



Уральский государственный
аграрный университет

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**T. 26, № 02
Vol. 26, No. 02**

2026

Редакционная коллегия

- И. М. Донник** (главный редактор), академик РАН, Почетный работник высшего образования Российской Федерации, помощник президента Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (Москва, Россия)
- О. Г. Лоретт** (заместитель главного редактора), Почетный работник высшего образования Российской Федерации, Почетный работник агропромышленного комплекса России, ректор, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
- П. Сотони** (заместитель главного редактора), академик Венгерской академии наук, академик Польской медицинской академии, ректор, Университет ветеринарной медицины Будапешта (Будапешт, Венгрия)
- Янг Ли**, колледж пищевых наук Северо-Восточного сельскохозяйственного университета (Харбин, Китай)
- Члены редакционной коллегии*
- Н. В. Абрамов**, Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)
- Р. З. Аббас**, Сельскохозяйственный университет (Фейсалабад, Пакистан)
- В. Д. Богданов**, член-корреспондент РАН, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия)
- В. Н. Большаков**, академик РАН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)
- О. А. Быкова**, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
- Э. Д. Джавадов**, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)
- Л. И. Дроздова**, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
- А. С. Донченко**, академик РАН, Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (Новосибирск, Россия)
- Б. С. Есенгелдин**, Павлодарский педагогический университет (Павлодар, Казахстан)
- Н. Н. Зезин**, член-корреспондент РАН, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Екатеринбург, Россия)
- С. Б. Исмурастов**, Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова (Костанай, Казахстан)
- А. Г. Кошаев**, академик РАН, Кубанский государственный аграрный университет (Краснодар, Россия)
- У. Р. Матякубов**, Ургенчский государственный университет (Ургенч, Узбекистан)
- В. С. Мымрин**, ОАО «Уралплемцентр» (Екатеринбург, Россия)
- М. С. Норов**, Таджикский аграрный университет имени Шириншо Шотемур (Душанбе, Таджикистан)
- В. С. Паштецкий**, член-корреспондент РАН, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Россия)
- Ю. В. Плугатарь**, член-корреспондент РАН, член Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию, начальник Отдела РАН по взаимодействию с научными организациями Крыма и города федерального значения Севастополя, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН (Ялта, Россия)
- М. Б. Ребезов**, Федеральный научный центр пищевых систем Им. В. М. Горбатова РАН, (Москва, Россия)
- О. А. Рущицкая**, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
- А. Г. Самоделькин**, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия (Нижний Новгород, Россия)
- А. А. Стекольников**, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)
- В. Г. Тюрин**, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии (Москва, Россия)
- И. Г. Ушачев**, академик РАН, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства (Москва, Россия)
- С. В. Шабунин**, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии Россельхозакадемии (Воронеж, Россия)
- И. А. Шкуратова**, Уральский научно-исследовательский ветеринарный институт (Екатеринбург, Россия)
- А. В. Щур**, Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

Editorial board

- Irina M. Donnik** (Editor-in-Chief), academician of the Russian Academy of Sciences, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Assistant to the President of the National Research Center “Kurchatov Institute” (Moscow, Russia)
- Olga G. Lorets** (Deputy Chief Editor), Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Honorary Worker of the Agricultural Complex of Russia, rector of the Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
- Péter Sótönyi** (Deputy chief editor) academician of Hungarian Academy of Sciences, academician of Polish Medical Academy, rector of University of Veterinary Medicine of Budapest (Budapest, Hungary)
- Yang Li**, Professor, College of Food Science, Northeast Agricultural University (Harbin, China)
- Editorial Team*
- Nikolay V. Abramov**, Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)
- Rao Zahid Abbas**, University of Agriculture (Faisalabad, Pakistan)
- Vladimir D. Bogdanov**, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russia)
- Vladimir N. Bolshakov**, academician of the Russian Academy of Sciences, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia)
- Olga A. Bykova**, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
- Eduard D. Dzhavadov**, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research and Technological Poultry Institute (St. Petersburg, Russia)
- Lyudmila I. Drozdova**, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
- Aleksandr S. Donchenko**, academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Experimental Veterinary Science of Siberia and the Far East (Novosibirsk, Russia)
- Bauyrzhan S. Yessengeldin**, Pavlodar Pedagogical University Republic of Kazakhstan (Pavlodar, Kazakhstan)
- 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)
- 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**, “Uralplemsentr” (Ekaterinburg, Russia)
- Mastibek S. Norov**, Tajik Agrarian University named after Shirinsho Shotemur (Dushanbe, Tajikistan)
- Vladimir S. Pashetskii**, 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. Gorbatoev 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)

Содержание

Агротехнологии

А. А. Бетехтина, А. В. Малахеева, Г. Г. Борисова, О. В. Воропаева, М. Г. Малева 207
Морфофизиологические особенности *Allium cepa* и *Allium sativum* при выращивании «на зелень» в условиях дефицита азота

Э. С. Дорошенко, А. А. Донцова, Д. П. Донцов, Р. Н. Брагин, И. М. Засыпкина 221
Оценка коллекционного материала ярового ячменя для практической селекции в условиях юга России

А. А. Коростылев, Л. А. Логвиненко, О. М. Шевчук, А. П. Диваков 237
Применение стимулятора корнеобразования и некоторые особенности ризогенеза стеблевых черенков *Aerva lanata* и *Orthosiphon aristatus* при вегетативном размножении

Р. А. Максимов, Ю. А. Киселев, Е. Г. Козионова 247
Красноуфимский селекционный центр: наиболее значимые результаты селекционной работы по яровому ячменю за последние 20 лет

Л. А. Попова, А. А. Шаманин, О. Ю. Павловская 259
Экологическая оценка гибридных образцов картофеля в селекционных питомниках в условиях Архангельской области

Ю. П. Прядун, Н. Л. Назаренко, Л. П. Шаталина 269
Агроэкологическая адаптивность сортов твердой пшеницы на Южном Урале

Л. Н. Скипин, Е. В. Захарова, С. С. Тарасова, Е. П. Евтushkova 278
Реакция клубеньковых бактерий на условия засоления почв и буровых шламов

Биология и биотехнологии

Н. В. Гапонов 289
Применение технологических методов обработки люпина узколистного для оптимизации питательности полнорационных комбикормов

А. Ю. Лаврентьев, М. С. Упинин, М. С. Упинин, Б. Н. Глинкин, Р. Н. Иванова 297
Влияние качества молока на продуктивности ремонтных телок в молочный период выращивания

К. Н. Нарожных, М. А. Барсукова 306
Метаболические биомаркеры герефордского скота в раннем возрасте как предикторы живой массы телок при отъеме

Contents

Agrotechnologies

A. A. Betekhtina, A. V. Malakheeva, G. G. Borisova, O. V. Voropaeva, M. G. Maleva
Morphophysiological features of *Allium cepa* and *Allium sativum* when grown “for greens” under conditions of nitrogen deficiency

E. S. Doroshenko, A. A. Dontsova, D. P. Dontsov, R. N. Bragin, I. M. Zasypkina
Evaluation of spring barley collection material for practical breeding in the conditions of southern Russia

A. A. Korostylev, L. A. Logvinenko, O. M. Shevchuk, A. P. Divakov
Application of a root formation stimulant and some features of rhizogenesis in stem cuttings of *Aerva lanata* and *Orthosiphon aristatus* during vegetative propagation

R. A. Maksimov, Yu. A. Kiselev, E. G. Kozionova
Krasnoufimskiy breeding center: the most significant results of breeding work on spring barley over the past 20 years

L. A. Popova, A. A. Shamanin, O. Yu. Pavlovskaya
Ecological assessment of hybrid potato samples in breeding nurseries in the Arkhangelsk region

Yu. P. Pryadun, N. L. Nazarenko, L. P. Shatalina
Agroecological adaptability of durum wheat varieties to the Southern Urals

L. N. Skipin, E. V. Zakharova, S. S. Tarasova, E. P. Evtushkova
The reaction of nodule bacteria to the salinization conditions of soils and drilling mud

Biology and biotechnologies

N. V. Gaponov
The use of technological methods for processing narrow-leaved lupine to optimize the nutritional value of complete feed

A. Yu. Lavrentyev, M. S. Upinin, M. S. Upinin, B. N. Glinkin, R. N. Ivanova
The effect of milk quality on the productivity of repair heifers during the dairy growing period

K. N. Narozhnykh, M. A. Barsukova
Metabolic biomarkers of Hereford cattle at an early age as predictors of the live weight of heifers at weaning

Содержание

И. М. Петрова, М. В. Бытов, С. Л. Хацко, О. В. Соколова, Л. И. Дроздова, И. А. Шкуратова 318
 Морфологические изменения в печени поросят и свиноматок и их корреляция с экспрессией антиоксидантных ферментов

М. В. Петропавловский, А. П. Порываева, Н. А. Безбородова, О. Ю. Опарина, А. Г. Исаева, А. И. Белоусов, А. С. Бадретдинова 329
 Характеристика лейкозного процесса при BLV-инфекции на основе аминокислотного полиморфизма возбудителя и комплекса иммуно-биохимических критериев крупного рогатого скота

С. В. Стасюк, О. В. Зинина, О. П. Неверова 340
 Разработка ферментированного напитка на основе творожной сыворотки и растительных белков

