отображения всех необходимых данных;

– сенсорное управление упрощает настройку и контроль системы;

– совместимость с Raspberry Pi (HDMI/USB-интерфейс).

3. Преобразователь USB в RS485 используется для обмена данными между системой управления и Arduino Nano.

4. Потенциометрический датчик контроля реакции среды раствора (pH).

Обоснование выбора:

– высокая точность (±0,1 pH);

– совместимость с аналоговым или цифровым (I^2C/RS485) интерфейсом;

– долговечность и стабильность измерений.

5. Кондуктометрический датчик контроля общей концентрации солей EC.

Обоснование выбора:

– позволяет контролировать уровень питательных веществ в растворе;

– точность (±2 % от показаний);

– коррозионностойкие электроды для долгой работы в агрессивных средах;

– возможность калибровки под разные типы удобрений.

6. Механизм смешивания (верхнеприводная погружная мешалка).

7. Блок из MOSFET-модуля и электромагнитного промежуточного реле обеспечивает управление питанием электромагнитного клапана от логического сигнала Raspberry Pi.

8. Электромагнитный клапан обеспечивает подачу воды к компонентам системы.

9. Твердотельное реле EKF однофазное RTP-40-DA используется для управления насосами и механизмом смешивания.

10. Многоструйный счетчик «Пульсар-М» с импульсным выходом обеспечивает контроль расхода воды.

11. Источник питания на 24В.

Для корректной работы системы необходимо считывать множество параметров с различных устройств. Для реализации этого процесса возможны различные варианты передачи данных. Оборудование будет располагаться на относительно небольшом расстоянии. Наиболее предпочтительным и надежным вариантом предлагается использование проводной схемы подключения.

Для работы датчиков используется питание, которое обеспечивается кабельным соединением. Оборудование (рис. 3) смонтировано в герметичном шкафу, который расположен рядом с емкостью для подготовки маточного раствора. Оборудование, представленное на рис. 4, собрано в коммутационном шкафу, расположенном рядом с блоком управления запуска основного насоса. Между собой они соединены кабелем витая пара, который обеспечивает их стабильную связь. В шкафу, который расположен около основного насоса, установлены датчики pH и EC, они подключены проводным способом, так как от них требуются постоянная связь и стабильное подключение, что не может обеспечить беспроводная связь.

В целях оптимизации оборудование необходимо разместить компактно для рационального использования материалов и предотвращения потери сигналов.

Бизнес-логика процесса автоматизации будет исполнена с помощью языка программирования C++. Это позволит реализовать предлагаемую технологию.

Для взаимодействия с пользователем предлагается использовать веб-приложение, которое будет разработано авторами. Это один из наиболее современных и востребованных механизмов взаимодействия. С помощью веб-приложения пользователь системы сможет устанавливать настройки и отслеживать ход выполнения процесса фертигации.

Применение веб-технологий подразумевает использование клиент-серверной архитектуры. На стороне сервера будут реализованы алгоритмы выполнение процессов. На клиентской части отображение хода выполнения процессов. Посредством пользовательского интерфейса (клиентская часть), помимо отображения, будет организован сбор необходимых параметров для системы. Весь процесс взаимодействия предлагается организовать как облачный сервис. Данное предложение отличается удобством и доступностью. Оператору нет необходимости постоянно находиться в тепличном комплексе: настройка, мониторинг и корректировка системы доступна удаленно. При таком подходе немаловажной является информационная безопасность. Как правило, технология производства культур в конкретных условиях – результат длительного подбора параметров и рецептур, она становится коммерческой тайной предприятий и в ряде случаев результатом интеллектуальной деятельности с защитой патентом. Предлагается следующее решение: организация защищенной сети для предотвра-

щения несанкционированного доступа; механизм входа пользователей с применением двухфакторной авторизации.

Процесс фертигации сложный, так как обладает следующими признаками: большое количество взаимосвязанных элементов, которые взаимодействуют между собой; процесс декомпозирован и состоит из нескольких взаимосвязанных между собой подпроцессов (подсистем). При управлении сложными системы важно оперативно получать всю необходимую информацию для принятия управленческих решений. Веб-приложение позволит решить эту задачу.

В качестве устройства для отслеживания состояния растений в течение вегетации рекомендуется использование стационарных или спектральных камер для оценки содержания хлорофилла в листьях, обеспеченности растений элементами питания для оперативной корректировки питательных растворов. Снятые спектры также можно фиксировать и отслеживать с помощью приложения, по результатам анализа удаленно менять задачи дозирующих устройств для смешивания маточного раствора.

Для оперативности информирования пользователя о ходе выполнения процесса или сбоях предполагается подключить систему оповещения, которая будет отправлять сообщения через актуальные мессенджеры или по электронной почте. На текущий момент времени почти все пользуются мобильными устройствами, которые позволяют оперативно получать информацию об изменениях во внешней среде. Специалист, получив сообщение о сбоях, может оперативно внести корректировку в работу системы и при необходимости остановить процесс фертигации.

Рис. 5. Процесс фертигации в системе цифрового управления производственными процессами теплицы сельскохозяйственного предприятия (разработано авторами)

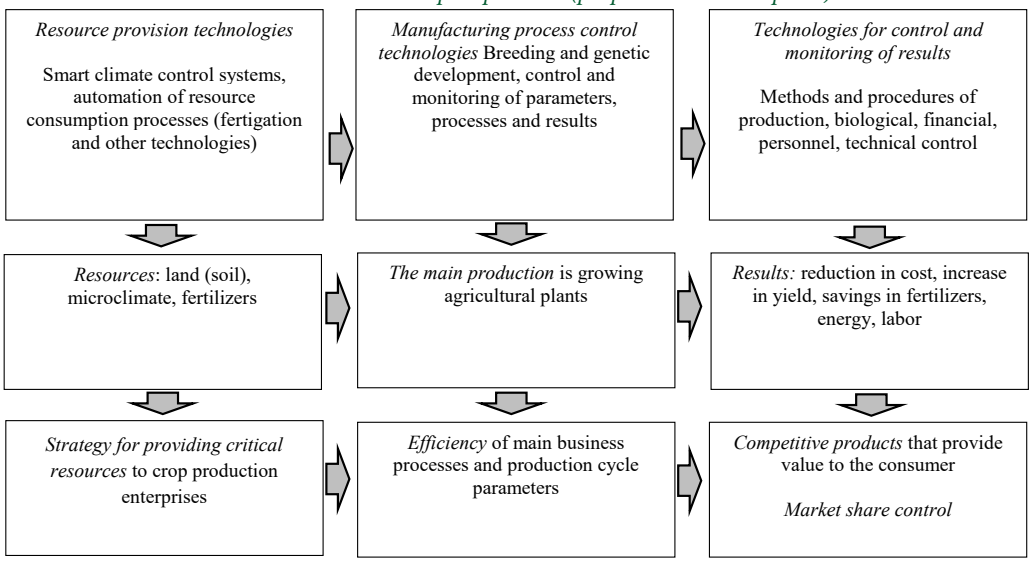


Fig. 5. Fertigation process in a digital control system for production processes in a greenhouse of an agricultural enterprise (developed by the authors)

Таблица 1

Экономический эффект от автоматизации процесса фертигации теплицы на 100 м² для сельскохозяйственных предприятий

Затраты	Ручная фертигация	Автоматизация фертигации	Эффект	Сумма
Вода	6 м³ воды / 10 м² посевной площади	3 м³ воды / 10 м² посевной площади	3 м³ воды / 10 м² посевной площади	30 м³ воды * 2,73 руб. * 10 поливов = 819 руб.
Удобрения	10 кг / 1 м² посевной площади	5 кг / 1 м² посевной площади	500 кг удобрений	500 * 200 = 10 000 руб.
Труд	3 рабочих, 1 инженер	1 рабочий, 1 специалист по обслуживанию комплекса	2 рабочих места, сокращение времен труда специалиста	50 000 руб.
Всего планируемый эффект за месяц				60 819 руб.

Table 1

The economic effect of automating the fertigation process of a greenhouse of 100 m² for agricultural enterprises

Costs	*Manual fertigation*	*Automation of fertigation*	*Effect*	*Amount*
Water	*6 m³ of water / 10 m² of acreage*	*3 m³ of water / 10 m² of acreage*	*3 m³ of water / 10 m² of acreage*	*30 m³ of water * 2.73 rubles * 10 irrigations = 819 rubles*
Fertilizers	*10 kg / 1 m² of acreage*	*5 kg / 1 m² of acreage*	*500 kg of fertilizers*	*500 * 200 = 10 000 rubles*
Labor	*3 workers, 1 engineer*	*1 worker, 1 complex maintenance specialist*	*2 workplaces, reduction of specialist labor time*	*50 000 rubles*
The total planned effect for the month				*60 819 rubles*

Таким образом, представленная технология направлена на оптимизацию процессов выращивания сельскохозяйственных растений в условиях теплицы. Можно представить место процесса фертигации в системе цифрового управления производственными процессами (рис. 5). Его роль состоит в ресурсном обеспечении выращивания сельскохозяйственных растений, оптимизации их питания в соответствии с сортовыми особенностями и биологическим циклом получения готовой продукции.

Система фертигации в теплицах выполняет важные функции оптимизации расходования ресурсов, обеспечивает соблюдение оптимального дозирования, необходимого для выращивания растений с получением продукции соответствующей заданным нормативным параметрам.

Это способствует достижению трех ключевых целей сельскохозяйственных предприятий:

1. Снижение себестоимости продукции, ее контроль в условиях постоянного роста цен на удобрения, энергию и оплату труда специалистов. В текущих условиях данное направление является востребованным, поскольку улучшение рентабельности влияет на итоговые результаты деятельности сельскохозяйственных организаций.

2. Повышение прибыли и контроле доли рынка. Предприятия, которые могут поставлять на рынки продукцию, доступную по цене, становятся более конкурентоспособными, могут обеспечивать основу лояльности постоянных клиентов и поддерживать потенциальный спрос.

3. Предотвращение загрязнения грунтовых вод, препятствование засоления и переуплотнения почв, снижение эмиссии парниковых газов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В данной работе предложено решение технологической задачи по подготовке маточного раствора и подаче его в систему орошения для доставки питательных веществ до прикорневой зоны растения. Применение аппаратно-программного комплекса по автоматизации процесса фертигации позволит более рационально использовать ресурсы, решить проблему образования отложений на форсунках поливной системы. Разработанная технология обеспечивает полное раскрытие преимуществ фертигации с возможностью регулирования состава питательных элементов в растворе в разные фазы вегетации.

Значимым эффектом является экономия ресурсов, включая удобрения и затраты на оплату труда, в результате которых снижается себестоимость и повышается урожайность (таблица 1).

В расчетах взяты средние цены на удобрения, которые будут корректироваться в зависимости от типов почвы и выращиваемых культур. Соответственно, если теплиц будет несколько, данный

эффект будет значительно выше. При этом оплата труда специалиста комплекса также повлияет на количество работающих и сокращение оплаты, так как датчики позволяют оценивать состояние почвы в нескольких теплицах, что сокращает и оптимизирует работу по мониторингу и контролю посевных площадей. Соответственно, внедрение технологии будет наиболее выгодным для крупных предприятий агробизнеса. Даже при наличии одной теплицы экономия ресурсов составит свыше 600 тыс. руб. ежегодно.

Предложенное решение ориентировано на сельскохозяйственные производственные кооперации, фермерские хозяйства и другие формы малого предпринимательства в АПК и имеет возможности потенциального масштабирования как в защищенном, так и в открытом грунте.

В качестве направления дальнейшего совершенствования аппаратно-программного комплекса авторы предлагают внедрение датчика для определения ионов кальция и дополнение его спектральной камерой, что позволит повысить точность контроля состава маточного раствора и оперативность принятия решений по корректировке питания.

Библиографический список

1. Шайдулин Р. Ф., Мелехин М. И., Иванова В. А. [и др.] Автоматизация системы полива и проветривания для сельскохозяйственных культур // Научный аспект. 2023. Т. 2, № 12. С. 174–186.

2. Марков А. Из-за засухи пермские аграрии потеряли до половины урожая [Электронный ресурс]. URL: https://ura.news/news/1052668844 (дата обращения: 19.11.2024).

3. Распоряжение Губернатора Пермского края от 28.07.2023 № 206-р «О признании чрезвычайной ситуации на территории Пермского края в связи с опасными природными явлениями» [Электронный ресурс]. URL: https://agro.permkrai.ru/dokumenty/297549 (дата обращения: 19.11.2024).

4. Шайтанов О. Л, Низамов Р. М., Захарова Е. И. Оценка влияния глобального потепления на климат Татарстана // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4 (40). С. 102–112. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-4-102-112.

5. Романенков В. А., Павлова В. Н., Беличенко М. В. Агротехнологические возможности управления климатическими рисками при возделывании зерновых культур // Агрохимия. 2022. № 12. С. 19–30. DOI: 10.31857/S0002188122120110.

6. Никитишен В. И., Демидов В. В. Почвенно-агрохимические и экологические основы повышения продуктивности агроценозов. Пущино: Отдел научно-технической информации Научного центра биологических исследований АН СССР, 1990. 135 с.

7. Медведев И. Ф., Сиренко Ф. В., Ефимова В. И., Деревягин С. С. Динамика развития корневой системы яровой пшеницы в условиях активного проявления засух и различной обеспеченности элементами питания растений // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 8. С. 6–10.

8. Киселева Т. С., Рзаева В. В. Запасы доступной влаги при возделывании нута в северной лесостепи Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2019. № 9 (188). С. 2–7. DOI: 10.32417/article_5dadfe3aeaba53.15283418.

9. Сазонова Т. А., Придача В. Б. Влияние почвенных условий среднетаежного сосняка лишайникового на рост и показатели минерального и водного режима сосны обыкновенной // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 11. С. 113–123. DOI: 10.17076/eb1316.

10. Аҳатқулов Б. Қуруқ ва юқори ҳароратли иқлим шароитларига мослашадиган ўсимликларнинг янги навларини яратиш ҳамда етиштириш истиқболлари // Iqtisodiy Taraqqiyot va Tahlil. 2024. Jild 2, № 3. С. 216–221.

11. Блохин В. И., Никифорова И. Ю., Ганиева И. С. [и др.] Засухоусточивость сортов ярового ячменя в условиях Предкамья Республики Татарстан // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3 (71). С. 4–11. DOI: 10.48012/1817-5457_2022_3_4-11.

12. Карпова О. В. Фертигация как инструмент интенсивной технологии // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: Материалы X Международной научно-практической конференции. Саратов, 2023. С. 49–52.

13. Калиниченко В. П., Глинушкин А. П., Соколов М. С. [и др.] Природоподобные технологии биогеосистемотехники // Агрохимия. 2020. № 2. С. 61–68. DOI: 10.31857/S0002188120020052.

14. Федосов А. Ю., Меньших А. М. Управление фертигацией овощных культур // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (46). С. 34–53.

15. Фесенко Э. О. Автоматизация как составляющий компонент ресурсосберегающих технологий в АПК // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие». Санкт-Петербург, 2020. С. 99–101.

Об авторах:

Матвей Сергеевич Оборин, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономического анализа и статистики, Пермский институт (филиал) Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова, Пермь, Россия; профессор кафедры мировой и региональной экономики, экономической теории, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия; профессор кафедры менеджмента, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-4281-8615, AuthorID 747778.
E-mail: recreachin@rambler.ru

Роман Фаритович Шайдулин, кандидат экономических наук, проректор по цифровой трансформации, доцент кафедры информационных систем и телекоммуникаций, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия;
ORCID 0009-0007-5307-204X, AuthorID 674257. *E-mail:roman@pgatu.ru*

Мария Георгиевна Субботина, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0001-6373-4413, AuthorID 690458,
E-mail: subbotina@mail.ru

References

1. Shaydulin R. F., Melekhin M. I., Ivanova V. A., et al. Automation of irrigation and ventilation systems for agricultural crops. *Scientific Aspect*. 2023; 2 (12) : 174–186. (In Russ.)