Экономика

Л. Е. Красильникова, А. Н. Бударина, Д. А. Баландин 353
 Сохранение сельскохозяйственных угодий как фактор резильентности сельских территорий региона

Ю. Г. Полулях, Д. В. Сердобинцев, Л. Ю. Ададимова, Е. А. Алешина 366
 Совершенствование межрегиональных продовольственных связей регионов Поволжья

Д. Ю. Самыгин, А. В. Носов, Ю. Д. Бакhteев, Д. А. Мурзин 381
 Анализ процесса стратегирования устойчивого развития агропродовольственного сектора

И. П. Чупина, В. И. Набоков, Т. В. Зырянова 394
 Оценка уровня продовольственного самообеспечения индустриального региона (на примере Свердловской области)

Contents

I. M. Petrova, M. V. Bytov, S. L. Khatsko, O. V. Sokolova, L. I. Drozdova, I. A. Shkuratova
 Morphological changes in the liver of piglets and sows and their correlation with the expression of antioxidant enzymes content

M. V. Petropavlovskiy, A. P. Poryvaeva, N. A. Bezborodova, O. Yu. Oparina, A. G. Isaeva, A. I. Belousov, A. S. Badretdinova
 Characterization of the leukemic process in BLV infection based on the amino acid polymorphism of the pathogen and a complex of immuno-biochemical criteria in cattle

S. V. Stasyuk, O. V. Zinina, O. P. Neverova
 Development of a fermented drink based on curd whey and plant proteins

Economy

L. E. Krasilnikova, A. N. Budarina, D. A. Balandin
 Preservation of agricultural lands as a factor in the resilience of rural areas of the region

Yu. G. Polulyakh, D. V. Serdobintsev, L. Yu. Adadimova, E. A. Aleshina
 Improvement of inter-regional food relations in the Volga region

D. Yu. Samygin, A. V. Nosov, Yu. D. Bakhteev, D. A. Murzin
 Analysis of the process of strategizing sustainable development of the agri-food sector

I. P. Chupina, V. I. Nabokov, T. V. Zyryanova
 Assessment of the level of food self-sufficiency in an industrial region (using the Sverdlovsk region as an example)

Морфофизиологические особенности *Allium cepa* и *Allium sativum* при выращивании «на зелень» в условиях дефицита азота

А. А. Бетехтина, А. В. Малахеева, Г. Г. Борисова, О. В. Воропаева, М. Г. Малева[✉]

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: maria.maleva@mail.ru

Аннотация. Важнейшим направлением развития сельского хозяйства является выявление культурных растений с морфологическими параметрами корней, обеспечивающими эффективное поглощение азота из почвы. **Цель** исследования – оценка морфофизиологических особенностей и количества бактерий азотного цикла в ризосфере двух представителей рода *Allium* (*A. cepa* и *A. sativum*), выращенных «на зелень» в условиях дефицита азота. **Методы.** Изучены морфофизиологические характеристики модельных видов растений, выращенных в течение 10 недель при естественном освещении и комнатной температуре на малоплодородном субстрате как при двукратном внесении аммиачной селитры (30 мг N/kg почвы), так и в отсутствие азотного удобрения. Выполнена количественная оценка бактерий азотного цикла, выделенных из ризосферы модельных культур. **Результаты.** В условиях ограниченного азотного питания *A. cepa* и *A. sativum* характеризовались меньшей биомассой (в среднем в 3,5 раза), пониженным содержанием фотосинтетических пигментов (в 1,7 раза) и общего азота (в 1,6 раза) по сравнению с растениями, выращенными при его добавлении. Внесение N увеличивало у *A. sativum* радиус корня и стелы боковых корней, толщины паренхимы коры и числа слоев клеток в ней в отличие от *A. cepa* и способствовало его большему накоплению. В ризосфере обоих видов растений выявлено преобладание азотфиксаторов по сравнению с аммонификаторами и нитрификаторами. При этом количество денитрификаторов у *A. cepa* было в 14 раз выше по сравнению с *A. sativum*. **Научная новизна.** Впервые в условиях дефицита азота изучены анатомо-морфофизиологические особенности боковых корней *A. cepa* и *A. sativum* и выполнена количественная оценка бактерий азотного цикла в ризосфере этих культур. Выявленные структурные перестройки боковых корней *A. sativum* при ограниченном содержании азота в субстрате способствуют более эффективному поглощению и накоплению N в биомассе по сравнению с *A. cepa*.

Ключевые слова: лук репчатый, чеснок озимый, азотный цикл, биомасса растений, фотосинтетические пигменты, структура боковых корней, ризосферные бактерии

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00248, <https://rscf.ru/project/24-26-00248/>

Для цитирования: Бетехтина А. А., Малахеева А. В., Борисова Г. Г., Воропаева О. В., Малева М. Г. Морфофизиологические особенности *Allium cepa* и *Allium sativum* при выращивании «на зелень» в условиях дефицита азота // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 207–220. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-207-220>.

Дата поступления статьи: 04.06.2025, **дата рецензирования:** 30.09.2025, **дата принятия:** 08.12.2025.

Morphophysiological features of *Allium cepa* and *Allium sativum* when grown “for greens” under conditions of nitrogen deficiency

A. A. Betekhtina, A. V. Malakheeva, G. G. Borisova, O. V. Voropaeva, M. G. Maleva 

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

 E-mail: maria.maleva@mail.ru

Abstract. The most important area of agricultural development is the identification of crop plants with root morphological parameters that ensure efficient nitrogen absorption from the soil. **The purpose** of the study was to assess the morphophysiological characteristics and the number of nitrogen cycle bacteria in the rhizosphere of two representatives of the genus *Allium* (*A. cepa* and *A. sativum*) grown "for greens" under nitrogen deficiency conditions. **Methods.** The morphophysiological characteristics of model plant species grown for 72 days under natural light and room temperature on a low-fertility substrate were studied both with double application of ammonium nitrate (30 mg N/kg of soil) and in the absence of nitrogen fertilizer. A quantitative assessment of the nitrogen cycle bacteria isolated from the rhizosphere of model crops was performed. **Results.** Under conditions of limited nitrogen nutrition, *A. cepa* and *A. sativum* were characterized by lower biomass (on average 3.5 times), reduced content of photosynthetic pigments (1.7 times) and total nitrogen (1.6 times) compared to plants grown with its addition. The introduction of N increased the radius of the root and stele of lateral roots, the thickness of the bark parenchyma and the number of cell layers in it in *A. sativum*, unlike *A. cepa*, and contributed to its greater accumulation. In the rhizosphere of both plant species, nitrogen fixers predominated compared to ammonifiers and nitrifiers. At the same time, the number of denitrifiers in *A. cepa* was 14 times higher compared to *A. sativum*. **Scientific novelty.** For the first time the anatomical and morphological features of the lateral roots of *A. cepa* and *A. sativum* were studied under nitrogen deficiency conditions, and a quantitative assessment of the nitrogen cycle bacteria in the rhizosphere of these crops was performed. The revealed structural rearrangements of the lateral roots of *A. sativum* with a limited nitrogen content in the substrate contribute to more efficient absorption and accumulation of N in the biomass compared to *A. cepa*.

Keywords: onion, winter garlic, nitrogen cycle, plant biomass, photosynthetic pigments, lateral root structure, rhizosphere bacteria

Acknowledgements. The study was supported by Russian Science Foundation grant No. 24-26-00248, <https://rscf.ru/project/24-26-00248/>

For citation: Betekhtina A. A., Malakheeva A. V., Borisova G. G., Voropaeva O. V., Maleva M. G. Morphophysiological features of *Allium cepa* and *Allium sativum* when grown "for greens" under conditions of nitrogen deficiency. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 207–220. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-207-220>. (In Russ.)

Date of paper submission: 04.06.2025, **date of review:** 30.09.2025, **date of acceptance:** 08.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Азот (N) является важнейшим биотфильным элементом, жизненно необходимым для роста растений, поэтому использование азотных удобрений – основная экономическая статья расходов в аграрном секторе при выращивании сельскохозяйственных культур [1–3].

Почвенный N представлен соединениями трех групп, различающимися по степени доступности для растений. К первой группе относятся минеральные соединения N, являющиеся непосредственно источниками их питания. Ко второй группе относятся легкогидролизуемые органические соединения N, минерализующиеся в первую очередь

с образованием доступных для растения форм. Основную же часть составляют негидролизуемые органические соединения, трудно поддающиеся минерализации [3; 4].

Содержание N в пахотных почвах зависит от идущих в противоположных направлениях процессов: происходит, с одной стороны, увеличение количества доступных форм за счет минерализации органических веществ, включая гумус, а также биологической фиксации атмосферного N; с другой стороны – уменьшение его количества при потреблении культурами и в результате иммобилизации, вымывания, денитрификации и фиксации почвой [4; 5].

Культурные растения используют только около 30 % N, вносимого в почву, тогда как более 60 % N почвы утрачивается в процессе выщелачивания, поверхностного стока и денитрификации [6]. В последние десятилетия наблюдается рост биогеохимического дисбаланса N в биосфере. В частности, баланс N в земледелии Российской Федерации за последние 25 лет оценивается как остродефицитный [5].

Разные виды культурных растений обычно различаются по содержанию общего N. Это связывают прежде всего с различием в протекании основных жизненных процессов – роста, выживания и размножения. В основе продукционного процесса растений лежит сопряжение воздушного и корневого питания. На основании этого можно предположить, что содержание N в листьях однодольных культурных растений так или иначе связано с особенностями в строении их корней [3; 7].

Растения поглощают и усваивают N преимущественно в нитратной (NO_3^-) и аммонийной (NH_4^+) формах, при этом в большинстве сельскохозяйственных почв NO_3^- являются преобладающими [4]. После внесения удобрений формируется высокая концентрация NH_4^+ в очаге размещения удобрений, который в аэробных условиях быстро преобразуется в NO_3^- в результате процесса нитрификации. Нитрат-ионы легко диффундируют по почвенному профилю [8]. В итоге в почве во время осадков высока вероятность перемещения NO_3^- ниже зоны питания корней, что снижает вероятность поглощения этих анионов корнями у видов с неглубокой корневой системой [9].

Лук репчатый (*Allium cepa* L.) и чеснок (*Allium sativum* L.) – важные луковичные культуры, выращиваемые в различных климатических зонах для потребления «на зелень», в качестве специй или приправ [1; 2; 10–12]. Чеснок является второй по распространенности культурой из семейства *Alliaceae* после лука [13]. Эти растения содержат много биологически активных веществ, характеризующихся антиоксидантной, антимикробной и антиканцерогенной активностью [10; 14; 15].

Одним из путей селекции культурных растений является отбор видов/сортов с признаками корней, которые обеспечивают эффективное поглощение азота [3; 8; 16], особенно в условиях его низкой доступности. К таким характеристикам относятся преимущественно анатомические признаки, которые, во-первых, могут отражать энергетические затраты на образование и поддержание поглощающих корней; во-вторых, могут быть связаны с эффективностью поглощения растворов минеральных веществ и скоростью их радиального транспорта; в-третьих, позволяют создавать эффективные взаимодействия с микроорганизмами азотного цикла. Ранее было показано, что более низкая «стоимость»

корней может быть связана с развитием аэренхимы или с уменьшением числа слоев клеток паренхимы коры [3]. Такие изменения структуры паренхимы коры корня приводят к сокращению числа живых клеток, что является важным фактором снижения затрат на дыхание [3; 7]. Показано также, что корни с редукцией числа слоев клеток паренхимы активнее осуществляют радиальный транспорт растворов минеральных веществ из-за снижения апопластического барьера [3].

Каркас корневой системы у представителей семейства *Alliaceae* образуют придаточные корни, которые закладываются на донце луковицы. На придаточных корнях закладываются боковые, которые по общей протяженности составляют наибольшую долю от совокупной длины корневой системы. Они преимущественно выполняют функцию поглощения воды и питательных веществ [17]. Внимание большинства исследователей сосредоточено на внутреннем строении придаточных корней, тогда как структура боковых корней изучена в меньшей степени, несмотря на то что они имеют большее значение для минерального питания растений. Кроме того, строение корней определяет обеспеченность ризобиома углеродсодержащими соединениями, что влияет на количество и функциональный состав микроорганизмов, однако растительно-микробные взаимодействия в данном аспекте также изучены недостаточно.

Цель исследования – выявление морфофизиологических особенностей и количественная оценка бактерий азотного цикла в ризосфере двух представителей рода *Allium* (*A. cepa* и *A. sativum*), выращенных «на зелень» в условиях N-дефицита. Изучение адаптивных способностей однодольных культур к недостатку N в связи со строением боковых корней будет способствовать целенаправленному отбору видов и сортов с корневыми системами, способными к эффективному поглощению N из почвы, что позволит смягчить последствия его дефицита.

Методология и методы исследования (Methods)

В качестве объекта исследования были выбраны два представителя рода *Allium* L.: *A. cepa* (лук репчатый, сорт На зелень) и *A. sativum* (чеснок озимый, сорт Памяти Новичкова). Растения выращивали в течение 10 недель в марте – мае 2024 года при естественном освещении и комнатной температуре на малопродуктивном субстрате (вариант «-N»). Для его приготовления была использована дерново-подзолистая почва гумусового горизонта ($\text{pH}_{\text{водн.}} = 5,7$; содержание общего азота – 0,25 %). Почву смешивали с торфом верховым нейтрализованным (производитель «Селигер-Агро», Россия), глиной и чистым речным песком в пропорции 1 : 1 : 1 : 2, по объему. Такой субстрат имел реакцию среды, близкую к нейтральной ($\text{pH}_{\text{водн.}} = 6,7$), содержание общего N – 0,15 %, содержание форм N-NO_3^- и

$N-NH_4^+$ – 0,3 и 0,04 мг/100 г, соответственно. Субстрат помещали в пластиковые вегетационные сосуды (1,2 л), в которые высаживали здоровые семена выбранных культур: *A. cerea* – 50, *A. sativum* – 25 штук. Во все сосуды однократно вносили фосфор в виде раствора монокальцийфосфата (20 мг P/кг почвы) через 14 дней после посева. Кроме того, в половину опытных образцов двукратно (с разрывом в 2 недели) вносили азот (30 мг N/кг почвы) в форме раствора аммиачной селитры (вариант «+N»). Каждый вариант был представлен тремя повторностями (3 сосуда). Полив растений производили дистиллированной водой по мере подсыхания субстрата (2–3 раза в неделю). После окончания эксперимента растения аккуратно извлекали вместе с корневой системой и отбирали ризосферную почву в стерильные полипропиленовые пробирки (типа Фалькон) для дальнейшей количественной оценки бактерий азотного цикла. Остатки ризосферного грунта высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали, просеивали через сито (диаметром 0,25 мм) и использовали для определения pH и содержания разных форм азота.

Растения отмывали от частичек почвы и разделяли на надземные и подземные органы. Пробы придаточных корней с расположенными на них боковыми корнями фиксировали в 70 -процентном этаноле для дальнейшего анализа структуры последних. Определяли общепринятый комплекс признаков, связанный с экологическими свойствами растений и дополненный оригинальными характеристиками: радиус корня, коры и стелы, площадь поперечного сечения корня и стелы, число слоев клеток паренхимы коры и встречаемость аэренхимы [18].

У растений измеряли параметры роста: длину листьев, сырую и сухую биомассу надземных и подземных органов. Высечки из свежих листьев растений использовали для определения содержания фотосинтетических пигментов. Измерение хлорофилла *a* (Хл *a*), хлорофилла *b* (Хл *b*) и каротиноидов проводили спектрофотометрически при 470, 647 и 663 нм (PD303UV Apel, Япония) после экстракции в охлажденном 80-процентном ацетоне. Содержание фотосинтетических пигментов рассчитывали так, как описано ранее [19], и выражали в мг/г сухого веса.

Для определения содержания общего N в надземной биомассе исследуемых видов часть листьев рандомно отобранных растений из каждого сосуда высушивали при 75 °С в течение 24 часов, гомогенизировали и формировали три композитных пробы. Содержание общего N в растениях и субстрате определяли спектрофотометрически при 400 нм (“APEL” PD-303UV, Япония) после мокрого озоления растительного материала смесью кислот – H_2SO_4 и $HClO_4$ (в соотношении 10 : 1 по объему)

и дальнейшей реакции с реактивом Несслера. Количество общего N в надземной биомассе растений рассчитывали в мг/г сухого веса и в мг/растение; а в воздушно-сухом субстрате – в процентах.

Содержание щелочногидролизуемого N, который характеризует содержание аммонийной формы и потенциально доступных для растений органических соединений азота, определяли в образцах субстрата путем гидролиза органических соединений почвы 1 М раствором NaOH [20]. После поглощения выделившегося аммиака (включая обменный аммоний) 5-процентным раствором борной кислоты проводили титрование стандартным раствором 0,005 М серной кислоты. Содержание $N-NO_3^-$ и $N-NH_4^+$ определяли в водной вытяжке субстрата (в соотношении 1 : 2,5; вес : объем) методом прямой потенциометрии с помощью универсального иономера (И160МИ, ООО «Измерительная техника», Россия), используя ионселективный электрод (ЭЛИС-121NH₄, Россия) и хлорсеребряный электрод сравнения (ЭСр-10101/3.5K80.4, Россия). Концентрацию ионов определяли по калибровочным кривым, полученным в интервале концентрации от 10^{-5} до 10^{-1} М тестируемых ионов [21].

Общее количество азотфиксирующих бактерий в ризосфере исследуемых видов растений определяли путем последовательных посевов на агаризованную питательную среду Эшби, в составе которой отсутствовал источник N [22]. Предварительно около 1 г почвы смешивали с 9 мл стерильного 0,85-процентного раствора NaCl и встряхивали в орбитальном шейкере при 180 об/мин в течение 10 минут при 28 ± 2 °С. Для получения изолированных колоний готовили ряд последовательных разведений (коэффициент разведения – 10). Высевы на плотную питательную среду проводили с 4-го по 6-е разведение глубинным способом (по 1 мл) с каждого вегетационного сосуда (в двух повторностях). Для роста азотфиксаторов чашки Петри инкубировали при 28 ± 2 °С в термостате ТСО-1/80 СПУ (Россия) в течение 5 суток. Способность к переводу молекулярного N в аммонийный определяли по наличию обильного роста колоний и пересчитывали в колониеобразующих единицах (КОЕ) на 1 г сухой почвы.