2. Markov A. Perm farmers lost up to half of their crops due to drought [Internet] [cited 2024 Nov 19]. Available from: https://ura.news/news/1052668844. (In Russ.)

3. Decree of the Governor of the Perm Territory dated 07/28/2023 No. 206-r "On the recognition of an emergency situation in the territory of the Perm Territory in connection with dangerous natural phenomena" [Internet] [cited 2024 Nov 19]. Available from: https://agro.permkrai.ru/dokumenty/297549. (In Russ.)

4. Shaytanov O. L., Nizamov R. M., Zakharova E. I. Assessment of the impact of global warming on the climate of Tatarstan. *Legumes and Cereals*. 2021; 4 (40): 102–112. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-4-102-112. (In Russ.)

5. Romanenkov V. A., Pavlova V. N., Belichenko M. V. Agrotechnological possibilities of climate risk management in the cultivation of grain crops. *Agrochemistry*. 2022; 12: 19–30. DOI: 10.31857/S0002188122120110. (In Russ.)

6. Nikitishen V. I., Demidov V. V. *Soil-agrochemical and ecological foundations of increasing productivity of agrocenoses*. Pushchino: Department of Scientific and Technical Information of the Scientific Center for Biological Research of the USSR Academy of Sciences, 1990. 135 p. (In Russ.)

7. Medvedev I. F., Sirenko F. V., Efimova V. I., Derevyagin S. S. Dynamics of development of the root system of spring wheat in conditions of active manifestation of droughts and various availability of plant nutrients. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2013; 8: 6–10. (In Russ.)

8. Kiseleva T. S., Rzaeva V. V. Reserves of available moisture during chickpea cultivation in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 9 (188): 2–7. DOI: 10.32417/article_5dadfe3aeaba53.15283418. (In Russ.)

9. Sazonova T. A., Pridacha V. B. The influence of soil conditions of the Middle taiga lichen pine on the growth and indicators of the mineral and water regime of the common pine. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2020; 11: 113–123. DOI: 10.17076/eb1316. (In Russ.)

10. Akhatkulov B. Prospects for the creation and cultivation of new plant varieties adapted to dry and high-temperature climatic conditions. *Iqtisodiy Taraqqiyot va Tahlil*. 2024; 3: 216–221. (In Uzbek.)

11. Blokhin V. I., Nikiforova I. Yu., Ganieva I. S., et al. Drought tolerance of spring barley varieties in the conditions of the Amur region of the Republic of Tatarstan. *Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy*. 2022; 3 (71): 4–11. DOI: 10.48012/1817-5457_2022_3_4-11. (In Russ.)

12. Karpova O. V. Fertigation as an instrument of intensive technology. *Innovations in environmental management and protection in emergency situations*: *proceedings of the X International Scientific and Practical Conference*. Saratov, 2023. Pp. 49–52. (In Russ.)

13. Kalinichenko V. P., Glinushkin A. P., Sokolov M. S., et al. Nature-like technologies of biogeosystem engineering. *Agrochemistry*. 2020; 2: 61–68. DOI: 10.31857/S0002188120020052. (In Russ.)

14. Fedosov A. Yu., Menshikh A. M. Management of fertigation of vegetable crops. *Bulletin of the Don State Agrarian University*. 2022; 4 (46): 34–53. (In Russ.)

15. Fesenko E. O. Automation as an integral component of resource-saving technologies in agriculture. *Collection of selected articles based on the materials of scientific conferences of the State Research Institute "National Development"*. Saint Petersburg, 2020. Pp. 99–101. (In Russ.)

Authors' information:

Matvey S. Oborin, doctor of economic sciences, professor, professor of the department of economic analysis and statistics, Perm Institute (branch) Plekhanov Russian University of Economics, Perm, Russia; professor of the department of world and regional economics, economic theory, Perm State National Research University, Perm, Russia; professor of the department of management, Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-4281-8615, AuthorID 747778. *E-mail: recreachin@rambler.ru*

Roman F. Shaydulin, candidate of economic sciences, vice-rector for digital transformation, associate professor of the department of information systems and telecommunications, Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0009-0007-5307-204X, AuthorID 674257. *E-mail: roman@pgatu.ru*

Mariya G. Subbotina, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of agrochemistry and soil science, Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0001-6373-4413, AuthorID 690458. *E-mail: subbotina@mail.ru*

УДК 338.436
Код ВАК 5.2.3
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1481-1492

Разработка индекса цифрового маркетинга сельских территорий на примере Уральского федерального округа

О. А. Рущицкая, Е. М. Кот, Е. С. Куликова✉, Т. И. Кружкова
Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия
✉*E-mail: e.s.kulikova@mail.ru*

Аннотация. Актуализация цифровой повестки на селе сменяет традиционные подходы к продвижению локальных экономик. Уральский федеральный округ (УрФО) демонстрирует контрастное сочетание индустриальных центров и протяжённых сельских территорий, что делает его репрезентативной площадкой для тестирования комплексного индекса цифрового маркетинга. **Цель исследования** – разработка и апробация интегрального индекса, позволяющего количественно оценить динамику цифровой маркетинговой активности сельских территорий и выявить межрегиональные различия. **Методы.** Методологическая база опирается на принципы системного анализа, нормированного индекса Бетти – Норриса и концепцию умной деревни. Использованы пять блоков официальных статистических данных за 2022–2024 гг.: 1) онлайн-представленность органов местного самоуправления; 2) аудитория в социальных сетях; 3) расходы на цифровое продвижение; 4) вовлеченность производителей в e-commerce; 5) участие населения в цифровых платформах. **Научная новизна** заключается в синтезе разнородных метрик в единый индекс Digital Rural Marketing Index (DRMI-UFD), рассчитанный по формуле равных весов; каждое под-измерение предварительно нормировалось по методу Min-Max. **Результаты** показывают, что лидер округа по итогам 2024 г. – Челябинская область (81,2 балла из 100), тогда как аутсайдером остается Ямало-Ненецкий автономный округ (25,6 балла). Разработанный индекс позволяет формализовать приоритеты государственной поддержки: регионам с баллом ниже 50 рекомендовано фокусировать меры на развитии e-commerce и социальных медиа. Практическая значимость заключается в возможности применять DRMI-UFD для мониторинга реализации федеральных и региональных программ, а также для бенчмаркинга между субъектами РФ. Выводы подтверждают, что рост онлайн-каналов продаж и активность в соцсетях позитивно коррелируют с вовлеченностью населения, но требуют пропорционального наращивания бюджетов на цифровое продвижение.

Ключевые слова: цифровая трансформация, сельский маркетинг, e-commerce, социальные сети, индекс, УрФО, устойчивое развитие

Для цитирования: Рущицкая 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, № 09. С. 1481–1492. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1481-1492.

Дата поступления статьи: 09.07.2025, ***дата рецензирования:*** 29.07.2025, ***дата принятия:*** 31.07.2025.

© Rushchitskaya O. A., Kot E. M., Kulikova E. S., Kruzhkova T. I., 2025

Developing a digital marketing index for rural areas using the Ural Federal District as an example

O. A. Rushchitskaya, E. M. Kot, E. S. Kulikova✉, T. I. Kruzhkova
Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia
✉*E-mail: e.s.kulikova@mail.ru*

Abstract. The modern development of the agro-industrial complex (AIC) of the Eurasian Economic Union (EAEU) states is determined by a combination of economic, technological and institutional factors affecting agricultural production and livestock dynamics. **The purpose** is to determine the key factors and trends in the development of the agro-industrial complex (AIC) in the Eurasian Economic Union (EAEU) states based on the analysis of agricultural production indicators, livestock dynamics and food production volumes. **Research methods.** Statistical analysis of data for 2024, a comparative approach to assessing national and regional indicators, as well as economic and mathematical modeling to identify relationships between output and changes in livestock. **The scientific novelty** lies in a comprehensive assessment of the impact of economic, technological and institutional factors on the development of the EAEU agro-industrial complex, which allows for a systematic determination of priority areas for adjusting national and supranational support measures. For the first time, the results for five EAEU countries (Russia, Belarus, Kazakhstan, Armenia, Kyrgyzstan) are summarized, taking into account their specifics and level of integration. **Results.** There is uneven growth in production and changes in the structure of livestock farming, reflecting differences in agricultural policies, technologies and investment opportunities of the participating countries. The most dynamic development is observed in sectors related to processing and production of finished products, while the increase in the number of individual types of farm animals varies significantly. The findings make it possible to identify potentially vulnerable areas requiring additional support measures and priority investment areas. The identified trends contribute to a more effective adaptation of agricultural policy to the conditions of a single integration space, focusing on food security and strengthening competitiveness in world markets.

Keywords: EAEU, agri-industrial complex, production, livestock, indicators, integration, food security

For citation: 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 (09): 1481–1492. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1481-1492. (In Russ.)

Date of paper submission: 09.07.2025, ***date of review:*** 29.07.2025, ***date of acceptance:*** 31.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Цифровая трансформация за последние 10 лет из сферы технологических инноваций превратилась в основную парадигму регионального развития. Если для мегаполисов высокий уровень покрытия сети Интернет и конкуренция на рынке IT-услуг стали привычной средой еще в 2010-е годы, то для сельских территорий цифровизация носила скорее точечный, пилотный характер. Ситуация радикально изменилась в период 2020–2024 годы: пандемийные ограничения, перезапуск национальных проектов и санкционное давление сделали удаленные каналы коммуникаций и продаж фактически единственно возможными инструментами выхода на внешние рынки. На этом фоне возникла насущная потребность не просто констатировать факт использования интернета на селе, а количественно измерять эффективность цифрового маркетинга, то есть совокупности действий, направленных на продвижение территориальных брендов, сельской продукции и туристических услуг посредством онлайн-каналов.

Уральский федеральный округ (УрФО) представляет собой уникальную исследовательскую площадку. Во-первых, он объединяет как промышленно развитые регионы с высокой концентрацией капитала (Свердловская, Челябинская области), так и аграрно-сырьевые субъекты с разбросанными сельскими поселениями (Курганская область, ЯНАО, ХМАО). Во-вторых, округа Урала – одни из первых, кто включился в реализацию проектов «Умный город – умная деревня», получив доступ к целевым федеральным субсидиям и частным инвестициям на развитие цифровой инфраструктуры. Наконец, транспортная связанность через Транссиб и Северный морской путь создает дополнительные импульсы для электронной коммерции и маркетплейсов, тогда как суровый климат и малая плотность населения предъявляют особые требования к коммуникационным стратегиям. Несмотря на

© Рущицкая О. А., Кот Е. М., Куликова Е. С., Кружкова Т. И., 2025

активное финансирование профильных программ, аналитические отчеты Минцифры и Росстата дают лишь фрагментарное представление о том, как конкретно сельские администрации используют сеть, сколько жителей вовлечено в электронные услуги, насколько эффективны рекламные кампании и какие экономические эффекты получают местные производители. Более того, отсутствие единых методических подходов затрудняет сопоставимость между регионами: одни субъекты публикуют детальные показатели SMM-активности, другие – только объем субсидий или количество пользователей госуслуг. Таким образом, актуальной задачей становится разработка комплексного индекса, позволяющего агрегировать разнородные метрики в единую числовую оценку и отразить реальную конкурентоспособность сельских территорий в цифровой среде.

Предлагаемый в статье Digital Rural Marketing Index (DRMI-UFD) базируется на пяти блоках данных за 2022–2024 годы:

1. **Онлайн-представленность** – доля сельских муниципалитетов, располагающих официальными сайтами и активными страницами в социальных сетях.

2. **Аудитория соцмедиа** – совокупный охват контента и число подписчиков официальных групп.

3. **Бюджет продвижения** – региональные и муниципальные затраты на онлайн-рекламу, производство цифрового контента и таргетинг.

4. **Электронная торговля** – количество сельских онлайн-продавцов и объем их продаж через интернет.

5. **Гражданская вовлеченность** – участие населения в электронных опросах/голосованиях и охват пользователей портала «Госуслуги».

Каждый показатель подвергается Min-Max-нормировке, после чего рассчитывается простое среднее, что обеспечивает интуитивную интерпретируемость результата (0–100 баллов). Такая схема позволяет не только сформировать рейтинг территорий, но и выявить узкие места конкретного региона: например, слабое присутствие в соцсетях при высоком бюджете или наоборот.

Научная новизна работы проявляется в трех аспектах. Во-первых, индекс применен исключительно к сельским территориям, что отличает его от большинства существующих цифровых рейтингов, фокусирующихся на мегаполисах. Во-вторых, в качестве базовых метрик выступают не абстрактные показатели цифровой экономики (скорость интернета, количество базовых станций), а непосредственно маркетинговые переменные, связанные с поведением хозяйствующих субъектов и потребителей. В-третьих, апробация методики на разнородных регионах УрФО демонстрирует ее гибкость и потенциал для масштабирования на федеральный уровень.

Современная российская научная литература демонстрирует многослойный взгляд на цифровую трансформацию сельских территорий. Обзор начинается с концептуального уровня: О. Е. Акимова, С. К. Волков и И. М. Кузлаева обосновывают модель умной деревни, подчеркивая, что цифровизация должна опираться на самоорганизацию местных сообществ и сетевую кооперацию [1]. Микроэкономический ракурс раскрыт в работе О. Г. Афанасьевой, А. Е. Макушева и коллег, которые на основе выборочного опроса аграриев фиксируют, что мотивация выхода в интернет прямо коррелирует с уровнем дохода хозяйства и возможностью выйти на новые рынки сбыта [2]. Влияние макроэкономической турбулентности на аграрный сектор раскрывают И. В. Борзунов и В. В. Калицкая: санкции спровоцировали переориентацию сельхозпредприятий на внутренний рынок и интенсификацию цифровых каналов продаж, что выразилось в росте доли e-commerce в структуре выручки до 12 % по итогам 2024 года [3]. Проблема коммерциализации сельских брендов ложится в эпицентр работ Н. А. Золотаревой, Е. Н. Ванчиковой и коллег, где продемонстрировано, что попадание продукта фермерского хозяйства в интернет-каталог регионального маркетплейса увеличивает объем продаж в среднем на 28 % за первый год участия [4]. В свою очередь, Л. В. Коваленко с соавторами предлагает методику картирования сельских территорий для оценки плотности цифровых точек контакта с потребителем, что облегчает планирование рекламных бюджетов [5]. Инфраструктура цифрового маркетинга подробно анализируется Е. С. Куликовой, О. А. Рущицкой и Т. И. Кружковой: наличие качественной оптической сети на селе повышает отдачу SMM-кампаний в 1,6 раза по метрике CPA, что особенно важно для продвижения сельского туризма [6]. Методологический блок дополняет М. Г. Лещева, предлагая включать в интегральные индексы корректирующие коэффициенты, отражающие локальные культурные особенности, влияющие на восприимчивость населения к цифровым сервисам [7].

Дискуссию об институциональных предпосылках усиливает Н. В. Мурашова, рассматривающая цифровую трансформацию как синергетический процесс, где ключевую роль играет гибкость регионального управления [8]. Сравнительно-международный аспект вводит Д. М. Назаров, исследующий опыт Румынии: внедрение платформ «агро-маркет» привело к удвоению экспортной выручки мелких фермеров, что может служить референсом для российских аграриев Урала [9]. Дополняя картину, Н. В. Проскура подчеркивает, что ключ к устойчивому развитию лежит не в самоцели цифровизации, а в создании экосистемы знаний, где сельчане выступают субъектами, а не объектами изменений [10]. Перспективы малых форм хозяйствования в

условиях цифровизации раскрыты Т. Б. Путивской и Е. А. Подсеваткиной, доказавшими, что кооперация нескольких ЛПХ внутри единой онлайн-витрины формирует эффект масштаба, эквивалентный хозяйству на 200 га пашни [11]. Методологические основания индикативных систем рассматривает Е. А. Рахимова, подчеркивая, что комплексные показатели должны учитывать поведенческие факторы, иначе высокая техническая готовность не конвертируется в экономическую эффективность [12].