Определение количества денитрификаторов, аммонификаторов и нитрификаторов проводили высевом почвенной суспензии в соответствующие жидкие питательные среды методом предельных разведений [22; 23]. В пробирки разливали по 9 мл среды для исследуемых физиологических групп микроорганизмов, после чего делали серию десятикратных разведений из суспензии почвы. Инкубацию засеянных пробирок проводили при температуре 28 ± 2 °С в течение 5 суток (денитрификаторы, аммонификаторы) или 14 суток (нитрификаторы). После инкубации отмечали наличие или отсутствие

роста бактерий в пробирке и составляли числовую характеристику. Наиболее вероятное число (НВЧ) клеток в 1 г сухой почвы рассчитывали по составленной числовой характеристике с использованием таблицы Мак-Креди [22].

Для определения аммонификаторов бактерии культивировали на мясопептонном бульоне, содержащем 3 % пептона. При посеве между стенкой и пробкой каждой пробирки подвешивали полоски фильтровальной и лакмусовой бумажек, смоченных 5-процентным водным раствором $Pb(CH_3COO)_2$ и $H_2O_{дист.}$ соответственно. Идентификацию аммонификаторов проводили по наличию выделяющихся газов аммиака, сероводорода и меркаптанов [22].

Количество нитрификаторов определяли на среде Виноградского (г/л): $(NH_4)_2SO_4 - 2,0$; $K_2HPO_4 - 1,0$; $MgSO_4 \times 8H_2O - 0,5$; $NaCl - 2,0$; $FeSO_4 \times 7H_2O - 0,05$; $CaCO_3 - 5,0$. Для определения количества денитрификаторов использовали модифицированную питательную среду Луриа – Бергани (LB) с добавлением $NaNO_3$ в концентрации 1 г/л. После культивирования бактерий определяли наличие нитрит- и нитрат-ионов добавлением реактива Грисса и порошка Zn [22; 23].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета программ MS-Excel 16.0 и Statistica 13.0 (StatSoft, Inc., США). В таблицах и на рисунках представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки (SE). После оценки нормальности распределения достоверность различий между вариантами оценивали с помощью критерия Тьюки (Tukey HSD-test) при $p < 0,05$. На рисунках и в таблицах разными строчными и заглавными буквами латинского алфавита обозначены достоверные различия между вариантами в диапазоне изменений каждого параметра.

Результаты (Results)

В условиях ограниченного азотного питания высота 72-дневных сеянцев *A. cerea* и *A. sativum* растений составляла в среднем 17 см, что было в 1,7 раза меньше, чем у «+N»-растений (рис. 1, а, б). При этом сырая надземная биомасса у *A. cerea* была ниже в 3,3, а у *A. sativum* – в 3,8 раза, чем у «+N»-сеянцев (рис. 1, в). Величина сырой подземной биомассы при добавлении азота увеличивалась в меньшей степени – в среднем в 2,6 раза (рис. 1, в). Сухая надземная биомасса у «-N»-растений *A. cerea* и *A. sativum* была ниже в 2,7 и в 3,8 раза, а подземная – в 5,7 и 2,7 раза соответственно по сравнению с «+N»-проростками (рис. 1, г).

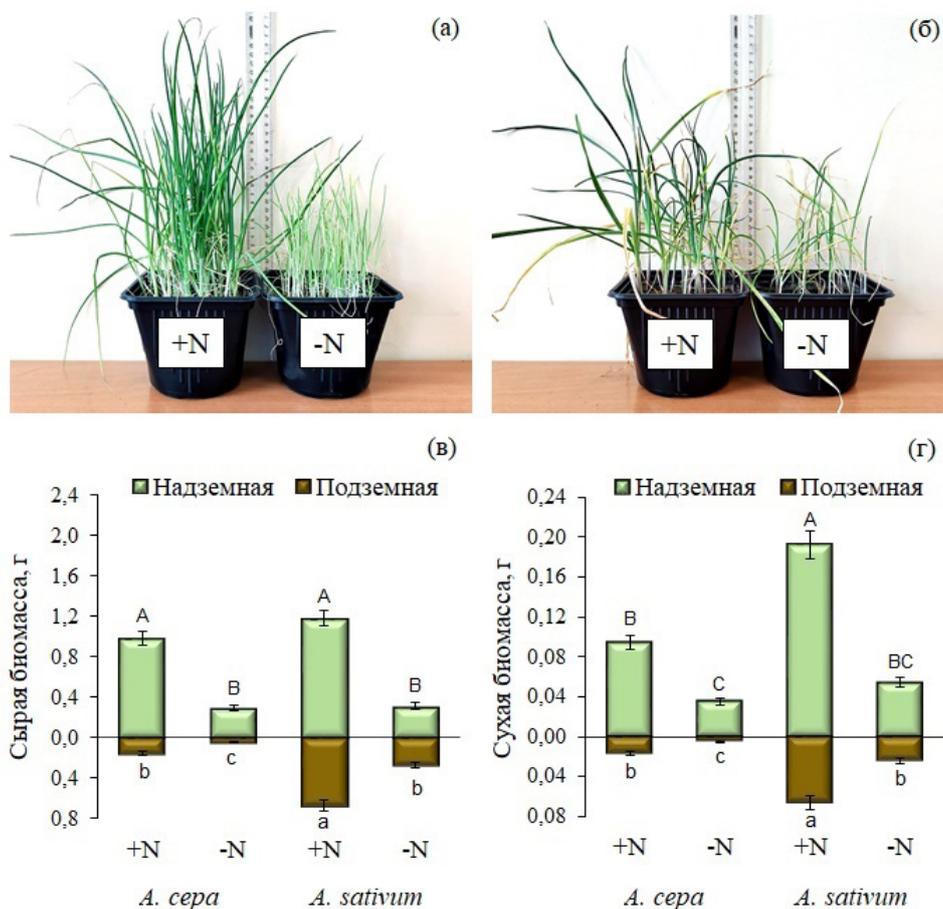


Рис. 1. Внешний вид *A. cerea* (а) и *A. sativum* (б); сырая (в) и сухая (г) биомасса растений, выращенных «на зелень» на малоплодородном субстрате с внесением (+N) и без внесения (-N) азота

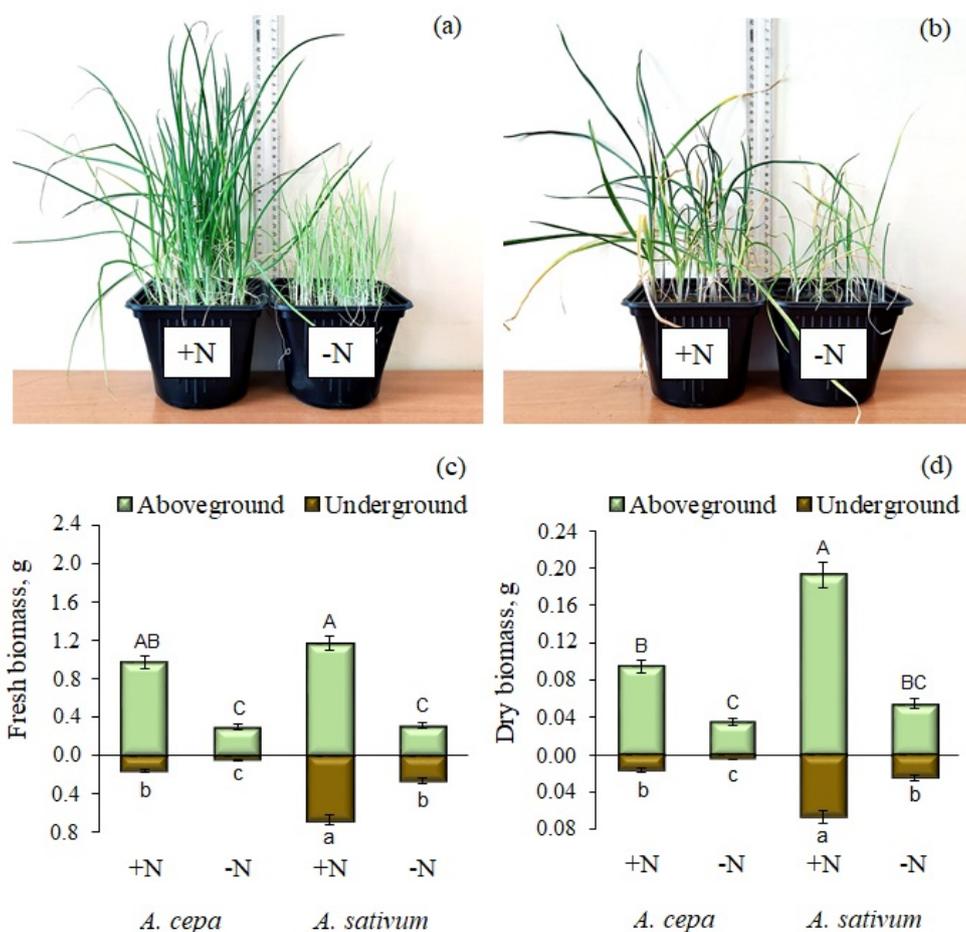


Fig. 1. External appearance of *A. cepa* (a) and *A. sativum* (b); fresh (c) and dry (d) biomass of plants grown “for greens” on a low-fertility substrate with (+N) and without (-N) nitrogen application

Таким образом, добавление азота даже в небольшом количестве вызывало однонаправленное изменение морфометрических параметров у модельных видов. Однако, несмотря на однотипные ответные реакции изученных растений на внесение азота, абсолютный прирост сухой надземной и подземной биомассы у *A. sativum* был существенно выше, чем у *A. cepa* (в 2,3 и 3,0 раза соответственно), тогда как по приросту сырой массы значимые межвидовые различия были отмечены только в отношении корней (рис. 1, в, г). В целом «+N»-сеянцы *A. sativum* по сухой надземной и подземной биомассе превосходили соответствующие параметры у «+N»-сеянцев *A. cepa* (в среднем в 3 раза). В условиях дефицита азота у *A. cepa* отношение подземной биомассы к надземной снижалось на 20 %, тогда как у *A. sativum*, напротив, увеличивалось на 30 % по сравнению с «+N»-проростками.