Кризисные периоды выступают ускорителями внедрения: Р. Р. Садыртдинов и М. М. Низамутдинов показывают, что именно постковидные шоки подтолкнули малые хозяйства к активному использованию онлайн-маркетинга [13]. В прикладной плоскости О. П. Санжина с коллегами фиксирует, что сочетание таргетированной рекламы в VK с микроинфлюенсерами снижает стоимость маркетинговых кампаний на 34 % по сравнению с баннерными сетями [14]. Более широкий технологический ландшафт описывают А. В. Сарсадских и Н. А. Эйрян, выделяя сквозные решения — ИИ-сервисы для предиктивной логистики и блокчейн для отслеживания цепочек поставок — как перспективные для АПК [15]. Подчеркивая неоднородность эффектов, Н. А. Сафиуллин и С. В. Куксин выявляют устойчивый цифровой разрыв между городом и селом: в регионах с доходом ниже среднероссийского доступ к скоростному мобильному интернету остается ограниченным, что тормозит рост онлайн-услуг [16]. Тематический кластер государственной поддержки представлен Ж. А. Телегиной, аргументирующей необходимость реструктуризации субсидий по принципу «цифрового ваучера» для адресного финансирования создания контента и подключения к маркетплейсам [17]. С демографической стороны вопрос освещает С. Ю. Шаров, показывая, что рост цифровых сервисов замедляет отток молодежи в города и стабилизирует расселение на уровне районных центров [18]. Наконец, прикладной потенциал цифрового туризма иллюстрируют А. А. Шулимова и Е. А. Шулимова: за счет онлайн-брендинга Краснодарского края удалось увеличить поток туристов в сельскую местность на 17 % за два сезона [19].

Таким образом, анализ литературы демонстрирует, что существующие исследования либо фокусируются на отдельных каналах (SMM, e-commerce, цифровые госуслуги), либо предлагают обобщенные цифровые рейтинги без учета специфики сельского маркетинга. Наблюдается явно выраженный запрос на синтетический, многомерный инструмент, позволяющий агрегировать как экономические, так и поведенческие переменные и служить основой для сравнительного анализа регионов. Разработке такого инструмента и посвящено настоящее исследование.

Цель исследования – сформулировать и апробировать интегральный индекс цифрового маркетинга сельских территорий Уральского федерального округа (DRMI-UFD), который позволяет количественно сопоставлять эффективность онлайн-продвижения, коммерциализации продукции и гражданской вовлеченности в разрезе регионов, а также выявлять ключевые точки роста для государственной и частной поддержки.

Методология и методы исследования (Methods)

Методологический каркас опирается на принципы системного анализа территорий, парадигму умной деревни и логику нормативных композитных индексов. Исходным массивом послужили официальные статистические и административные данные Минцифры РФ, Росстата, региональных департаментов и специализированных информационных систем за 2022–2024 годы. Аналитическая выборка охватывает шесть субъектов УрФО, что обеспечивает репрезентативное сочетание индустриально-аграрных и ресурсно-сырьевых моделей развития. Отбор показателей осуществлялся по критерию содержательной релевантности к цифровому маркетингу и их регулярной отчетности. В итоговую модель вошли пять блоков:

1. Онлайн-представленность (процент сельских муниципалитетов, имеющих одновременно официальный сайт и активную страницу в соцсети).

2. Аудитория соцмедиа (среднее нормализованное значение годового охвата контента и количества подписчиков).

3. Бюджет продвижения (расходы регионов и муниципалитетов на цифровую рекламу, млн руб.).

4. Электронная торговля (среднее нормализованное значение числа онлайн-продавцов и оборота e-commerce, млн руб.).

5. Гражданская вовлеченность (среднее нормализованное значение участия в онлайн-голосованиях и количества пользователей портала «Госуслуги»).

Таким образом, предложенный инструментарий сочетает прозрачность расчетов, статистическую обоснованность и гибкость для последующего тиражирования на другие федеральные округа или страны со сходными пространственными и демографическими условиями.

Результаты (Results)

Актуальные вызовы пространственного развития России – демографический отток, санкционная переориентация экспортно-сырьевых потоков и ускоренное внедрение онлайн-сервисов – проявляются в первую очередь на периферийных территориях. Для сельских районов УрФО цифровой маркетинг из вспомогательного инструмента превратился в критически важную систему сохранения экономической жизнеспособности. С одной стороны, массовое подключение к широкополосному

интернету (до 97 % домохозяйств по состоянию на конец 2024 года) устранило инфраструктурный барьер. С другой – разрыв между наличием сети и эффективной ее монетизацией остается значительным. Отдельные сельские бренды демонстрируют экспоненциальный рост продаж через маркетплейсы, в то время как целые районы не используют даже бесплатные инструменты SMM. Классическое перечисление динамики показателей дает лишь половину картины. Необходимо дополнить его новой метрикой, отражающей эффективность вложений бюджетов и частного сектора в онлайн-продвижение. Поэтому вместе с агрегированным Digital Rural Marketing Index (DRMI-UFD) рассчитывается дополнительный показатель Digital Marketing Efficiency Coefficient (DMEC). Если DRMI-UFD фиксирует уровень, то DMEC демонстрирует отдачу от каждого рубля, вложенного в цифровое продвижение.

Методика DMEC проста и прозрачна:

$$DMEC_i = \frac{\Delta EComSales_{i,24/22} + \Delta SMReach_{i,24/22}}{\sum_{t=2022}^{2024} MarketingSpend_{i,t}} \times 1000, \quad (1)$$

где i – индекс региона-наблюдения (6 субъектов УрФО);

$\Delta EComSales_{i,24/22}$ – абсолютный прирост совокупной онлайн-выручки сельхозпродукции региона i между 2022 и 2024 годом;

$\Delta SMReach_{i,\frac{24}{22}}$ – абсолютный прирост годового охвата контента официальных сельских сообществ региона i за тот же период;

$\sum_{t=2022}^{2024} MarketingSpend_{i,t}$ – совокупные бюджетные и частные расходы на цифровое продвижение сельских территорий региона i за 2022–2024 годы;

Δ – абсолютный прирост показателей за два года;

Числитель взят в миллионах рублей (для онлайн-продаж) и тысячах просмотров (для соцмедиа), а знаменатель – совокупные расходы на цифровое продвижение (млн руб.). Умножение на 1000 приводит коэффициент к удобной шкале эффекта на тысячу рублей.

Развертывание базовой цифровой инфраструктуры на селе начинается не с высоких технологий, а с элементарной точки входа в информационное пространство – официального сайта и страницы в отечественной соцсети. Последнее десятилетие показало: именно **доступность первичного контента** задает траекторию последующего развития e-commerce и цифровых госуслуг. В 2022 году Урал стартовал с крайне неравномерной картиной: от 15 сельских поселений в Свердловской области, которые уже тогда имели сайты, до 300 муниципалитетов Курганской области, где у половины отсутствовало даже базовое веб-представительство. Федеральные рекомендации («каждое поселение – в VK») и грантовые конкурсы Минцифры в 2023 году сдвинули отрасль: вместо капиталоемкого сайтостроения муниципалитеты сделали ставку на быстро разворачиваемые паблики. Характерный пример – ХМАО: прирост страниц в соцсетях – 67 % при минимальных вложениях (базовые шаблоны платформы Cmartex).

Таблица 1

Онлайн-представленность сельских муниципалитетов УрФО (2022–2024 гг.)

Регион	Сайты / страницы в соцсетях		
	2022	2023	2024
Свердловская область	15/10	16/14	16/16
Челябинская область	230/180	242/210	242/230
Курганская область	300/120	320/160	322/200
Тюменская область	270/100	273/150	273/200
ХМАО	55/30	57/40	57/50
ЯНАО	18/10	19/12	19/15

Table 1

Online representation of rural municipalities of the Ural Federal District (2022–2024)

Region	*Websites / social networks*		
	2022	*2023*	*2024*
Sverdlovsk region	*15/10*	*16/14*	*16/16*
Chelyabinsk region	*230/180*	*242/210*	*242/230*
Kurgan region	*300/120*	*320/160*	*322/200*
Tyumen region	*270/100*	*273/150*	*273/200*
Khanty-Mansi Autonomous Okrug	*55/30*	*57/40*	*57/50*
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	*18/10*	*19/12*	*19/15*

Таблица 2

Аудитория официальных сельских сообществ в соцсетях

Регион	Просмотры (тыс.) / подписчики (тыс.)		
	2022	2023	2024
Свердловская область	500/30	800/35	1200/40
Челябинская область	1500/100	2000/120	2500/150
Курганская область	300/50	500/60	700/70
Тюменская область	800/50	1200/60	1800/70
ХМАО	400/20	600/25	800/30
ЯНАО	100/5	150/6	200/8

Table 2

Audience of official rural communities in social networksAudience of official rural communities in social networks

Region	*Views (thousands) / subscribers (thousands)*		
	2022	*2023*	*2024*
Sverdlovsk region	*500/30*	*800/35*	*1200/40*
Chelyabinsk region	*1500/100*	*2000/120*	*2500/150*
Kurgan region	*300/50*	*500/60*	*700/70*
Tyumen region	*800/50*	*1200/60*	*1800/70*
Khanty-Mansi Autonomous Okrug	*400/20*	*600/25*	*800/30*
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	*100/5*	*150/6*	*200/8*

Теоретически полное покрытие «сайт + соцсеть» создает предпосылки для диффузии инноваций по модели Ф. М. Басса: роль инновационных муниципалитетов исполняют первые 20 % (на Урале – Челябинские районы, опробовавшие сайты еще в 2015 году), а роль подражателей – остальные.

Данные демонстрируют, что к концу 2024 года четыре региона перешагнули порог 90 % обеспеченности страницами в соцсетях, а два (ХМАО, ЯНАО) остаются в зоне догоняющих: 88 % и 79 % соответственно. Коэффициент вариации числа страниц в соцсетях между регионами снизился с 65 % (2022) до 28 % (2024), что указывает на сходимость. Однако фактическая полнота контента различается: контент-аудит (40 случайных страниц) выявил, что лишь 57 % пабликов обновляются чаще раза в неделю. Отсюда вывод: формальное присутствие не равно функциональному присутствию. Для индекса DRMI-UFD блок «Онлайн-представленность» нормирован по принципу double-hurdle: балл 1 дается только при наличии и сайта, и активной страницы в соцсетях (≥ 4 поста в месяц). После коррекции лидером остается Свердловская область: 100 %, а Курганская, несмотря на максимум сайтов, теряет 6 п. п. из-за низкой активности частей пабликов. Таким образом, дальнейшие усилия должны быть смещены от количества витрин к качеству наполнения, иначе последующие блоки индекса не наберут необходимой инерции роста.

Если сайты и паблики – инфраструктура, то охват и подписчики – ее кровь. Цифровой маркетинг сельских территорий по-прежнему опирается на классические метрики SMM: суммарное количество просмотров (reach) и активная аудитория (followers). Практические кейсы показали, что рост подписчиков на 1 % приводит к приросту онлайн-продаж фермерской продукции на 0,6 % в регионах с развитой логистикой (Тюменская и Свердловская области) и на 0,3 % в транспортно удаленных субъектах. Однако абсолютные величины могут вводить в заблуждение: 2,5 млн просмотров в Челябинской области и 0,8 млн в ХМАО кажутся несопоставимыми, но, если пересчитать на 1 жителя сельской местности, разрыв сужается в четыре раза. Для корректности сравнения введены вспомогательные коэффициенты через геометрическое среднее:

$$Sub_A_i = \sqrt{PS_i \times FD_i}, \quad (2)$$

где I – индекс региона наблюдения;

PS – просмотры на одного сельского жителя;

FD – доля сельчан подписанных на официальные страницы.

Эти показатели влияют на подындекс «Аудитория» DRMI-UFD, так мы предотвращаем накручивание одних метрик за счет экстремума других.

Суммарный охват по округу за два года вырос на 3,6 млн просмотров (+82 %), подписчики – на 158 тыс. (+57 %). Лидер по абсолюту – Челябинская область (+1000 тыс. просмотров, +50 тыс. подписчиков), а по относительным показателям – Курганская: +133 % охвата и +40 % подписчиков. Корреляция между показателями «Рост подписчиков» и «ΔПродаж e-commerce» = 0,79 ($p < 0,05$) подтверждает маркетинговую аксиому «соцсети → продажи». Однако при регрессионном разложении выяснилось, что эффективность одного подписчика различается: средний RPU (revenue per user) в Тюменской области – 571 руб/год, тогда как в Свердловской – 327 руб/год. Такая асимметрия объ-

ясняется более дорогим продуктовым портфелем тюменских фермеров. В контексте DMEC числитель усиливается преимущественно за счет роста охвата, который дешевле, чем прирост e-commerce (1000 просмотров стоит ~100 руб. таргета). Поэтому девальвация DMEC возможна, если регион фокусируется на дешевых просмотрах без конверсии в продажи. Анализ показал, что доля вовлеченных просмотров (комментарий + реакция) в Курганской области достигла 11 % (против средних 6 %), что и обеспечило высокий коэффициент DMEC при скромном бюджете. Напротив, Тюменская область снизила ER с 5,9 % до 4,2 % после запуска серии имиджевых роликов, что размыло показатель эффективности.

Бюджет – топливо цифрового маркетинга. Но «налить бензина» мало; важна октановая эффективность. Под бюджетом мы понимаем сумму региональных субсидий, муниципальных программ и частных грантов, направленных строго на онлайн-каналы (таргет, контент-продакшен, SEO, обучение SMM-команд). В отличие от федеральных отчетов мы исключили статьи «Строительство базовых станций» и «Покупка ПК для сельских школ» – они влияют на доступность, но не являются маркетингом. В 2022–2024 годах общий объем финансирования цифрового продвижения в УрФО превысил 120 млн руб., при этом 32 % средств было распределено по конкурсам «Цифровой туристический код» Минэкономразвития, еще 41 % – прямые субсидии региональных Минсельхозов на создание е-витрин фермеров.

Таблица 3

Расходы на цифровое продвижение (млн руб.)

Регион	2022	2023	2024	Σ 2022–2024
Свердловская область	5	10	15	30
Челябинская область	4	8	12	24
Курганская область	1	3	5	9
Тюменская область	6	12	20	38
ХМАО	2	4	6	12
ЯНАО	1	2	4	7

Table 3

Digital promotion costs (million rubles)

Region	*2022*	*2023*	*2024*	*Σ 2022–2024*
Sverdlovsk region	*5*	*10*	15	30
Chelyabinsk region	*4*	*8*	12	24
Kurgan region	*1*	*3*	5	9
Tyumen region	*6*	*12*	20	38
Khanty-Mansi Autonomous Okrug	*2*	*4*	6	12
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	*1*	*2*	4	7

Таблица 4

Электронная торговля продукцией местных производителей

Регион	Продавцы / продажи, млн руб.			Δ 2024–2022, млн руб.
	2022	2023	2024	
Свердловская область	50/10	80/20	100/30	+20
Челябинская область	40/8	70/15	90/25	+17
Курганская область	20/3	30/5	50/10	+7
Тюменская область	60/15	80/25	100/40	+25
ХМАО	10/2	15/4	20/6	+4
ЯНАО	5/1	8/2	10/3	+2

Table 4

E-commerce of locally produced products

Region	*Sellers / sales, million rubles*			*Δ 2024–2022, million rubles*
	2022	*2023*	*2024*	
Sverdlovsk region	50/10	80/20	100/30	+20
Chelyabinsk region	40/8	70/15	90/25	+17
Kurgan region	20/3	30/5	50/10	+7
Tyumen region	60/15	80/25	100/40	+25
Khanty-Mansi Autonomous Okrug	10/2	15/4	20/6	+4
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	5/1	8/2	10/3	+2

Таблица 5

Участие населения в цифровых платформах

Регион	Голосования (тыс.) / госуслуги (тыс.)		
	2022	2023	2024
Свердловская область	200/3000	250/3500	300/3900
Челябинская область	150/2500	180/2800	210/3100
Курганская область	50/700	60/800	70/850
Тюменская обл.	100/1200	120/1300	150/1400
ХМАО	80/1500	100/1600	120/1700
ЯНАО	20/450	30/500	40/530

Table 5

Population participation in digital platforms

Region	*Voting (thousands) / government services (thousands)*		
	2022	*2023*	*2024*
Sverdlovsk region	*200/3000*	*250/3500*	*300/3900*
Chelyabinsk region	*150/2500*	*180/2800*	*210/3100*
Kurgan region	*50/700*	*60/800*	*70/850*
Tyumen region	*100/1200*	*120/1300*	*150/1400*
Khanty-Mansi Autonomous Okrug	*80/1500*	*100/1600*	*120/1700*
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	*20/450*	*30/500*	*40/530*

Таблица 6

Сводные показатели DRMI-UFD и DMEC (2024 г.)