Добавление N в почву приводило к существенному возрастанию содержания фотосинтетических пигментов в листьях модельных видов. Наибольшее увеличение количества Хл a и Хл b наблюдалось у *A. cepa* (в среднем в 2,0 раза), тогда как у *A. sativum* оно увеличивалось в среднем в 1,5 раза (рис. 2, а).

Содержание каротиноидов в листьях *A. cepa* и *A. sativum* при N-дефиците было ниже в 1,6 и 212

1,8 раза соответственно по сравнению с «+N»-растениями (рис. 2, б). По содержанию фотосинтетических пигментов изученные виды достоверно отличались: количество хлорофиллов было выше в листьях *A. cepa* (в среднем в 1,6 раза), а каротиноидов, напротив, в листьях *A. sativum* (в 1,5 раза).

Соотношение хлорофиллов у исследуемых видов рода *Allium* достоверно не менялось и в среднем составляло 2,0 (рис. 2, в) независимо от содержания в почве N. Отношение хлорофиллов к каротиноидам у *A. cepa* при внесении N достоверно увеличивалось, что объясняется более высоким приростом содержания хлорофиллов по сравнению с каротиноидами (рис. 2, г). Для растений *A. sativum* отмечена обратная тенденция: у «+N»-растений это соотношение было выше по сравнению с «-N»-проростками.

В условиях ограниченного азотного питания содержание общего N в надземной и подземной биомассе *A. cepa* было ниже, чем у «+N»-растений, в 1,9 и 1,6 раза соответственно (таблица 1). Аналогичная тенденция была отмечена и в отношении содержания N в биомассе *A. sativum*: как в листьях, так и в корнях «-N»-растений оно было ниже в 1,3 раза по сравнению с «+N»-растениями.

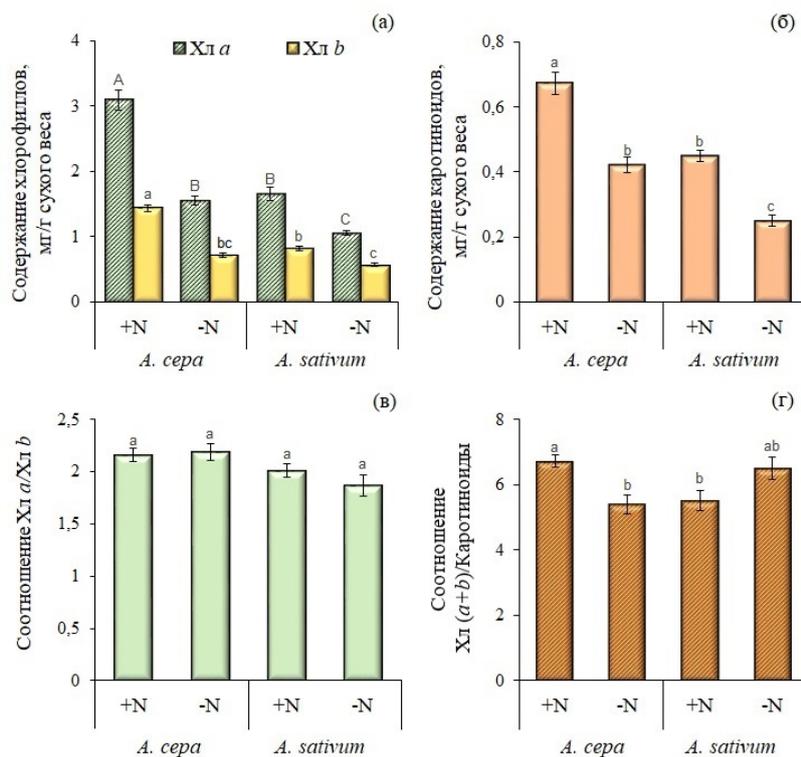


Рис. 2. Содержание хлорофиллов (а), каротиноидов (б), соотношение между хлорофиллами (в) и между хлорофиллами и каротиноидами (г) у *A. cepa* и *A. sativum*, выращенных «на зелень» на малопродуктивном субстрате с внесением (+N) и без внесения (-N) азота

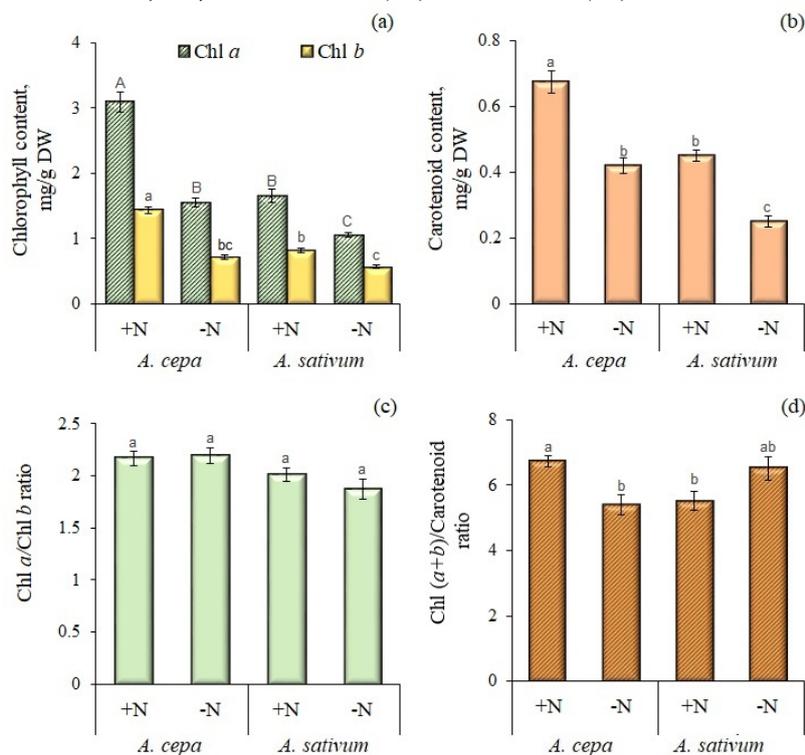


Fig. 2. The content of chlorophylls (a), carotenoids (b), the ratio between chlorophylls (c) and between total chlorophylls and carotenoids (d) in *A. cepa* and *A. sativum* grown "for greens" on a low-fertility substrate with (+N) and without (-N) nitrogen application

При этом в расчете на растение количество N в надземной и подземной биомассе у *A. cepa* и *A. sativum* было меньше, чем при внесении азотного удобрения, в среднем в 5,3 и 4,0 раза соответствен-

но, что связано как с пониженным содержанием N на единицу веса, так и с меньшей биомассой растений (таблица 1).

Таблица 1
Содержание азота в биомассе *A. cepa* и *A. sativum*, выращенных «на зелень» на малоплодородном субстрате с внесением (+N) и без внесения (-N) азота

Содержание азота		<i>A. cepa</i>		<i>A. sativum</i>	
		+N	-N	+N	-N
мг/г сухого веса	Надземная	25,06 ± 1,78 ^b	13,35 ± 0,26 ^c	31,03 ± 1,72 ^a	23,55 ± 0,76 ^b
	Подземная	23,22 ± 0,75 ^b	14,63 ± 0,15 ^d	26,99 ± 0,12 ^a	20,44 ± 0,30 ^c
мг/растение	Надземная	2,34 ± 0,39 ^b	0,47 ± 0,08 ^c	5,75 ± 0,52 ^a	1,29 ± 0,03 ^c
	Подземная	0,40 ± 0,06 ^b	0,07 ± 0,01 ^c	1,79 ± 0,29 ^a	0,50 ± 0,03 ^b

Примечание. Здесь и далее: разными надстрочными буквами латинского алфавита (^{a, b, c, d}) обозначены достоверные различия между вариантами в диапазоне изменений каждого параметра при p < 0,05.

Table 1
Nitrogen content in the biomass of *A. cepa* and *A. sativum* grown “for greens” on a low-fertility substrate with (+N) and without (-N) nitrogen application

Nitrogen content		<i>A. cepa</i>		<i>A. sativum</i>	
		+N	-N	+N	-N
mg/g DW	Aboveground	25.06 ± 1.78 ^b	13.35 ± 0.26 ^c	31.03 ± 1.72 ^a	23.55 ± 0.76 ^b
	Underground	23.22 ± 0.75 ^b	14.63 ± 0.15 ^d	26.99 ± 0.12 ^a	20.44 ± 0.30 ^c
mg/plant	Aboveground	2.34 ± 0.39 ^b	0.47 ± 0.08 ^c	5.75 ± 0.52 ^a	1.29 ± 0.03 ^c
	Underground	0.40 ± 0.06 ^b	0.07 ± 0.01 ^c	1.79 ± 0.29 ^a	0.50 ± 0.03 ^b

Note: Hereinafter different superscript Latin letters (^{a, b, c, d}) indicate significant differences between the treatments in the range of changes of each parameter at p < 0.05.