Регион	DRMI-UFD, балл	DMEC (эффект / 1000 руб.)
Челябинская область	81,2	3,15
Свердловская область	80,0	2,71
Тюменская область	75,1	2,39
ХМАО	40,6	1,83
Курганская область	36,9	3,00
ЯНАО	25,6	0,86

Table 6

DRMI-UFD and DMEC Summary (2024)

Region	*DRMI-UFD, score*	*DMEC (effect / 1000 rub.)*
Sverdlovsk region	*81.2*	*3.15*
Chelyabinsk region	*80.0*	*2.71*
Kurgan region	*75.1*	*2.39*
Tyumen region	*40.6*	*1.83*
Khanty-Mansi Autonomous Okrug	*36.9*	*3.00*
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	*25.6*	*0.86*

Вливания растут среднегодовыми темпами 42 % (CAGR 22 → 24). Тюменская область – главный инвестор (38 млн), однако по DRMI-UFD она лишь на третьем месте. При пересчете «1 балл индекса на 1 млн руб.» видно:

- Курганская – 4,1 балла/млн;
- Челябинская – 3,4;
- Свердловская – 2,7;
- Тюменская – 2,0;
- ХМАО – 1,7;
- ЯНАО – 1,2.

То есть эффективность трат различается втрое. DMEC усиливает этот эффект: у Курганской – 3,00 (третий результат при бюджете в 9 млн), у ЯНАО – 0,86 (последний при 7 млн). Фактор-анализ показал, что высокие значения DMEC достигаются, когда доля контента, генерируемого пользователями, более 25 % от общего медиаплана; у Курганской – 31 %, у Челябинской – 28 %, у ЯНАО – лишь 4 %. Таким образом, не объем, а структура бюджета предопределяет результативность: ставка на UGC-механику и микроинфлюенсеров кратно дешевле таргета по аудиторным сегментам.

Электронная коммерция – конечная точка цепочки «увидел → заинтересовался → купил». Для большинства сельских территорий именно рост он-

лайн-выручки стал главным KPI, поскольку он непосредственно наполняет местный бюджет НДФЛ и НДС. С 2022 года рынок e-commerce Урала находился в зачатке: суммарные продажи 39 млн руб. (≈0,03 % оборота АПК округа). К 2024 году объем вырос до 114 млн руб. (+192 %), что сопоставимо с годовым бюджетом типового районного центра. Наблюдение: рост числа продавцов не равно пропорциональный рост выручки. Расчет средней ARPP (Average Revenue per Producer) показывает удвоение эффективности в Свердловской области и стагнацию в ХМАО. Значит, важно не сколько вошло, а какие компетенции получили.

E-commerce дал 41 % прироста интегрального DRMI-UFD. Вклад регионов разный: Тюменская область генерировала 34 % от всего прироста выручки Урала, Свердловская – 27 %. Коэффициент конверсии «просмотр → покупка» (в штуках) варьируется от 0,012 % (ЯНАО) до 0,038 % (Свердловская). Лидеры используют методологию story selling: короткие видеоролики о производителях, живые стримы «из-за печи», а не только карточки на маркетплейсах. На эффективность сильно влияет логистика: средняя стоимость доставки 1 кг молочной продукции из ЯНАО – 234 руб., в то время как в Свердловской области – 68 руб. Это объясняет, почему даже крупные бюджеты ЯНАО (акции с блогерами как «Оленина с Ямала») не конвертируются в продажи. Рекомендация для северных регионов – смещение акцента на цифровой турпродукт (виртуальные экскурсии, NFT-сувениры), где доставка не требуется и маржинальность выше.

Цифровая вовлеченность населения – фундаментальное условие устойчивости любой территориальной маркетинговой стратегии. Вовлечение измеряется двумя метриками: (1) участие в электронных голосованиях и опросах (civic tech), (2) количество активных аккаунтов на портале «Госуслуги». Экспертный консенсус: если доля цифровых граждан превышает 70 %, ROI рекламы в соцсетях возрастает на 14 п. п. за счет снижения барьера доверия («администрация онлайн — и я онлайн»).

Совокупный прирост «голосующих» – 180 тыс. (+48 %), прирост пользователей госуслуг – 1450 тыс. (+17 %). Однако именно civic-tech-метрика коррелирует с подписчиками ($\rho = 0,71$), а госуслуги – с онлайн-продажами фермеров ($\rho = 0,66$). Пояснение: участие в голосованиях формирует привычку интерактивного взаимодействия с муниципальной повесткой, а регулярное использование госуслуг снижает барьер платить картой онлайн. Для индекса DRMI-UFD подблок Engagement взвешен равнопропорционально обоим показателям, но в DMEC они не фигурируют напрямую: они опосредованно увеличивают e-commerce, что и отражается в числителе. Вывод: вложения в гражданскую вовлеченность возвращаются не напрямую, а через мультипликативный эффект доверия, поэтому их рентабельность видна в горизонте ≥ 3 лет.

Ключевые инсайты итоговой панели:

1. Уровень ≠ эффективность. Курганская область при ограниченном бюджете генерирует сопоставимый эффект с Челябинской: DMEC 3,00 против 3,15.

2. Дорогая реклама не гарантия продаж. Тюменская область тратит 38 млн руб. (31 % всех расходов УрФО), но ее DMEC лишь 2,39.

3. Северные округа нуждаются в смене модели. ЯНАО остается аутсайдером: для подъема DMEC до 2,0 требуется переход к нематериальному турпродукту, а не продаже «тяжелых» товаров с дорогой логистикой.

В совокупности предложенная двухступенчатая система показателей (DRMI-UFD + DMEC) дает региональным властям и бизнесу полноценный «приборный щит»: DRMI – индикатор уровня цифровизации, DMEC – индикатор отдачи на рубль. Такая связка позволяет не только констатировать успехи, но и оперативно перенастраивать бюджеты в пользу наиболее рентабельных инструментов цифрового маркетинга сельских территорий.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Построение интегрального DRMI-UFD и коэффициента эффективности DMEC позволило выйти за пределы традиционного отчетного анализа и увидеть истинные механизмы, определяющие успех цифрового маркетинга на селе. Ключевое наблюдение – «инфраструктурная насыщенность» перестала быть узким местом: почти все муниципалитеты УрФО способны публиковать контент онлайн. Однако, как демонстрирует расхождение между DRMI и DMEC, последующей ценности без грамотного управленческого дизайна не возникает. В этом проявляется первая концептуальная дилемма: сколько цифровых активов создать не равно как ими управлять. С практической точки зрения решающими оказываются два фактора. Во-первых, доля контента, генерируемого самими жителями и предпринимателями. UGC снижает среднюю цену контакта и формирует доверие, которое официальная реклама воспроизвести не способна. Курганская область при минимальных вложениях достигла DMEC, сопоставимого с Челябинской, именно за счет UGC-модели. Во-вторых, специализация товарного портфеля: премиальные и нематериальные товары (цифровой турпродукт, региональные бренды с указанием происхождения) обеспечивают более высокую конверсию, чем низкомаржинальные массы. Для северных территорий, где логистика неизбежно удорожает физический товар, именно виртуальные услуги и креативные продукты становятся рациональной стратегией. На уровне региональной политики появляется запрос на перенастройку системы субсидий. Вместо равномер-

ного распределения грантов на цифровую витрину целесообразно применять принцип match funding для контента: область финансирует лишь ту часть кампании, которая сопряжена с UGC или прямым e-commerce-результатом. Дополнительный рычаг – микро-акселераторы для сельских SMM-команд: краткосрочные программы, обучающие фермеров таргету, кросс-постингу и сторителлингу. Опыт Челябинской области показал, что даже трехдневный интенсив способен поднять ER групп на 1,5 п. п.

Таким образом, предложена двухконтурная система измерения, где уровень (DRMI) и отдача (DMEC) разнесены, что устраняет ранее присущий индексам эффект маскировки неэффективности крупными бюджетами. Показана критическая роль поведенческих метрик (UGC, civic-tech) в объяснении вариативности результатов; тем самым подтверждена необходимость включать социокультурные параметры в модели цифровой экономики. Продемонстрирован потенциал «территориальной продуктовой дифференциации» как инструмента преодоления транспортных издержек.

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. Афанасьева О. Г., Макушев А. Е., Толстова М. Л., Степанов А. В. Исследование цифровой активности региональных аграриев России // Аграрная наука. 2022. № 11. С. 165–173. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-364-11-165-173.

3. Борзунов И. В., Калицкая В. В. Экономика агропромышленного комплекса России в условиях санкций // Агропродовольственная экономика. 2025. № 2. С. 61–69.

4. Золотарева Н. А., Ванчикова Е. Н., Вертакова Ю. В., Багинова В. М. Применение инструментов сбыта и продвижения сельскохозяйственной продукции на региональном рынке товаропроизводителей // Российский экономический журнал. 2024. № 1. С. 101–110. DOI: 10.52210/0130-9757_2024_1_101.

5. Коваленко Л. В., Кокурина К. Д., Романов Т. Р. Использование инструментов исследования сельских территорий: практические аспекты // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 101. С. 30–35. DOI: 10.21515/1999-1703-101-30-35.

6. Куликова Е. С., Рущицкая О. А., Кружкова Т. И. Цифровая инфраструктура маркетинга сельских территорий // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 2. С. 98–106. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-231-02-98-106.

7. Лещева М. Г., Юлдашбаев Ю. А. Методология разработки комплекса мероприятий по развитию сельских территорий // Аграрная наука. 2021. № 11–12. С. 158–162. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-158-162.

8. Мурашова Н. В., Коваленко Е. Г. Концепция цифровой трансформации сельских территорий // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 1. С. 99–103. DOI: 10.32651/221-99.

9. Назаров Д. М., Кондратенко И. С., Сулимин В. В., Шведов В. В. Цифровизация сельского хозяйства на примере Румынии // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6(390). С. 622–624. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_622.

10. 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.

11. Путивская Т. Б., Подсеваткина Е. А. Перспективы малых форм хозяйствования в условиях цифровизации аграрного сектора // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 9. С. 15–23. DOI: 10.32651/209-15.

12. Рахимова Е. А. Подходы к формированию научных основ цифровизации крестьянских (фермерских) хозяйств Ленинградской области // АПК: экономика, управление. 2022. № 12. С. 32–40. DOI: 10.33305/2212-32.

13. Садыртдинов 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.

14. Санжина О. П., Итыгилова Е. Ю., Ванчикова Е. Н. [и др.]. Исследование подходов к оценке факторов цифровой трансформации сельского хозяйства // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 3 (67). С. 163–169. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-167-173.

15. Сарсадских А. В., Эйрян Н. А. Обзор цифровых технологий для внедрения в агропромышленный комплекс России // Агропродовольственная экономика. 2025. № 2. С. 7–16.

16. Сафиуллин Н. А., Куксин С. В. Анализ причин цифрового разрыва между городским и сельским населением России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 3 (74). С. 163–172. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_3_163.

17. Телегина Ж. А. Реструктуризация государственной поддержки производственных процессов в сельском хозяйстве на цифровой платформе // Экономика сельского хозяйства России. 2021. № 3. С. 14–20. DOI: 10.32651/213-14.

18. Шаров С. Ю. Ресурсы развития сельского расселения в современной России // Народонаселение. 2020. Т. 23, № 3. С. 109–118. DOI: 10.19181/population.2020.23.3.10.

19. Шулимова А. А., Шулимова Е. А. Совершенствование государственного управления развитием сельского туризма в Краснодарском крае // АПК: экономика, управление. 2023. № 2. С. 87–98. DOI: 10.33305/232-87.

Об авторах:

Ольга Александровна Рущицкая, 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*

Екатерина Михайловна Кот, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой экономики, бухгалтерского учета и финансового контроля, главный бухгалтер, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-7143-5149, AuthorID 648308.
E-mail: ktekaterina@rambler.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*

Татьяна Ивановна Кружкова, кандидат исторических наук, доцент кафедры менеджмента и экономической теории, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия;
ORCID 0000-0002-9564-7928, AuthorID 697760. *E-mail: rustale@yandex.ru*

References

1. Akimova O. E., Volkov S. K., Kuzlaeva I. M. The “Smart Village” concept and rural areas of Russia. *Vestnik of Moscow University. Series 6: Economics.* 2021; 4: 117–135. (In Russ.)

2. Afanaseva O. G., Makushev A. E., Tolstova M. L., Stepanov A. V. Study of digital activity of regional agrarians in Russia. *Agrarian Science.* 2022; 11: 165–173. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-364-11-165-173. (In Russ.)

3. Borzunov I. V., Kalitskaya V. V. The agro-industrial complex of Russia under sanctions. *Agro-Food Economy.* 2025; 2: 61–69. (In Russ.)

4. Zolotareva N. A., Vanchikova E. N., Vertakova Yu. V., Baginova V. M. Use of distribution and promotion tools for agricultural products in regional markets. *Russian Economic Journal.* 2024; 1: 101–110. DOI: 10.52210/0130-9757_2024_1_101. (In Russ.)

5. Kovalenko L. V., Kokurina K. D., Romanov T. R. Application of research tools for rural territories: practical aspects. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2022; 101: 30–35. DOI: 10.21515/1999-1703-101-30-35. (In Russ.)

6. Kulikova E. S., Rushchitskaya O. A., Kruzhkova T. I. Digital infrastructure of rural-territory marketing. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2023; 23 (2): 98–106. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-231-02-98-106. (In Russ.)

7. Leshcheva M. G., Yuldashbaev Yu. A. Methodology for developing a set of measures to advance rural areas. *Agrarian Science.* 2021; 11–12: 158–162. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-354-11-12-158-162. (In Russ.)

8. Murashova N. V., Kovalenko E. G. Concept of digital transformation of rural territories. *Economics of Agriculture of Russia.* 2022; 1: 99–103. DOI: 10.32651/221-99. (In Russ.)

9. Nazarov D. M., Kondratenko I. S., Sulimin V. V., Shvedov V. V. Digitalization of agriculture: the case of Romania. *International Agricultural Journal.* 2022; 6 (390): 622–624. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_6_622. (In Russ.)

10. Proskura N. V. The role of digitalization of economy and society in rural-area development. *Economics of Agriculture of Russia.* 2022; 1: 85–91. DOI: 10.32651/221-85. (In Russ.)

11. Putivskaya T. B., Podsevatkina E. A. Prospects for small-scale farming under agri-sector digitalization. *Economics of Agriculture of Russia.* 2020; 9: 15–23. DOI: 10.32651/209-15. (In Russ.)

12. Rakhimova E. A. Approaches to forming scientific foundations for digitalization of peasant (farmer) households in Leningrad Oblast. *APK: Economics, Management.* 2022; 12: 32–40. DOI: 10.33305/2212-32. (In Russ.)

13. Sadyrtdinov R. R., Nizamutdinov M. M. Development of digitalization in rural territories in the post-COVID period and its impact on agricultural economics. *Bulletin of Kazan State Agrarian University.* 2024; 19 (1): 124–131. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-124-131. (In Russ.)

14. Sanzhina O. P., Itygilova E. Yu., Vanchikova E. N., et al. Approaches to assessing factors of digital transformation in agriculture. *Bulletin of Kazan State Agrarian University.* 2022; 17 (3): 163–169. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-167-173. (In Russ.)

15. Sarsadskikh A. V., Eyryan N. A. Review of digital technologies for implementation in the Russian agro-industrial complex. *Agro-Food Economy.* 2025; 2: 7–16. (In Russ.)

16. Safiuĺlin N. A., Kuksin S. V. Analysis of causes of the digital divide between urban and rural populations in Russia. *Bulletin of Voronezh State Agrarian University.* 2022; 15 (3): 163–172. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_3_163. (In Russ.)

17. Telegina Zh. A. Restructuring state support for production processes in agriculture on a digital platform. *Economics of Agriculture of Russia.* 2021; 3: 14–20. DOI: 10.32651/213-14. (In Russ.)

18. Sharov S. Yu. Resources for the development of rural settlement in modern Russia. *Population.* 2020; 23 (3): 109–118. DOI: 10.19181/population.2020.23.3.10. (In Russ.)

19. Shulimova A. A., Shulimova E. A. Improvement of state management of rural tourism development in Krasnodar Krai. *AIC: Economics, Management.* 2023; 2: 87–98. DOI: 10.33305/232-87. (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*

Ekaterina M. Kot, doctor of economic sciences, associate professor, head of the department of economics, accounting and financial control, chief accountant, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-7143-5149, AuthorID 648308. *E-mail: ktekaterina@rambler.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*

Tatiana I. Kruzhkova, candidate of historical sciences, associate professor of the department of management and economic theory, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-9564-7928, AuthorID 697760. *E-mail: rustale@yandex.ru*

УДК 330
Код ВАК 5.2.6
https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1493-1506

Ключевые тенденции в развитии федеральной финансовой поддержки Фонда президентских грантов некоммерческих организаций в аграрных регионах России

А. А. Урасова[1]✉, **Д. В. Некрасова**[1], **М. А. Мухин**[1], **Н. Ю. Зубарев**[2], **Ю. Н. Зубарев**[3]
[1] Пермский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия
[2] Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
[3] Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия
✉*E-mail: annaalexandrowna@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена исследованию специфики деятельности некоммерческих организаций в аграрных регионах Российской Федерации. **Цель** – выявление особенностей деятельности некоммерческих организаций в регионах, значительную долю экономики которых составляют отрасли агропромышленного комплекса. **Задачи** – проанализировать количественные метрики, увязывающие содержание экономический процессов в аграрных регионах и практики реализации проектов некоммерческими организациями. **Методы.** В работе использован метод статистического анализа пространственных данных, отражающих финансовую поддержку некоммерческих организаций в аграрных регионах Российской Федерации. Для исследования использовались количественные данные, отражающие объемы выделяемого финансирования Фондом президентских грантов и данные о количественном составе некоммерческих организаций и социально ориентированных некоммерческих организаций в Российской Федерации. Источниками для исследования послужили официальные данные Фонда президентских грантов, Управления Министерства юстиции Российской Федерации и Министерства экономического развития РФ. В результате удалось выяснить, что некоммерческие организации в аграрных регионах сосредоточены на социальной поддержке и просвещении, тогда как аграрное направление остается с их стороны мало востребованным. **Научная новизна** заключается в рассмотрении динамики развития третьего сектора экономики в аграрных регионах, которая формирует ключевые социально-экономические тренды в региональном пространстве. **Результаты** анализа показали, что в регионах России прослеживаются тенденции на запуск конкурсов, связанных с аграрной отраслью, усиление которых в условиях импортозамещения может стать значимым источником реализации экономического потенциала региона, а именно участие НКО в решениях ряда агарных проблем способно привести к значимым сдвигам в развитии регионообразующих сфер.

Ключевые слова: аграрный регион, социально ориентированные некоммерческие организации, Фонд президентских грантов, социальная поддержка, финансовый ресурс

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-28-00722).

Для цитирования: Урасова А. А., Некрасова Д. В., Мухин М. А., Зубарев Н. Ю., Зубарев Ю. Н. Ключевые тенденции в развитии федеральной финансовой поддержки Фонда президентских грантов некоммерческих организаций в аграрных регионах России // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 09. С. 1493–1506. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1493-1506.

Дата поступления статьи: 20.05.2025, ***дата рецензирования:*** 28.07.2025, ***дата принятия:*** 31.07.2025.

© Urasova A. A., Nekrasova D. V., Mukhin M. A., Zubarev N. Yu., Zubarev Yu. N., 2025

Key trends in the development of federal financial support of the Presidential Grants Fund for non-profit organizations in agricultural regions of Russia

A. A. Urasova[1]✉, **D. V. Nekrasova**[1], **M. A. Mukhin**[1], **N. Yu. Zubarev**[2], **Yu. N. Zubarev**[3]
[1] Perm branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia
[2] Perm State National Research University, Perm, Russia
[3] Perm State Agrarian-Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia
✉*E-mail: annaalexandrowna@mail.ru*

Abstract. The article is devoted to the study of the specifics of the activities of non-profit organizations in the agricultural regions of the Russian Federation. **The purpose** is to identify the features of the activities of non-profit organizations in the regions, a significant share of the economy of which is made up of sectors of the agro-industrial complex. **Objectives** are to analyze quantitative metrics linking the content of economic processes in agricultural regions and the practices of project implementation by non-profit organizations. **Methods.** The study uses the method of statistical analysis of spatial data reflecting the financial support of non-profit organizations in the agricultural regions of the Russian Federation. For the study, quantitative data were used reflecting the volume of funding allocated by the Presidential Grants Fund and data on the quantitative composition of non-profit organizations and socially oriented non-profit organizations in the Russian Federation. The sources for the study were: official data of the Presidential Grants Fund, the Office of the Ministry of Justice of the Russian Federation and the Ministry of Economic Development of the Russian Federation. As a result, it was possible to find out that non-profit organizations in agricultural regions are focused on social support and education, while the agricultural direction remains little in demand on their part. **The scientific novelty** lies in the consideration of the dynamics of the third sector of the economy in agricultural regions, which forms key socio-economic trends in the regional space. **The results** of the analysis showed that in the regions of Russia there are tendencies to launch competitions related to the agricultural sector, the strengthening of which in the context of import substitution can become a significant source of realizing the economic potential of the region. Namely, the participation of NPOs in solving a number of agricultural problems can lead to significant shifts in the development of region-forming spheres.

Keywords: agricultural region, socially oriented non-profit organizations, Presidential Grants Fund, social support, financial resource

Acknowledgements. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 25-28-00722).

For citation: Urasova A. A., Nekrasova D. V., Mukhin M. A., Zubarev N. Yu., Zubarev Yu. N. Key trends in the development of federal financial support of the Presidential Grants Fund for non-profit organizations in agricultural regions of Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (09): 1493–1506. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-09-1493-1506. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.05.2025, ***date of review:*** 28.07.2025, ***date of acceptance:*** 31.07.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Современные социально-экономические преобразования ориентируют все регионы РФ на решение задачи поиска дополнительных источников, в том числе финансовых, для реализации стратегических ориентиров и национальных целей. В этом контексте третий сектор экономики обладает значительным потенциалом, активизируя систему взаимодействия всех участников социально-экономических процессов и выстраивая региональную платформу для реализации потенциалов и резервов. Такая ситуация формирует особую среду для достижения национальных приоритетов и региональных стратегических установок. Третий сектор как возможность реализации региональных потенциалов с учетом отраслевой специфики может привести к ускоренному достижению стратегических показателей экономического роста через механизм реа-

© Урасова А. А., Некрасова Д. В., Мухин М. А., Зубарев Н. Ю., Зубарев Ю. Н., 2025

лизации узкоспециализированных проектов. Принимая во внимание необходимость учета отраслевых особенностей регионов при внедрении любого механизма активизации экономического развития, необходимо констатировать, что аграрные регионы обладают благоприятными условиями для реализации потенциала некоммерческих организаций, поскольку предоставляют широкие возможности для проектной деятельности и реализации творческих инициатив третьего сектора.

Некоммерческие организации могут стать важным дополнительным ресурсом в развитии регионов, имеющих агропромышленную специализацию, дополняя усилия государства в решении социально значимых проблем. Их гибкость, тесные связи с местными сообществами и возможность привлечения внешних ресурсов позволяют третьему сектору экономики эффективно участвовать в таких сферах, как здравоохранение, образование, экология и социальная поддержка, что актуально и для всех территорий.

Активное вовлечение некоммерческих организаций в аграрную повестку может способствовать развитию фермерских инициатив, продвижению устойчивых методов ведения сельского хозяйства и повышению уровня информированности сельского населения. При наличии механизмов поддержки третий сектор может повысить значимость местных сообществ в принятии решений и стать проводником устойчивого развития регионов с агропромышленным профилем.

В исследовательском сообществе уделяется значительное внимание вопросу особенностей функционирования организаций третьего сектора экономики и в том числе его работы в аграрных регионах. Отдельные авторы обращаются к аспектам оценки результатов внедрения гибридных моделей развития сферы социальных услуг в регионах России [1], вопросам идентификация барьеров функционирования социально ориентированных некоммерческих организаций как активного субъекта региональной экономики (на примере Пермского края) [2], государственной поддержки социально ориентированных некоммерческих организаций в регионе [3] и грантовым конкурсам [4; 5], обосновывают некоммерческие организации как драйвер социальных инноваций [6]. Уделяют внимание авторы и оценке взаимодействия некоммерческих организаций с системой муниципального управления [7].

Кроме того, исследователи обозначают приоритетные направления деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций в современных условиях [8]. Отдельное направление составляют работы, связанные с анализом межсекторного взаимодействия, технологиями организации межсекторного взаимодействия на региональном уровне [9]. Можно выделить труды, отражающие методические аспекты оценки уровня развития межсекторного социального партнерства в регионе [10], функционирования механизмов партнерства как основы развития общественно-государственного управления [11]. Стоит обратить внимание на исследования, связанные с оценкой эффективность деятельности некоммерческих организаций для региональной экономики [12]. Анализируют и стратегии устойчивости социально ориентированных НКО [13]. Обращаются к анализу возможности применения гибких методов управления в некоммерческих организациях [14]. Оценивают и вклад третьего сектора экономики в социально-экономическое развития муниципальных образований [15]. Рассматривают третий сектор экономики и как инновационный фактор нивелирования пространственной дифференциации экономики России [16]. А также касаются рассмотрения вопросов управления финансовыми ресурсами и оценки социальной эффективности некоммерческого сектора [17].

Помимо этого, в исследовательском поле сформировался значительный пул работ, посвященных особенностям развития некоммерческого сектора в регионах, имеющих агропромышленную специализацию. Так, рассматривается специфика деятельности некоммерческих организаций в регионах агропромышленного профиля, раскрываются ключевые тенденции и характеристики государственной поддержки социально ориентированных некоммерческих организаций в Краснодарском крае [18]. Отметим также работу, посвященную развитию кадров некоммерческих организаций Ставропольского края [19]. Рассматривают и деятельность социально ориентированных некоммерческих организаций по поддержке населения в Белгородской области [20], опыт в сфере НКО Воронежской области [21]. Однако при всем многообразии исследований третьего сектора вопросы изучения специфики деятельности некоммерческого сектора в регионах, имеющих агропромышленную специализацию, остаются малоизученными.

Зарубежные исследования также свидетельствуют о наращивании значимости некоммерческого сектора в экономике. Так, можно отметить исследование, опирающееся на данные отдельных регионов, что говорит о востребованности инноваций некоммерческими организациями, частными социальными институтами. Тем самым расширяется исследовательское поле некоммерческих организаций, которое значимым образом отличается от деятельности в этом направлении коммерческих структур. В частности, применительно к данному региону оценка производилась с помощью использования количественного подхода, в частности факторного анализа, множественной линейной регрессии и корреляционного анализа, с использованием шкал, уже применяемых в других измерениях со-

циального сектора, чтобы понять влияние каждого инновационного измерения/детерминанты на креативность и инновации в некоммерческих организациях [22].

Также нельзя не отметить тенденцию, связанную с задействованием некоммерческих организаций, отражающую значимые поступательные социально-экономические изменения, которые охватили многие регионы. Особенно ярко этот тренд проявился под воздействием структурных факторов и пандемического кризиса COVID-19. Под влиянием этих обстоятельств проявились проблемы в государственном и частном секторах, которые оказались не готовы к ответам на возникающие в экономической среде вопросы. Этот контекст нестабильности и вытекающие из этого последствия для отраслей экономики и некоммерческих организаций создают серьезные проблемы для реализации отраслевого потенциала регионов. Результаты показывают большую эффективность некоммерческих организаций в вопросах обеспечения отдельных отраслей экономики человеческим ресурсами [23].

Также необходимо раскрыть аспект, связанный с влиянием интеграционных процессов на эффективность некоммерческих организаций, которое оценивается с помощью моделирования структурных уравнений (SEM) и качественного сравнительного анализа (FsQCA) [24]. Это означает, что целый ряд зарубежных исследований отмечает устойчивую взаимосвязь между активностью в третьем секторе и отраслевой эффективностью в развитии отдельных регионах. При этом авторы подчеркивают, что отраслевая специфика напрямую зависит от задействования некоммерческих организаций. В рамках данной работы представилось целесообразным рассмотреть специфику развития некоммерческого сектора в аграрных регионах как сформировавших благоприятные условия для проектной деятельности и творческих инициатив субъектов третьего сектора. Обозначенная проблема имеет широкий охват и значительный спектр количественных данных, анализ которых предоставляет широкие методические возможности и исследовательские возможности.