Таблица 2
Структурные характеристики боковых корней *A. cepa* и *A. sativum*, выращенных «на зелень» на малоплодородном субстрате с внесением (+N) и без внесения (-N) азота

Параметр		<i>A. cepa</i>		<i>A. sativum</i>	
		+N	-N	+N	-N
Радиус, мкм	корня	166,85 ± 4,90 ^b	155,50 ± 6,51 ^b	316,25 ± 12,82 ^a	194,42 ± 6,65 ^b
	стелы	30,27 ± 1,26 ^b	25,08 ± 2,30 ^b	53,46 ± 2,36 ^a	25,50 ± 1,01 ^b
Доля стелы в площади поперечного сечения корня, %		3,32 ± 0,14 ^a	2,88 ± 0,36 ^a	3,01 ± 0,17 ^a	1,99 ± 0,18 ^b
Толщина паренхимы коры, мкм		79,24 ± 3,53 ^c	89,75 ± 5,72 ^c	200,87 ± 10,98 ^a	129,92 ± 5,11 ^b
Число слоев паренхимы коры, шт.		3,33 ± 0,09 ^b	3,01 ± 0,08 ^b	7,48 ± 0,29 ^a	3,90 ± 0,1 ^b

Table 2
Structural characteristics of lateral roots of *A. cepa* and *A. sativum* grown “for greens” on low-fertility substrate with (+N) and without (-N) nitrogen application

Parameter		<i>A. cepa</i>		<i>A. sativum</i>	
		+N	-N	+N	-N
Radius, μm	root	166.85 ± 4.90 ^b	155.50 ± 6.51 ^b	316.25 ± 12.82 ^a	194.42 ± 6.65 ^b
	stela	30.27 ± 1.26 ^b	25.08 ± 2.30 ^b	53.46 ± 2.36 ^a	25.50 ± 1.01 ^b
The stela proportion in the root cross-sectional area, %		3.32 ± 0.14 ^a	2.88 ± 0.36 ^a	3.01 ± 0.17 ^a	1.99 ± 0.18 ^b
Thickness of cortex parenchyma, μm		79.24 ± 3.53 ^c	89.75 ± 5.72 ^c	200.87 ± 10.98 ^a	129.92 ± 5.11 ^b
Number of layers of cortex parenchyma, pcs.		3.33 ± 0.09 ^b	3.01 ± 0.08 ^b	7.48 ± 0.29 ^a	3.90 ± 0.1 ^b

Следует отметить межвидовые различия по содержанию N в надземной биомассе: в листьях *A. sativum* его количество было выше, чем у *A. cepa*, в среднем в 1,5 раза, а в корнях – в 1,3 раза. В расчете на растение с учетом как надземной, так и подземной биомассы содержание азота у *A. sativum* было в среднем в 3 раза выше по сравнению с *A. cepa* (таблица 1).

У *A. cepa* радиусы корня и стелы в условиях N-дефицита достоверно не отличались от этих параметров «+N»-растений, тогда как у *A. sativum* снижались в 1,6 и в 2,1 раза соответственно (табли-

ца 2). Доля стелы в площади поперечного сечения корня у модельных «-N»-растений в среднем составляла 2,4 % и возросла до 3,2 % при внесении N. При этом минимальным значением отличались «-N»-проростки *A. sativum* (таблица 2). Толщина паренхимы коры у «-N»- и «+N»-растений *A. cepa* достоверно не отличалась, в то время как у *A. sativum* в условиях ограниченного азотного питания была ниже, чем при добавлении N (на 55 %). При этом число слоев паренхимы у *A. cepa* достоверно не менялось, тогда как у *A. sativum* было почти в 2 раза ниже, чем у «+N»-растений. В корнях всех модель-

ных растений были обнаружены аэренхима и утолщенная экзодерма.

Анализ количества бактерий, выполняющих разные функции в биогеохимическом цикле N, в ризосфере исследуемых видов, показал значимое преобладание во всех вариантах азотфиксаторов по сравнению с аммонификаторами и нитрификаторами (таблица 3). При этом наблюдалась тенденция к увеличению их количества при внесении N (в среднем в 3,5 раза). В субстрате без растений количество азотфиксаторов было на порядок ниже, чем после выращивания растений (таблица 3).

Количество денитрификаторов в ризосфере *A. cepa* было в 14 раз выше по сравнению с *A. sativum* и почти в 6 раз выше, чем в субстрате без растений (таблица 3).

Количество щелочногидролизуемого N в среднем составляло 5 % от общего (таблица 4). Доля $N-NH_4^+$ от щелочногидролизуемого N составляла в среднем 0,2 % под растениями и 0,5 % – без растений, тогда как остальное его количество было представлено N легкогидролизуемых органических соединений. Содержание $N-NO_3^-$ в почве доминировало над $N-NH_4^+$: после выращивания растений оно было выше в среднем в 60 раз. При этом внесение аммонийной селитры (суммарно 60 мг N/кг субстрата) значимо на количестве и соотношении этих минеральных форм N не отразилось, что свя-

зано с активным потреблением этого элемента растениями. В субстрате без растений в условиях N-дефицита количество $N-NO_3^-$ было таким же, как в вариантах с растениями. Однако при внесении азотного удобрения оно было в 14 раз выше по сравнению с вариантами с растениями, что указывает на их ключевую роль в N-потреблении.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Эффективное поглощение и усвоение азота относятся к важнейшим процессам, определяющим жизнедеятельность и продуктивность растений [1; 4]. Азот – составная часть всех аминокислот, белков, нуклеотидов, фосфолипидов, хлорофилла и других важных биомолекул [2; 3]. Азотное голодание растений в молодом возрасте вызывает слабое развитие ассимилирующей поверхности и отставание их в росте [4]. В условиях недостаточного азотного питания как надземная, так и подземная биомасса модельных сеянцев *A. cepa* и *A. sativum* была существенно ниже, чем при его внесении. Аналогичные результаты были получены и другими авторами при изучении продукционного процесса у этих видов в зависимости от обеспеченности азотом [1; 2; 11]. Согласно исследованиям, усиленный рост растений может быть обусловлен прямой ролью N в качестве важнейшего структурного компонента, необходимого для синтеза аминокислот, а следовательно, и белков [1].

Таблица 3

Количество бактерий азотного цикла в ризосфере *A. cepa* и *A. sativum*, выращенных «на зелень» на малоплодородном субстрате с внесением (+N) и без внесения (–N) азота

Вариант	Внесение N	¹ Азот-фиксаторы, $\times 10^6$ КОЕ/г сухой почвы	² Аммонификаторы, $\times 10^6$ НВЧ/г сухой почвы	² Нитрификаторы, $\times 10^3$ НВЧ/г сухой почвы	² Денитрификаторы, $\times 10^6$ НВЧ/г сухой почвы
<i>A. cepa</i>	+N	10,71 \pm 0,44 ^a	0,2	0,025–15,0	7,5
	–N	6,88 \pm 0,08 ^{ab}	1,5	0,045–1,50	9,5
<i>A. sativum</i>	+N	5,80 \pm 0,54 ^{ab}	0,45	0,025–9,50	0,25
	–N	1,09 \pm 0,02 ^{bc}	0,75	0,009–4,50	0,95
Субстрат без растений	+N	0,68 \pm 0,06 ^c	0,75	0,045–0,95	1,5
	–N	0,61 \pm 0,03 ^c	0,75	0,040–0,95	1,5

Примечание. ¹ Среднеарифметическое значение \pm SE ($n = 6$); разными надстрочными буквами латинского алфавита обозначены достоверные различия между вариантами при $p < 0,05$. ² Наиболее вероятное число (MPN) ризобактерий, рассчитанное на основе четырех независимых разведений.

Table 3

The number of nitrogen cycle bacteria in the rhizosphere of *A. cepa* and *A. sativum* grown “for greens” on a low-fertility substrate with (+N) and without (–N) nitrogen application

Variant	N application	¹ Nitrogen-fixing, $\times 10^6$ SFU/g of dry soil	² Ammonifying, $\times 10^6$ MPN/g of dry soil	² Nitrifying, $\times 10^3$ MPN/g of dry soil	² Denitrifying, $\times 10^6$ MPN/g of dry soil
<i>A. cepa</i>	+N	10.71 \pm 0.44 ^a	0.2	0.025–15.0	7.5
	–N	6.88 \pm 0.08 ^{ab}	1.5	0.045–1.50	9.5
<i>A. sativum</i>	+N	5.80 \pm 0.54 ^{ab}	0.45	0.025–9.50	0.25
	–N	1.09 \pm 0.02 ^b	0.75	0.009–4.50	0.95
Unplanted substrate	+N	0.68 \pm 0.06 ^c	0.75	0.045–0.95	1.5
	–N	0.61 \pm 0.03 ^c	0.75	0.040–0.95	1.5

Note. ¹ Mean value \pm SE ($n = 6$); different superscript Latin letters indicate significant differences between the treatments in the range of changes of each parameter at $p < 0.05$. ² Most probable number (MPN) of rhizobacteria calculated based on four independent dilutions.

Таблица 4

Содержание разных форм азота в субстрате после эксперимента

Вариант	Внесение N	Общий N, %	Щелочно-гидролизующий N, мг/100 г почвы	N-NO ₃ ⁻ , мг/100 г почвы	N-NH ₄ ⁺ , мг/100 г почвы
<i>A. cepa</i>	+N	0,19 ± 0,01 ^a	10,45 ± 1,05 ^a	0,93 ± 0,02 ^b	0,017 ± 0,002 ^c
	-N	0,18 ± 0,00 ^a	8,55 ± 0,19 ^a	0,93 ± 0,02 ^b	0,013 ± 0,001 ^d
<i>A. sativum</i>	+N	0,19 ± 0,00 ^a	9,20 ± 0,35 ^a	0,98 ± 0,03 ^b	0,018 ± 0,002 ^c
	-N	0,19 ± 0,01 ^a	9,19 ± 0,21 ^a	0,92 ± 0,02 ^b	0,017 ± 0,001 ^{cd}
Субстрат без растений	+N	0,18 ± 0,01 ^a	8,90 ± 0,41 ^a	13,64 ± 0,55 ^a	0,045 ± 0,003 ^a
	-N	0,16 ± 0,00 ^a	8,73 ± 0,19 ^a	0,90 ± 0,04 ^b	0,033 ± 0,001 ^b

Table 4

The content of different nitrogen forms in substrate after the experiment

Variant	N application	Total N, %	Alkaline hydrolysable N, mg/100 g of soil	N-NO ₃ ⁻ , mg/100 g of soil	N-NH ₄ ⁺ , mg/100 g of soil
<i>A. cepa</i>	+N	0.19 ± 0.01 ^a	10.45 ± 1.05 ^a	0.93 ± 0.02 ^b	0.017 ± 0.002 ^c
	-N	0.18 ± 0.00 ^a	8.55 ± 0.19 ^a	0.93 ± 0.02 ^b	0.013 ± 0.001 ^c
<i>A. sativum</i>	+N	0.19 ± 0.00 ^a	9.20 ± 0.35 ^a	0.98 ± 0.03 ^b	0.018 ± 0.002 ^c
	-N	0.19 ± 0.01 ^a	9.19 ± 0.21 ^a	0.92 ± 0.02 ^b	0.017 ± 0.001 ^c
Unplanted substrate	+N	0.18 ± 0.01 ^a	8.90 ± 0.41 ^a	13.64 ± 0.55 ^a	0.045 ± 0.003 ^a
	-N	0.16 ± 0.00 ^a	8.73 ± 0.19 ^a	0.90 ± 0.04 ^b	0.033 ± 0.001 ^b

Существенное возрастание содержания хлорофиллов в листьях модельных видов при добавлении N объясняется прежде всего тем, что он является составной частью зеленых пигментов. Следует отметить, что при дополнительном внесении N в субстрат в нашем исследовании существенно повышалось и количество каротиноидов. Содержание каротиноидов у *A. cepa* в «-N»-варианте соответствовало литературным данным, полученным на других восьми видах лука [14], тогда как у «+N»-сеянцев оно было в 1,7 раза выше. Известно, что каротиноиды являются не только вспомогательными фотосинтетическими пигментами, но и важными фотопротекторами, защищающими молекулы хлорофилла от окисления. Положительное влияние азотного удобрения на количество хлорофиллов и каротиноидов было отмечено ранее на других культурах [19; 24].

Известно, что корни разных видов растений существенно различаются по способности к поглощению и ассимиляции N. Культуры с более высокой интенсивностью «захвата» N будут более продуктивными в агроэкосистемах при ограниченном внесении удобрений [7].

Содержание общего N в растениях может сильно варьировать в зависимости от обеспеченности почвы этим биофильным элементом. Так, например, имеются данные, что содержание N в листьях *A. cepa* в зависимости от его количества в субстрате изменялось от 2,0 до 3,9 % от сухой массы [25]. В нашем случае также внесение азотного удобрения, даже в относительно небольшом количестве, повлекло за собой почти двукратное увеличение содержания N в надземной биомассе. Отмечено, 216

что разные сорта чеснока могут существенно отличаться по количеству N в листьях в зависимости от сорта погодных условий: оно варьировало от 1,5 до 5,7 % от сухой массы [15]. В целом полученные нами данные по содержанию N в надземной биомассе модельных растений соответствуют данным других авторов [15; 25].

Особенности биогеохимического цикла азота послужили предметом многочисленных исследований, выявивших необычайную сложность этого вопроса [5; 7]. Резервным фондом для круговорота N является атмосфера. Растениям недоступен огромный запас газообразного атмосферного N, поэтому вопрос о превращениях соединений азота в почве под воздействием микроорганизмов привлекает к себе большое внимание. Большинство таких превращений осуществляется путем нитрификации, денитрификации, аммонификации, иммобилизации и азотфиксации [4]. Ризосферные бактерии обладают потенциалом стимулирования роста растений за счет увеличения доступности минеральных элементов и других механизмов, поэтому можно предположить, что микробиом ризосферы является перспективным путем для облегчения поглощения питательных веществ в условиях абиотического стресса у сельскохозяйственных культур [3; 16]. Количество денитрификаторов в ризосфере *A. cepa* примерно соответствовало количеству азотфиксаторов, но при этом было на порядок выше, чем в ризосфере *A. sativum*, что, вероятно, могло негативно влиять на накопление N в биомассе сеянцев лука.

Исследования показали, что оба представителя рода *Allium* имели общий план строения корневой системы и внутренней структуры поглощающих

корней, однако различались по комплексу количественных признаков и по реакции на добавление N. В условиях N-дефицита строение боковых корней у *A. sativum* в отличие от *A. cepa* изменялось: их диаметр существенно уменьшался, в основном за счет изменения размеров стелы и количества слоев паренхимы. В боковых корнях *A. sativum* основную часть коры составляли хорошо развитые аэренхимные полости, из-за этого на метаболически активные паренхимные клетки приходилась малая доля объема корня, что является одним из факторов уменьшения энергетических затрат на рост и поддержание корней. Известно также, что меньшее число слоев клеток способствует более активному радиальному транспорту веществ в стелу корня [3]. Кроме того, более тонкие корни обуславливают высокое отношение поверхности к объему, которое влияет на интенсивность поглощения минеральных веществ.

У *A. cepa* радиус корня, стелы, толщина паренхимы коры и число слоев клеток в коре достоверно не менялись в зависимости от внесения N. Возможно, у этого вида в отличие от *A. sativum* в услови-

ях низкой N-обеспеченности изменяются другие характеристики корня – ультраструктурные и/или биохимические, как показано для других видов культурных растений [3; 7].

Таким образом, изученные виды в условиях недостаточного обеспечения азотом отличались снижением биомассы, содержания фотосинтетических пигментов и общего N. Они также имели разные структурные механизмы адаптации к ограниченному количеству N. Корни *A. sativum* сильнее изменялись в ответ на N-дефицит, что проявлялось в снижении размеров боковых корней, стелы и коры, уменьшении числа слоев клеток в коре, однако при этом накапливали значительно больше N в сравнении с *A. cepa* и более эффективно обеспечивали его перенос в надземную биомассу. Накоплению N в биомассе *A. sativum* также способствовало меньшее количество денитрификаторов в его ризосфере. Выявление видов и сортов с корневыми системами, которые эффективно поглощают N из почвы, обеспечит экономические и экологические преимущества в условиях дисбаланса азотного цикла.

Библиографический список

1. Amare G. Review on mineral nutrition of onion (*Allium cepa* L.) // The Open Biotechnology Journal. 2020. Vol. 14. Pp. 134–144. DOI: 10.2174/1874070702014010134.
2. Geisseler D., Soto Ortiz R. S., Diaz J. Nitrogen nutrition and fertilization of onions (*Allium cepa* L.) – a literature review // Scientia Horticulturae. 2022. Vol. 291. Article number 110591. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110591.
3. Lynch J. P., Galindo-Castañeda T., Schneider H. M., Sidhu J. S., Rangarajan H., York L. M. Root phenotypes for improved nitrogen capture // Plant and Soil. 2024. Vol. 502. Pp. 31–85. DOI: 10.1007/s11104-023-06301-2.
4. Филиппова Л. С. Круговорот азота и его соединений в почве // Международный исследовательский журнал. 2023. Вып. 8 (134). С. 1–5.
5. Кудеяров В. Н. Эмиссионный фактор закиси азота при применении азотных удобрений в земледелии России // Агрохимия. 2021. № 11. С. 3–15. DOI: 10.31857/S0002188121110089.
6. Robertson G. P., Vitousek P. M. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource // Annual Review of Environment and Resources. 2009. Vol. 34. Pp. 97–125. DOI: 10.1146/annurev.enviro.032108.105046.
7. Lynch J. P., Strock C. F., Schneider H. M., Sighu J. S., Ajmera I., Galindo-Castañeda T., Klein S. P., Hanlon M. T. Root anatomy and soil resource capture // Plant and Soil. 2021. Vol. 466. Pp. 21–63. DOI: 10.1007/s11104-021-05010-y.
8. Вольнкина О. В., Копылов А. Н. Миграция нитратного азота по профилю почвы // Агрохимия. 2024. № 4. С. 3–7.
9. Brewster J. L. Onions and other vegetable Alliums. Wallingford, UK: CABI International, 2008. 455 p. DOI: 10.1017/S0014479708007199.
10. Amarakoon S., Jayasekara J. A review on garlic (*Allium sativum* L.) as a functional food // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2017. Vol. 6. Pp. 1777–1780.
11. Redy N., Shiferaw A. Growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) as affected by variable rates of poultry manure and mineral nitrogen fertilizer at Alage, Central Rift Valley Ethiopia // American Journal of Life Sciences. 2024. Vol. 12 (3). Pp. 44–56. DOI: 10.11648/j.ajls.20241203.11.
12. Popławska N. A., Śliz J., Skorupska M., Czeczotka M. J., Woźniak K. Garlic (*Allium sativum* L.): a review of varied health benefits // Journal of Education, Health and Sport. 2024. Vol. 72. Article number 51512. DOI: 10.12775/JEHS.2024.72.51512.
13. Yadav R. N., Bairwa H. L., Gurjar M. K. Response of garlic (*Allium sativum* L.) to organic manures and fertilizers // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2017. Vol. 6 (10). Pp. 4860–4867. DOI: 10.20546/ijemas.2017.610.454.