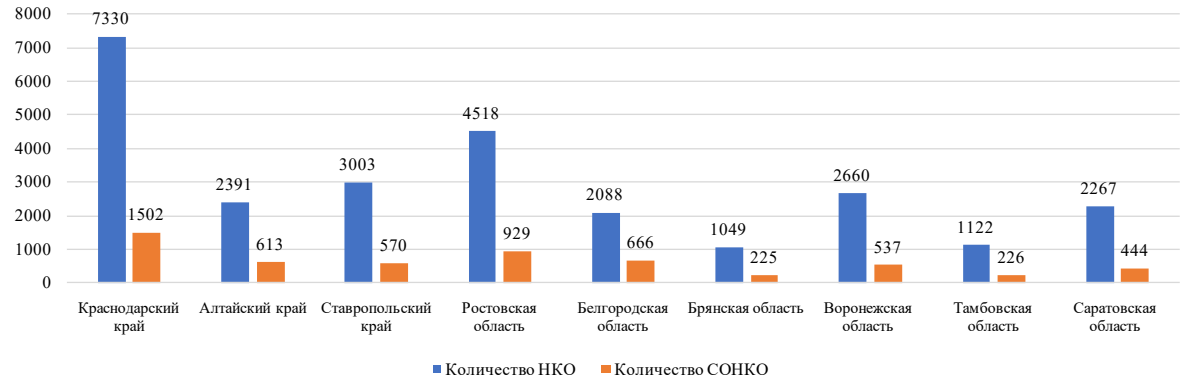


Рис. 1. Количество некоммерческих и социально ориентированных некоммерческих организаций в аграрных регионах Российской Федерации в 2025 году, ед.
Источник: составлено авторами на основе реестра НКО Министерства юстиции РФ https://minjust.gov.ru/ru/pages/reestr-nekommercheskih-organizacij/ и Реестра СОНКО Министерства экономического развития РФ https://data.economy.gov.ru/analytics/sonko (дата обращения: 12.05.2025)

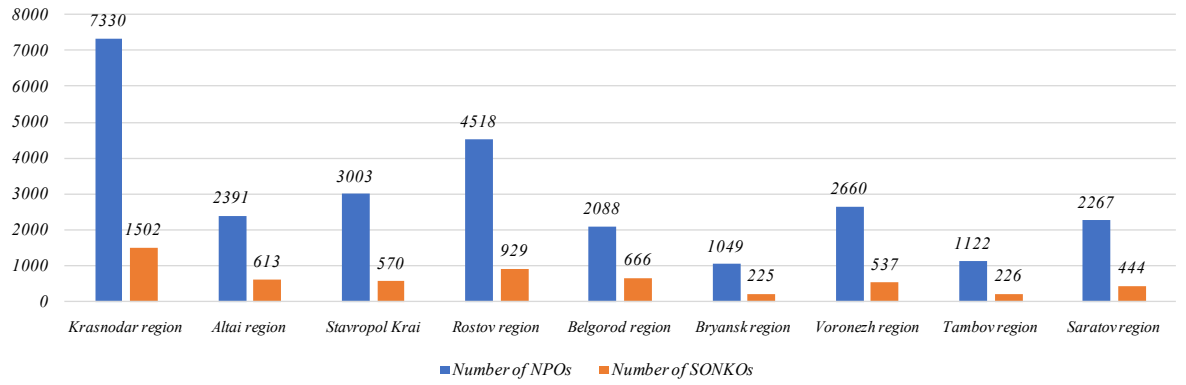


Fig. 1. Number of non-profit and socially oriented non-profit organizations in agricultural regions of the Russian Federation in 2025, units
Source: compiled by the authors based on the register of non-profit organizations of the Ministry of Justice of the Russian Federation https://minjust.gov.ru/ru/pages/reestr-nekommercheskih-organizacij/ and the Register of non-profit organizations of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation https://data.economy.gov.ru/analytics/sonko (date of access: 12.05.2025)

Методология и методы исследования (Methods)

Для проведения исследования нами использован метод статистического анализа пространственных данных, который позволяет отследить динамику развития сектора и уровень финансовой поддержки сектора в аграрных регионах Российской Федерации. Для проведения анализа были использованы количественные данные, отражающие объемы выделяемого финансирования Фондом президентских грантов на развитие гражданского общества в Российской Федерации в период 2017–2023 годов и данные о количественном составе некоммерческих организаций и социально ориентированных некоммерческих организаций в Российской Федерации.

В качестве объектов анализа выбраны следующие аграрные регионы Российской Федерации: Краснодарский край, Алтайский край, Ставропольский край, Ростовская область, Белгородская область, Брянская область, Воронежская область, Тамбовская область, Саратовская область. Проанализируем основные показатели развитости некоммерческого сектора в выбранных регионах.

Результаты (Results)

Прежде всего необходимо обратить внимание на количество некоммерческих и социально ориентированных некоммерческих организаций в выбранных регионах (рис. 1).

Так, лидером по количеству некоммерческих организаций является Краснодарский край, а минимальное количество организаций третьего сектора экономики отмечается в Брянской области. В процентном соотношении наибольшая доля социально ориентированных некоммерческих организаций от числа некоммерческих организаций представлена в Белгородской области, где эта величина составляет 31,90 %. Значение данной метрики может говорить об уровне вовлеченности гражданского общества в решение проблем населения. В связи с чем можно предположить, что от уровня данного показателя зависит уровень общественной активности и заинтересованности в поддержке уязвимых социальных групп населения. Кроме того, такое соотношение может транслировать приоритеты региональной и государственной политики и отражать отдельные аспекты социально-экономической ситуации в регионе, где количество социально ориентированных некоммерческих организаций отражает потребность общества в образовательной, благотворительной и иной социальной помощи. В выбранных регионах потребности общества могут выражаться в поддержке хозяйствующих субъектов, развития хозяйств и повышении уровня знаний в развитии агропромышленных секторов экономики, создании новых рабочих мест и пр. Чем выше доля социально ориентированных некоммерческих организаций от общего числа некоммерческих организаций, тем выше заинтересованность у общества и органов государственной власти направлять ресурсы на повышение качества жизни населения, укрепление социальной инфраструктуры и формирование устойчивого развития территорий.

Значительную роль в поддержке и развитии практик некоммерческих организаций играет Фонд президентских грантов. Благодаря Фонду организации третьего сектора экономики могут привлекать дополнительное финансирование в регионы Российской Федерации, что способствует социально экономическому развитию территорий. Относительно анализируемой группы субъектов социальный эффект от грантовых проектов может иметь значительный эффект и возможность стать дополнительным драйвером развития социально-экономического развития. Проанализируем динамику привлечения средств данными регионами (рис. 2).

Общая динамика привлечения средств ФПГ позволяет отметить, что за рассматриваемый период наибольшее финансирование было привлечено в Краснодарском крае. Регионы транслируют как положительную, так и отрицательную динамику по среднегодовым темпам прироста. Наибольший среднегодовой темп прироста отмечается в Ростовской области (14,63 %) и Белгородской области (13,80 %). Наименьший положительный – в Воронежской области (2,46 %). Отрицательную динамику транслируют Тамбовская область (–37,00 %), Саратовская область (–3,07 %), Алтайский край (–1,43 %).

По темпам роста привлекаемого финансирования в 2023 году относительно 2017 года в наблюдаемых регионах сложилась оптимистичная тенденция. Все регионы продемонстрировали положительную динамику, а лидером по приросту привлеченного финансирования за 5 лет стала Брянская область. Наименьший темп прироста продемонстрировала Тамбовская область (рис. 3).

Высокий темп прироста объемов финансирования, привлеченного некоммерческими организациями с помощью Фонда президентских грантов за последние пять лет, может транслировать несколько важных тенденций и факторов: динамичное развитие сектора и рост активности некоммерческих организаций, повышение профессиональных компетенций в вопросах социального проектирования и подготовки заявок, что дает возможность эффективнее развивать социально значимые инициативы и привлекать ресурсы.

Кроме того, высокие темпы прироста привлекаемого финансирования некоммерческими организациями могут говорить о развитии и росте некоммерческого сектора в регионах. К причинам положительных тенденций темпов роста можно отнести и усиление внимания государственных структур к развитию третьего сектора экономики, что выражается в увеличении количества конкурсов, вне-

дрении обучающих программ для некоммерческого сектора и других мер поддержки. Также стоит обратиться и к росту доверия к некоммерческим организациям со стороны как населения, так и органов государственной власти и местного самоуправления. Одной из особенностей регионов с развитым агропромышленным комплексом в развитии некоммерческого сектора может быть сезонный фактор. Многие организации и сотрудники некоммерческих организаций могут быть связаны с агропромышленными отраслями, что может оказывать влияние на эффективность некоммерческих организаций в период активной сельскохозяйственной работы.

Стоит рассмотреть специфику тематических направлений заявок победителей конкурса Фонда президентских грантов в регионе – лидере по количеству некоммерческих организаций – Краснодарском крае в 2023 году. (рис. 4) и обозначить наиболее значимые направления деятельности некоммерческих организаций.

Так, наибольшее количество победивших заявок пришлось на направление «Охрана здоровья граждан и пропаганда здорового образа жизни»; наименьшее – в номинации «Защита прав и свобод человека и гражданина», в том числе «Защита прав заключенных и укрепление межнационального и межрелигиозного согласия».

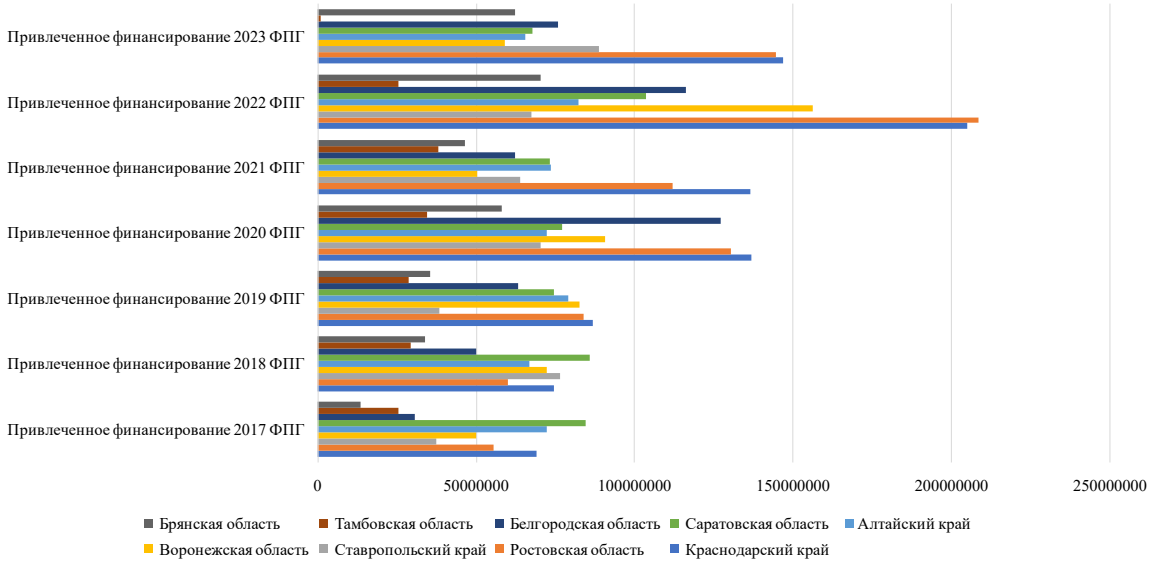


Рис. 2. Динамика привлечения средств ФПГ аграрными регионами Российской Федерации за период с 2017–2023 г., руб.
Источник: составлено авторами основании официальных данных Фонда президентских грантов (дата обращения: 14.07.2024)

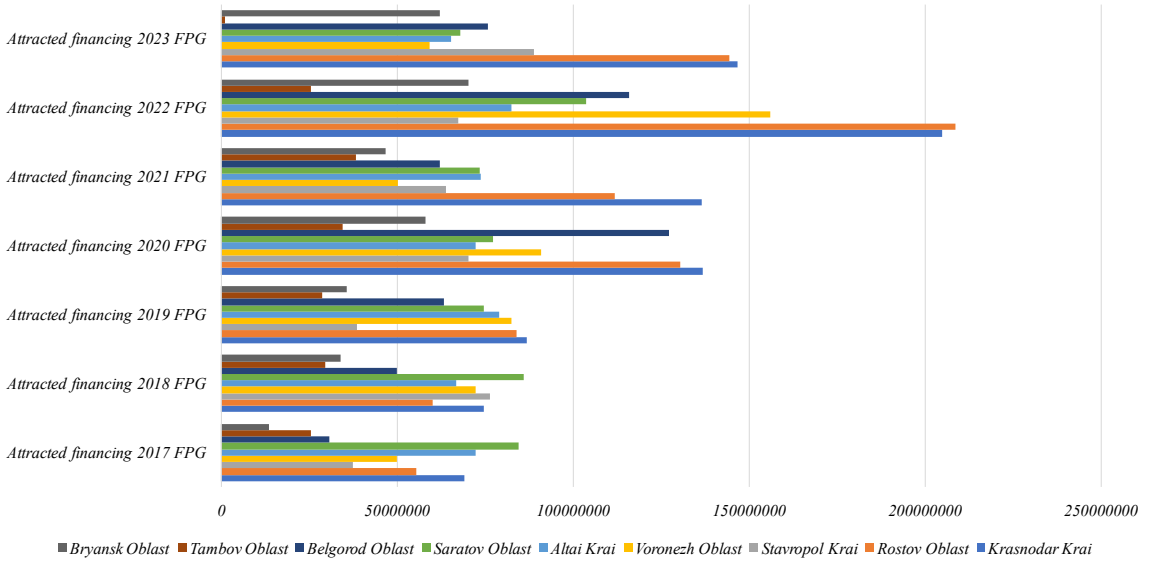


Fig. 2. Dynamics of attraction of funds from financial-industrial groups by agricultural regions of the Russian Federation for the period from 2017–2023, rubles
Source: compiled by the author based on official data from the Presidential Grants Fund (date of access: 14.07.2024)

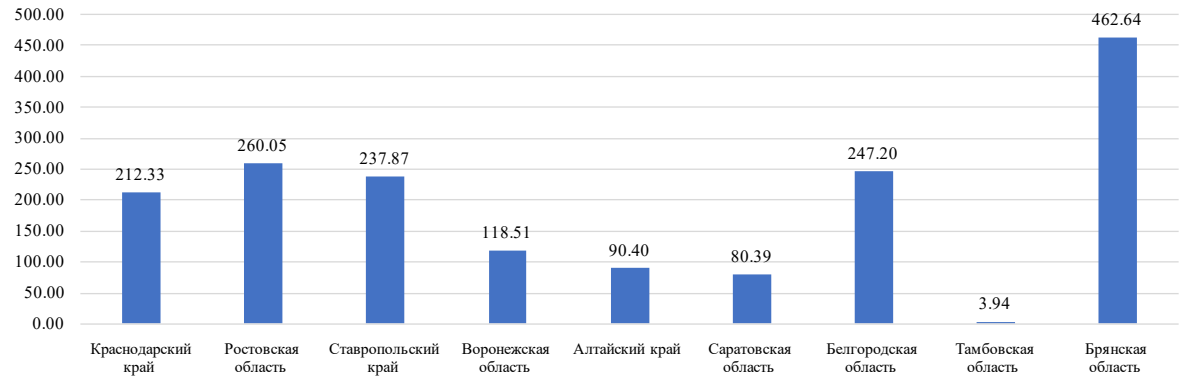


Рис. 3. Темпы роста привлечения средств ФПГ аграрными регионами Российской Федерации в 2023 году относительно 2017 года, %
Источник: составлено авторами на основании официальных данных Фонда президентских грантов (дата обращения: 10.07.2024)

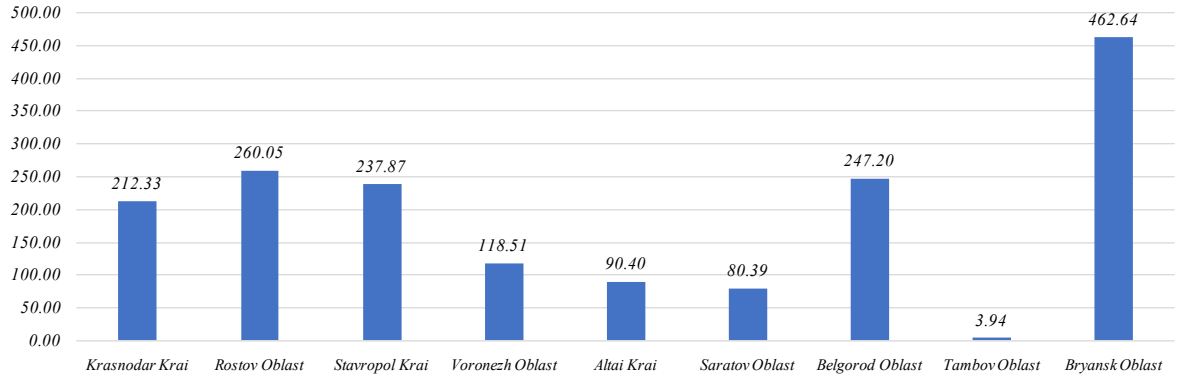


Fig. 3. Growth rates of financial-industrial group funds attracted by agricultural regions of the Russian Federation, in 2023 relative to 2017, %
Source: compiled by the authors based on official data from the Presidential Grants Fund (date of access: 10.07.2024)

Анализируя социально значимые проекты в Краснодарском крае, можно отметить, что проекты некоммерческого сектора в минимальной степени связаны с агропромышленными отраслями:

– Адаптация природой;
– В здоровом теле – здоровый дух;
– Военно-патриотический клуб «Казачья удаль»;
– Вторая жизнь вещей;
– Движение – это жизнь;
– Детско-юношеское патриотическое движение «Марш памяти юных». Подвиг во имя жизни;
– Жизнь с чистого листа;
– Инклюзивная танцевальная школа «Рыжий DANCE» – сохраняя лучшее;
– Кем быть;
– Комплекс мероприятий по развитию студенческих отрядов Кубани;
– Культурно-исторический проект в области современного искусства «Кавказская Атлантида», посвященный истории Черкесии;
– Мастерская апсайклинга «Все оттенки денима»;
– Мы выбираем здоровье;
– Надомный патронаж для одиноких бабушек и дедушек;
– Новогодние чудеса;
– Особые возможности для новых вершин;
– Патриотическое пространство «Землянка»;
– Первый шаг к эковолонтерству, природный десант;
– Популяризация раздельного сбора и экологичного образа жизни среди школьников средней школы Краснодара и Краснодарского края;
– Старшее поколение выбирает петанк;
– Сундучок помощи – расширяем возможности;
– Удаль богатырская;
– Хутор моей мечты;
– Центр ресоциализации имени преподобного Александра Пересвета 2023;
– Акростарт;
– ВКЛЮЧи тьютора 2;
– Военно-патриотический проект «Оружие Победы»;
– Герои и подвиги;
– Десант добрых дел;
– Женское долголетие;
– Зал для занятий сумо «Маленький Воин»;
– Интенсив-школа наставников ТОС;
– Клуб «Подросток»;
– Комплекс мероприятий по расширению центра юных техников «Штурм» в городе Краснодаре;

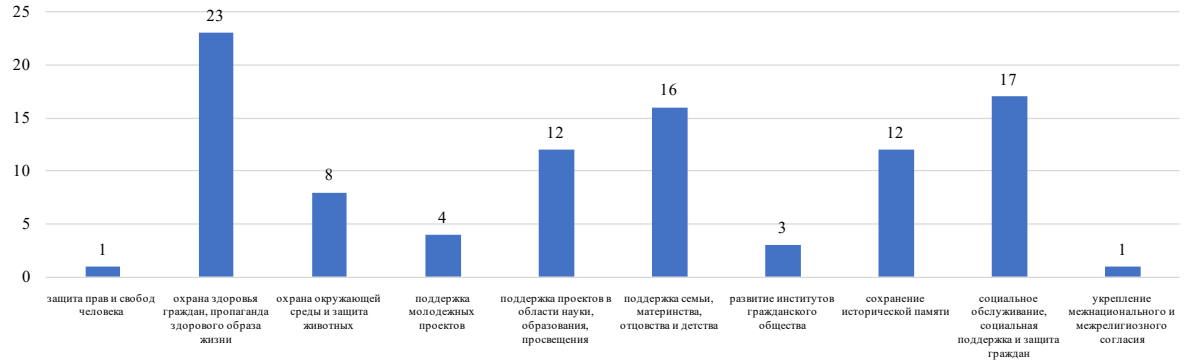


Рис. 4. Количество победивших проектов в конкурсах Фонда президентских грантов в 2023 году в Краснодарском крае по направлениям, 2023 года, ед.
Источник: составлено авторами на основании официальных данных Фонда президентских грантов (дата обращения: 27.03.2025)

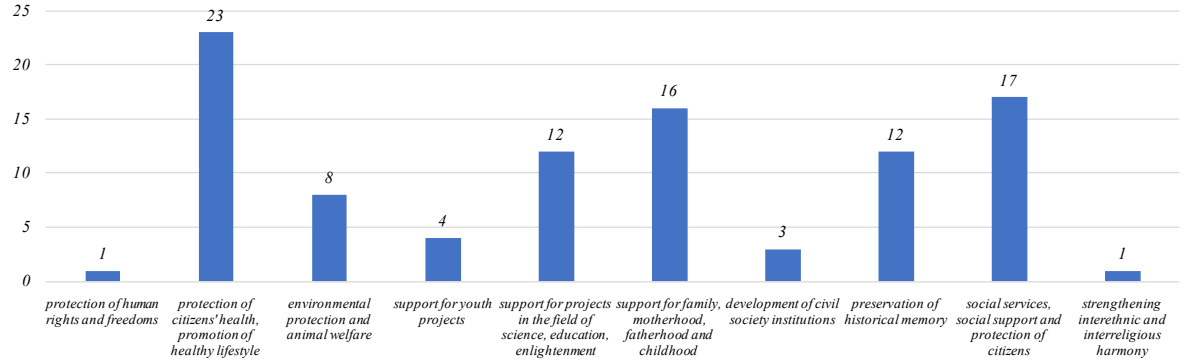


Fig. 4. Number of winning projects in the Presidential Grants Fund competitions in 2023 in Krasnodar Krai by areas, 2023, units
Source: compiled by the authors based on official data from the Presidential Grants Fund (date of access: 27.03.2025)

– Культурно-образовательный проект «Увидеть сердцем»;
– Мобильная команда спортсменов инвалидов Сочи;
– Мы рядом! Мы вместе!;
– Небо Кубани;
– Образовательно-просветительский проект «Милосердный город 2.0. Эволюция»;
– Ощущаем через лошадь;
– Пенсия на новый ЛАД;
– Поддержка и развитие центра юных техников «Штурм» в городе Краснодаре;
– Прикосновение к невидимому миру;
– Свои родные в своей большой России (оказание всесторонней помощи вынужденным переселенцам из вновь присоединенных республик и областей Новороссии на базе Дома милосердия в городе Анапе);
– Сильные духом;
– Создадим добрый мир вместе;
– Сохраняем преемственность поколений;
– Спортивно-патриотический фестиваль «Наша Победа»;
– Архитекторы будущего: 3D-моделирование;
– Вместе здорово;
– Все мировые рекорды должны быть НАШИ!!!;
– Гид по движению и здоровью;
– Дети Дождя, мы с вами в ногу;
– Живая глина – я смогу;
– Звезды зовут!;
– Казачья киберзарница;
– Клуб современной Женщины;
– Комплексная социальная поддержка и защита семей в трудной жизненной ситуации «В кругу семьи»;
– Лагерь военно-спортивной подготовки и патриотического воспитания «Сила Кубани»;
– Мы в ответе за тех, кого приручили;
– На стороне подростка;
– НЕсобачкина столица. Краснодог за стерилизацию. Часть 2;
– Образовательный форум студенческих отрядов Кубани #ТрудКрут;
– Паракарате в коррекционные школы Анапы;
– Первая ДоброПомощь в школе;
– Поиск пропавших людей: спасая жизни. Помочь может каждый! Этап 1;
– Природоохранный экологический проект «Чистые горы – 2»;
– Территория речи: оказание комплексной помощи семьям с детьми с ограниченными возможностями здоровья в сфере развития речи и коммуникативных навыков;

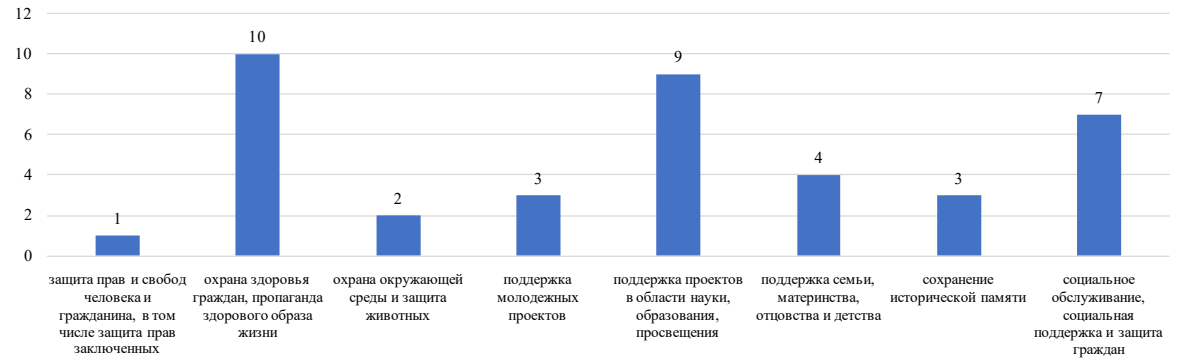


Рис. 5. Количество победивших проектов в конкурсах Фонда президентских грантов в 2023 году в Ставропольском крае по направлениям, ед.
Источник: составлено авторами на основании официальных данных Фонда президентских грантов (дата обращения: 03.04.2025)

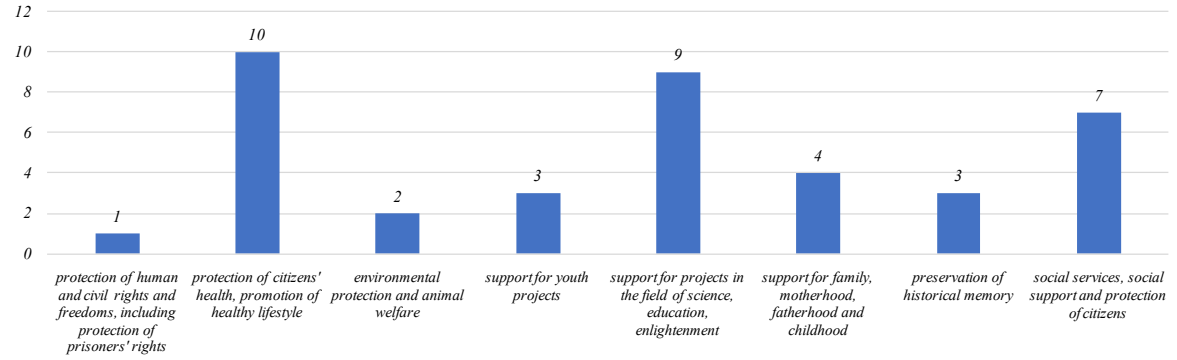


Fig. 5. Number of winning projects in the Presidential Grants Fund competitions in 2023 in Stavropol Krai by areas, units
Source: compiled by the authors based on official data from the Presidential Grants Fund (date of access: 03.04.2025)

– Формирование системного подхода в обучении и реабилитации детей и молодых людей с ОВЗ, в т. ч. с РАС, с целью развития гармоничной личности, обладающей полезными навыками для общества;

– Центр «Дом Надежды»: профилактика и сопровождение женщин в кризисной ситуации;

– Час добра – новые возможности;

– Энергия спорта – дорога к победе;

– Программа по подготовке юношей к военной службе «Допризывник»;

– Развиваемся вместе;

– Седьмое чувство;

– Скорые на помощь: автоуслуги для пожилых и одиноких тяжелобольных и маломобильных граждан;

– Солнечный город – альтернативная школа для детей с синдромом Дауна;

– Социально-благотворительный проект ВО БЛАГО;

– Спортивные традиции;

– Студия культурно-эстетического развития «Возрождение»;

– Трудовые мастерские для людей с ментальными нарушениями «Наша реальность»;

– Хватит проигрывать;

– Центр начальной военной подготовки «Рубеж»;

– Школа юных патриотов – 2;

– Южный фестиваль адаптивных видов спорта «Маргуша»;

– ПрофОриентир;

– Ресурсный центр для семей, воспитывающих детей с РАС;

– Серфлагерь «Душа – это парус. Ветер – жизнь»;

– Созвездие Сочи;

– Сохранить здоровье;

– Спортивная молодежь – здоровая Кубань;

– Я сам: развитие жизненных компетенций детей с тяжелыми множественными нарушениями;

– Путь наставника Кубани. Призвание;

– Страницы памяти;

– PROздоровье: комплексная реабилитация молодежи с синдромом Дауна;

– ЭкоПлощадка.

Отдельно обозначим ситуацию в Ставропольском крае (рис. 5).

Данный субъект транслирует средние позиции в динамике привлекаемого финансирования. Относительно Ставропольского края номинацией лидером в 2023 году становится «Охрана здоровья граждан и пропаганда здорового образа жизни», а наименее популярной стала номинация «Защита прав заключенных и укрепление межнационального и межрелигиозного согласия». Рассмотрим ключевые проекты:

– Служба профилактики социального сиротства, сохранения и сопровождения семьи в трудной жизненной ситуации при приюте «Мамины руки»;

– «Паломник в тюремной робе...» (виртуальные паломнические и познавательные экскурсии по России для осужденных Ставропольского края);

– Северо-Кавказский конкурс «Мастера интерактивных педагогических технологий 2023»;

– Спортивное ориентирование для школ Ставрополья;

– Милосердие без границ;

– Краски русской истории;

– Школа добровольческих тренеров НКО и молодежных общественных объединений;

– Православный пальчиковый кукольный театр «Рукотворушка»;

– Мастерская «Фокус внимания»;

– Студия имиджа и стиля для пожилых людей «Серебряная мода»;

– Маршруты казачьего Ставрополья 2.0;

– Фестиваль уличного футбола «Время побеждать!»

– Отчизны верный сын – казачий генерал Степан Николаев;

– Линия обороны Кавказа 1942–1943 годов;

– Новая жизнь;

– Точка Экороста;

– Раз собака, два собака 2.0;

– Ставрополье – территория заботы;

– Спорт – измени свою жизнь к лучшему;

– Учись играя;

– Добровольческий спасательный отряд из числа воспитанников и выпускников детских домов;

– ОРИЕНТАТЛОН – спортивное ориентирование со стрельбой из лазерного оружия;

– Достойная жизнь вместо ПНИ;

– Создаем условия – растим чемпионов;

– Сап-поло – это весело и полезно;

– Добровольческий центр оказания адресной помощи беженцам и вынужденным переселенцам «Доброе сердце»;

– УМникУМ – школа компьютерного программирования для детей и подростков;

– Профориентационный проект «Популяризация среди школьников технологического предпринимательства: от теории до готовой бизнес-идеи»;

– Оздоровительное плавание для детей с инвалидностью;

– Лига бадминтона;

– Семейная программа «Новые горизонты»;

– Был бы флот, а гавани найдутся!;

– Кавказ. Кадры;

– Шаг в историю: Константиногорская крепость;

– Мастерская «Витязь»;

– Международная конкурс-премия уличного искусства и спорта КАРДО;

– ОСОБОЕ ДЕТСТВО;

– Проект социальной активности и здорового образа жизни старшего поколения «Палитра спорта»;

– Милосердие для Дома милосердия.

Анализируя тематику социально значимых проектов, можно отметить, что проекты некоммерческого сектора в Ставропольском крае также в минимальной в степени связаны с экономической специализацией региона.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, анализ деятельности некоммерческих организаций в отобранных регионах демонстрирует, что:

– основное внимание уделяется вопросам охраны здоровья граждан, пропаганды здорового образа жизни, поддержки научных, образовательных и просветительских инициатив, а также оказания социальной помощи и защиты различных категорий населения;

– значительная поддержка оказывается семье, материнству, отцовству и детству;

– доля проектов, напрямую связанных с развитием агропромышленного комплекса, остается незначительной. Это может свидетельствовать о низкой вовлеченности некоммерческих организаций в данный сектор или отсутствием специальных программ поддержки инициатив.

Тем не менее можно обратиться к практике некоммерческой организации «Мастерская социальных проектов»[1], создавшей образовательную программу, которая может использоваться во всех регионах России, что выразилось в проекте «Социальный контракт: учимся вместе», связанном с технологией реализации проектов. Так, одним из направлений является социальный контракт на личное подсобное хозяйство и крестьянское (фермерское) хозяйство, в рамках которого ведется работа по обучению соискателей контракта развивать местные хозяйства и оказывать влияние на развитие отраслей сельского хозяйства. Данная практика некоммерческой организации включена в топ лучших практик по версии Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации.

Развитие потенциала агропромышленного комплекса является на сегодня важным направлением в условиях импортозамещения. Сегодня в регионах России прослеживаются тенденции на запуск конкурсов, связанных с работой по теме развития агропроектов, и, основываясь на федеральных трендах по учреждению профильных фондов для поддержки отдельных направлений деятельности некоммерческих проектов, например Президентский фонд культурных инициатив и Президентский фонд природы, можно предположить, что при трансляции успешных практик некоммерческих организаций в развитии агропромышленного комплекса и мест-

[1] АНО «Мастерская социальных проектов». Официальный сайт. URL: http://соцпроект59.рф/ (дата обращения: 10.04.2025).

ных хозяйств на уровне регионов и федерации будут получать активное развитие механизмы взаимодействия и развития, задействующие третий сектор как дополнительный ресурс.

Резюмируем, что научные изыскания в направлении изучения управленческих практик некоммерческих организаций, а также процессов их взаимодействия с субъектами муниципального управления, участниками отраслевых процессов в регионе, выступают в современных условиях значимой научной задачей, решая которую можно достичь значительных положительных изменений в показателях экономического роста, регулирование которых напрямую влияет на реализацию региональной стратегии социально-экономического развития.

Таким образом, потенциал третьего сектора в пространстве аграрных регионов занимает одну из ключевых позиций, формируя возможность дополнительных взаимодействий как возможности реализации потенциалов и резервов региона в условиях сформированных под воздействием внешних экономических обстоятельств ограничений. Это открывает широкий исследовательский горизонт, включающий не только процессы развития некоммерческих организаций, но и вопросы достижения на этом основании национальных целей и стратегических приоритетов. Так, интерес представляют вопросы воздействия третьего сектора на отдельные отрасли и сектора экономики, а также проектной деятельности отдельных форм некоммерческих организаций. Результативность данных процессов может выражаться как в разовых достижениях, так и в комплексном кумулятивном эффекте, включающем и отраслевые, и специфические (социальные, управленческие) и иные составляющие.

Библиографический список

1. Огородникова Е. С., Плахин А. Е., Хохолуш М. С. Оценка результатов внедрения гибридных моделей развития сферы социальных услуг в регионах России // Экономика региона. 2023. № 3 (19). С. 753–765. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-3-11.

2. Базуева Е. В., Артамонова А. С., Малкова Е. В. Идентификация барьеров функционирования социально ориентированных некоммерческих организаций как активного субъекта региональной экономики (на примере Пермского края) // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2023. № 6 (16). С. 108–121. DOI: 10.15838/esc.2023.6.90.6.

3. Кайбичева Е. И. Государственная поддержка социально ориентированных некоммерческих организаций в регионе: практика и направления совершенствования. // Экономика и бизнес: теория и практика. 2023. № 11-2 (105). С. 6–10. DOI: 10.24412/2411-0450-2023-11-2-6-10.

4. Некрасова Д. В., Мухин М. А. Конкурс грантов как инновационный инструмент поддержки НКО в крупнейших городах // Друкеровский вестник. 2024. № 5 (61). С. 262–270. DOI: 10.17213/2312-6469-2024-5-262-270.

5. Некрасова Д. В., Мухин М. А., Урасова А. А. Особенности развития некоммерческих организаций Пермского края в условиях реализации конкурса Фонда Президентских грантов // Актуальные вопросы экономики и социологии: сборник статей по материалам XIX Осенней конференции молодых ученых в новосибирском Академгородке. Новосибирск, 2023. С. 87–94.

6. Канарейко Д. А. Некоммерческие организации как драйвер социальных инноваций // Modern Science. 2021. № 9–2. С. 39–42.

7. Мухин М. А., Урасова А. А. Оценка взаимодействия некоммерческих организаций с системой муниципального управления // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2024. № 3 (17). С. 226–241. DOI: 10.15838/esc.2024.3.93.13.

8. Некрасова Д. В., Урасова А. А. Организация управления проектами некоммерческих организаций: возможности гибких методов управления // Исследование проблем экономики и финансов. 2024. № 4. С. 55–61. DOI: 10.31279/2782-6414-2024-4-5.

9. Копытова Е. Д., Лапцова Е. С. Методические аспекты оценки уровня развития межсекторного социального партнерства в регионе // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2020. № 3. С. 71–81. DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-3-71-81.

10. Кубанева Н. К. О некоторых особенностях развития межсекторного социального партнерства в России на современном этапе // Государство и общество в современной политике: сборник научных статей по материалам 8-й Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2021. С. 192–200.

11. Родин А. В., Джиджелава Л. Д. Технология организации межсекторного взаимодействия на региональном уровне // Экономика и управление в современных условиях: проблемы и перспективы: сборник научных трудов по материалам VII Всероссийской научно-практической конференции. Майкоп, 2020. С. 61–68.

12. Артамонова А. С., Базуева Е.В. Эффективность деятельности некоммерческих организаций для региональной экономики: концептуальные основы идентификации // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. № 6 (15). С. 215–231. DOI: 10.15838/esc.2022.6.84.13.

13. Старшинова А. В., Бородкина О. И. Стратегии устойчивости социально ориентированных НКО: механизм грантовой поддержки // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2022. № 5 (15). С. 221–236. DOI: 10.15838/esc.2022.5.83.12.

14. Некрасова Д. В., Урасова А. А. Третий сектор экономики как субъект развития социально-экономического развития муниципальных образований // Экономика, менеджмент, сервис: современные проблемы и перспективы: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Омск, 2024. С. 107–111.

15. Сунцов А. П., Андриенко А. И. Приоритетные направления деятельности социально ориентированных некоммерческих организаций в современных условиях: правовое регулирование и практика // Вестник Сургутского государственного университета. 2023. № 2 (11). С. 112–117. DOI: 10.35266/2312–3419–2023–2–112–117.

16. Мезенцева Е. В., Королюк Е. В. Тенденции и характеристики государственной поддержки социально-ориентированных некоммерческих организаций в Краснодарском крае // ЦИТИСЭ. 2022. № 1. С. 290–298. DOI: 10.15350/2409-7616.2022.1.25.

17. Артамонова А. С., Базуева Е. В. Некоммерческий сектор региона как инновационный фактор нивелирования пространственной дифференциации экономики России // Инновационное развитие экономики: тенденции и перспективы. 2022. Т. 1. С. 212–224.

18. Артамонова А. С. Управление финансовыми ресурсами и оценка социальной эффективности некоммерческого сектора // Journal of New Economy. 2021. № 4 (22). С. 97–115. DOI: 10.29141/2658-5081-2021-22-4-6.

19. Шелкоплясова Г. С., Газимагомедова А. О., Чичова О. А. Исследование системы профессионального развития кадров некоммерческих организаций Ставропольского края // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2023. № 5 (98). С. 151–159. DOI: 10.37493/2307-907X.2023.5.17.

20. Афанасьев Д. И. Деятельность социально ориентированных некоммерческих организаций по социальной поддержке населения в белгородской области: проблемы и перспективы // Научные результаты в социальной работе. 2024. № 2 (3). С. 103–109. DOI: 10.18413/2949-267X-2024-3-2-6.

21. Елецких А. В., Казанов Ю. А. Развитие социально-ориентированных некоммерческих организаций (СОНКО) в Воронежской области // Трибуна ученого. 2022. № 6. С. 346–350.

22. Lopes A. R. G., de Azevedo Correia A. I., da Silva Braga A. M. Motivations for and barriers to innovation in non-profit organizations: The case of nursing homes in Northern Portugal // International Journal of Innovation Studies. 2024. No. 1 (8). Pp. 25–44. DOI: 10.1016/j.ijis.2023.04.002.

23. Oliveira M., et al. Strategy and human resources management in non-profit organizations: Its interaction with open innovation // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2021. No. 1 (7). Article number 75. DOI: 10.3390/joitmc7010075.

24. Shahzad S. K., Masudin I., Zulfikarijah F., Nasyiah T., Restuputri D. P. The effect of supply chain integration, management commitment, and sustainable supply chain practices on non-profit organizations performance using SEM-FsQCA: Evidence from Afghanistan // Sustainable Futures. 2024. Vol. 8. Article number 100282. DOI: 10.1016/j.sftr.2024.100282._

Об авторах:

Анна Александровна Урасова, доктор экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Пермский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-0598-5051, AuthorID 773894. *E-mail: annaalexandrowna@mail.ru*

Михаил Александрович Мухин, младший научный сотрудник, Пермский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; ORCID 0000-0003-0799-678X, AuthorID 390873. *E-mail: cseed@mail.ru*

Динара Витальевна Некрасова, младший научный сотрудник, Пермский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-0942-4155, AuthorID 1160900. *E-mail: dinaranekrasova@mail.ru*

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*

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. Ogorodnikova E. S., Plakhin A. E., Khokholush M. S. Evaluation of the results of the implementation of hybrid models for the development of social services in the regions of Russia. *Economy of the Region*. 2023; 3 (19): 753–765. DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-3-11. (In Russ.)

2. Bazueva E. V., Artamonova A. S., Malkova E. V. Identification of barriers to the functioning of socially oriented non-profit organizations as an active subject of the regional economy (on the example of the Perm Territory). *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast.* 2023; 6 (16): 108–121. DOI: 10.15838/esc.2023.6.90.6. (In Russ.)

3. Kaibicheva E. I. State support for socially oriented non-profit organizations in the region: practice and areas for improvement. *Economy and Business: Theory and Practice.* 2023; 11-2 (105): 6–10. DOI: 10.24412/2411-0450-2023-11-2-6-10. (In Russ.)

4. Nekrasova D. V., Mukhin M. A. Grant competition as an innovative tool for supporting NPOs in the largest cities. *Drucker Bulletin*. 2024; 5 (61): 262–270. DOI: 10.17213/2312-6469-2024-5-262-270. (In Russ.)

5. Nekrasova D. V., Mukhin M. A., Urasova A. A. Features of the development of non-profit organizations of the Perm Territory in the context of the implementation of the Presidential Grants Fund competition. *Actual issues of economics and sociology: collection of articles based on the materials of the XIX Autumn Conference of Young Scientists in the Novosibirsk Akademgorodok*. Novosibirsk, 2023. Pp. 87–94. (In Russ.)

6. Kanareyko D. A. Non-profit organizations as a driver of social innovation. *Modern Science*. 2021; 9–2: 39–42. (In Russ.)

7. Mukhin M. A., Urasova A. A. Assessment of the interaction of non-profit organizations with the municipal government system. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast.* 2024; 3 (17): 226–241. DOI: 10.15838/esc.2024.3.93.13. (In Russ.)

8. Nekrasova D. V, Urasova A. A. Organization of project management of non-profit organizations: possibilities of flexible management methods. *Research of Problems of Economics and Finance*. 2024; 4: 55–61. DOI: 10.31279/2782-6414-2024-4-5. (In Russ.)

9. Kopytova E. D., Laptsova E. S. Methodological aspects of assessing the level of development of intersectoral social partnership in the region. *Scientific journal of NRU ITMO. Series: Economics and Environmental Management.* 2020; 3: 71–81. DOI: 10.17586/2310-1172-2020-13-3-71-81. (In Russ.)

10. Kubaneva N. K. On some features of the development of intersectoral social partnership in Russia at the present stage. *State and society in modern politics: collection of scientific articles based on the materials of the 8th International scientific and practical conference.* Voronezh, 2021. Pp. 192–200. (In Russ.)

11. Rodin A. V., Dzhidzhelava L. D. Technology of organizing intersectoral interaction at the regional level. *Economy and management in modern conditions: problems and prospects: collection of scientific papers based on the materials of the VII All-Russian scientific and practical conference*. Maykop, 2020. Pp. 61–68. (In Russ.)

12. Artamonova A. S., Bazueva E. V. Efficiency of non-commercial organizations for the regional economy: conceptual foundations of identification. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2022; 6 (15): 215–231. DOI: 10.15838/esc.2022.6.84.13. (In Russ.)

13. Starshinova A. V., Borodkina O. I. Sustainability strategies for socially oriented npos: grant support mechanism. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast.* 2022; 5 (15): 221–236. DOI: 10.15838/esc.2022.5.83.12. (In Russ.)

14. Nekrasova D. V., Urasova A. A. The third sector of the economy as a subject of development of socio-economic development of municipalities. *Economy, management, service: modern problems and prospects: proceedings of the VI All-Russian scientific and practical conference*. Omsk, 2024. Pp. 107–111. (In Russ.)

15. Suntsov A. P., Andrienko A. I. Priority areas of activity of socially oriented non-profit organizations in modern conditions: legal regulation and practice. *Bulletin of Surgut State University.* 2023; 2 (11): 112–117. DOI: 10.35266/2312-3419-2023-2-112-117. (In Russ.)

16. Mezentseva E. V., Korolyuk E. V. Trends and characteristics of state support for socially oriented non-profit organizations in the Krasnodar Territory. *CITISE*. 2022; 1: 290–298. DOI: 10.15350/2409-7616.2022.1.25. (In Russ.)

17. Artamonova A. S., Bazueva E. V. The non-profit sector of the region as an innovative factor in leveling the spatial differentiation of the Russian economy. *Innovative Development of the Economy: Trends And Prospects.* 2022; 1: 212–224. (In Russ.)

18. Artamonova A.S . Financial resource management and assessment of social efficiency of the non-profit sector. *Journal of New Economy.* 2021; 4 (22): 97–115. DOI: 10.29141/2658-5081-2021-22-4-6. (In Russ.)

19. Shelkoplyasova G. S., Gazimagomedova A. O., Chichova O. A. Study of the system of professional development of personnel of non-profit organizations of the Stavropol Territory. *Bulletin of the North Caucasus Federal University.* 2023; 5 (98): 151–159. DOI: 10.37493/2307-907X.2023.5.17. (In Russ.)

20. Afanasyev D. I. Activities of socially oriented non-profit organizations for social support of the population in the Belgorod region: problems and prospects. *Scientific Results in Social Work.* 2024; 2 (3): 103–109. DOI: 10.18413/2949-267X-2024-3-2-6. (In Russ.)

21. Yeletskikh A. V., Kazanov Yu. A. Development of socially oriented non-profit organizations (SONPO) in the Voronezh region. *Tribune of the Scientist.* 2022; 6: 346–350. (In Russ.)

22. Lopes A. R. G., de Azevedo Correia A. I., da Silva Braga A. M. Motivations for and barriers to innovation in non-profit organizations: The case of nursing homes in Northern Portugal. *International Journal of Innovation Studies.* 2024; 1 (8): 25–44. DOI: 10.1016/j.ijis.2023.04.002.

23. Oliveira M., Sousa M., Silva R., Santos T. Strategy and human resource management in non-profit organizations: Its interaction with open innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity.* 2021; 1 (7): 75. DOI: 10.3390/joitmc7010075.

24. Shahzad S. K., Masudin I., Zulfikarijah F., Nasyiah T., Restuputri D. P. The effect of supply chain integration, management commitment, and sustainable supply chain practices on non-profit organizations performance using SEM-FsQCA: Evidence from Afghanistan. *Sustainable Futures*. 2024; 8: 100282. DOI: 10.1016/j.sftr.2024.100282.

Authors' information:

Anna A. Urasova, doctor of economic sciences, associate professor, leading researcher, 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: annaalexandrowna@mail.ru*

Mikhail A. Mukhin, junior researcher, Perm branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia; ORCID 0000-0003-0799-678X, AuthorID 390873. *E-mail: cseed@mail.ru*

Dinara V. Nekrasova, junior researcher, Perm branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-0942-4155, AuthorID 1160900. *E-mail: dinaranekrasova@mail.ru*

Nikolay Y. Zubarev, candidate of economic sciences, associate professor of the department of public and municipal administration, Perm National Research University, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-9021-4058, AuthorID 670224. *E-mail: nu_zubarev@mail.ru*

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

Аграрный вестник Урала **Agrarian Bulletin of the Urals**

Т. 25, № 09, 2025 г. **Vol. 25, No. 09, 2025**

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».
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.
Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского 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: 30.09.2025 г. Усл. печ. л. 22,2. Авт. л. 18,0.
Тираж: 100 экз. Цена: в розницу свободная.

ВЫСШАЯ АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ (ВАК)
При Министерстве образования и науки

Food and Agriculture Organization of the United Nations

Google Академия

ULRICHSWEB™ GLOBAL SERIALS DIRECTORY

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

© Аграрный вестник Урала / Agrarian Bulletin of the Urals, 2025