14. Кукушкина Т. А., Фомина Т. И. Содержание биологически активных веществ в зеленой массе многолетних луков (*Allium L.*) // Аграрный вестник Урала. 2021. № 04 (207). С. 85–92. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-85-92.
15. Кохтенкова И. Г. Сравнительная характеристика сортообразцов чеснока озимого (*Allium sativum L.*) по биохимическим показателям // Овощеводство. 2020. Т. 28. С. 52–59.
16. Galindo-Castañeda T., Lynch J. P., Six J., Hartmann M. Improving soil resource uptake by plants through capitalizing on synergies between root architecture and anatomy and root-associated microorganisms // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article number 827369. DOI: 10.3389/fpls.2022.827369.
17. Kirk G. J. D. Rice root properties for internal aeration and efficient nutrient acquisition in submerged soil // *New Phytologist*. 2003. Vol. 159. Pp. 185–194. DOI: 10.1046/j.14698137.2003.00793.x.
18. Betekhtina A. A., Tukova D. E., Veselkin D. V. Root structure syndromes of four families of monocots in the Middle Urals // *Plant Diversity*. 2023. Vol. 45 (6). Pp. 722–731. DOI: 10.1016/j.pld.2023.01.007.
19. Борисова Г. Г., Воропаева О. В., Малева М. Г., Кумар А., Трипти. Оценка ростостимулирующих свойств ризобактерий *Bacillus* sp. и их влияние на морфофизиологические характеристики рапса // Аграрный вестник Урала. 2023. № 07 (236). С. 2–13. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-2-13.
20. Dodor D. E., Kamara M. S., Asamoah-Bediako A., Adiku S. G. K., MacCarthy D. S., Kumahor S. K., Neina D. Evaluation of alkaline hydrolyzable organic nitrogen as an index of nitrogen mineralization potential of some coastal savannah soils of Ghana // *Nitrogen*. 2022. Vol. 3. Pp. 652–662. DOI: 10.3390/nitrogen3040043.
21. Tugbaeva A. S., Ermoshin A. A., Shiryaev G. I., Kiseleva I. S. Microbiome of the soil and rhizosphere of the halophyte *Spergularia marina* (L.) Griseb in the Saline Sites of Lake Kurgi, the South Urals: Metagenomic Analysis // *Microbiology Research*. 2025. Vol. 16 (3). Article number 64. DOI: 10.3390/microbiolres16030064.
22. Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М., Колотилова Н. Н. Практикум по микробиологии: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Москва: Издательский центр «Академия», 2005. 608 с.
23. Muratova A., Hübner T., Narula N., Wand H., Turkovskaya O., Kusch P., Jahn R., Merbach W. Rhizosphere microflora of plants used for the phytoremediation of bitumen-contaminated soil // *Microbiology Research*. 2003. Vol. 158 (2). Pp. 151–161. DOI: 10.1078/0944-5013-00187.
24. Борисова Г. Г., Воропаева О. В., Малева М. Г., Лыкова О. В. Биоудобрения на основе силикатных бактерий повышает продуктивность почв и культурных растений (на примере *Brassica juncea* (L.) Czern.) // Субтропическое и декоративное садоводство. 2022. № 80. С. 140–151. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-80-140-151.
25. Черкашина М. И., Алимгафаров Р. Р., Кузнецов И. Ю., Черкашина А. Г. Химический состав и урожайность лука репчатого в связи с условиями питания // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2023. Т. 17, № 1. С. 30–39. DOI: 10.22450/19996837_2023_1_30.

Об авторах:

Анна Анатольевна Бетехтина, кандидат биологических наук, доцент департамента наук о Земле и космосе, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-5388-6007, AuthorID 132664. *E-mail: A.A.Betekhtina@urfu.ru*

Алина Васильевна Малахеева, аспирант департамента наук о Земле и космосе, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; ORCID 0009-0002-0056-1054, AuthorID 1195211. *E-mail: alina.malakheeva@gmail.com*

Галина Григорьевна Борисова, доктор географических наук, профессор кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; ORCID 0000-0001-6663-9948, AuthorID 64374. *E-mail: G.G.Borisova@urfu.ru*

Ольга Викторовна Воропаева, ассистент кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; ORCID 0000-0002-5055-797X, AuthorID 1124917. *E-mail: olga.voropaeva@urfu.ru*

Мария Георгиевна Малева, кандидат биологических наук, доцент кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; ORCID 0000-0003-1686-6071, AuthorID 152548. *E-mail: maria.maleva@mail.ru*

References

1. Amare G. Review on mineral nutrition of onion (*Allium cepa L.*). *The Open Biotechnology Journal*. 2020; 14: 134–144. DOI: 10.2174/1874070702014010134.
2. Geissler D., Soto Ortiz R. S., Diaz J. Nitrogen nutrition and fertilization of onions (*Allium cepa L.*) – a literature review. *Scientia Horticulturae*. 2022; 291: 110591. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110591.

3. Lynch J. P., Galindo-Castañeda T., Schneider H. M., Sidhu J. S., Rangarajan H., York L. M. Root phenotypes for improved nitrogen capture. *Plant and Soil*. 2024; 502: 31–85. DOI: 10.1007/s11104-023-06301-2.
4. Filippova L. S. Nitrogen cycling and nitrogen compounds in the soil. *International Research Journal*. 2023; 8 (134): 1–5. (In Russ.)
5. Kudayarov V. N. Nitrous oxide emission factor from Russian arable soils at the fertilizers application. 2021; 11: 3–15. DOI: 10.31857/S0002188121110089. (In Russ.)
6. Robertson G. P., Vitousek P. M. Nitrogen in agriculture: balancing the cost of an essential resource. *Annual Review of Environment and Resources*. 2009; 34: 97–125. DOI: 10.1146/annurev.environ.032108.105046.
7. Lynch J. P., Strock C. F., Schneider H. M., Sighu J. S., Ajmera I., Galindo-Castañeda T., Klein S. P., Hanlon M. T. Root anatomy and soil resource capture. *Plant and Soil*. 2021; 466: 21–63. DOI: 10.1007/s11104-021-05010-y.
8. Volynkina O. V., Kopylov A. N. Migration of nitrate nitrogen by soil profile. *Agrochemistry*. 2024; 4: 3–7. (In Russ.)
9. Brewster J. L. *Onions and other vegetable Alliums*. Wallingford, UK: CABI International, 2008. 455 p. DOI: 10.1017/S0014479708007199.
10. Amarakoon S., Jayasekara J. A review on garlic (*Allium sativum* L.) as a functional food. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017; 6 (6): 1777–1780.
11. Redy N., Shiferaw A. Growth and yield of onion (*Allium cepa* L.) as affected by variable rates of poultry manure and mineral nitrogen fertilizer at Alage, Central Rift Valley Ethiopia. *American Journal of Life Sciences*. 2024; 12 (3): 44–56. DOI:10.11648/j.ajls.20241203.11.
12. Popławska N. A., Śliz J., Skorupska M., Czacotka M. J., Woźniak K. Garlic (*Allium sativum* L.): A review of varied health benefits. *Journal of Education, Health and Sport*. 2024; 72: 51512. DOI:10.12775/JEHS.2024.72.51512.
13. Yadav R. N., Bairwa H. L., Gurjar M. K. Response of garlic (*Allium sativum* L.) to organic manures and fertilizers. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017; 6 (10): 4860–4867. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.610.454.
14. Kukushkina T. A., Fomina T. I. The content of biologically active substances in the green biomass of perennial onions (*Allium* L.). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 04 (207): 85–92. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-85-92. (In Russ.)
15. Kokhtenkova I. G. Comparative characteristic of samples of winter garlic (*Allium sativum* L.) by biochemical indicators. *Vegetable Growing*. 2020; 28: 52–59. (In Russ.)
16. Galindo-Castañeda T., Lynch J. P., Six J., Hartmann M. Improving soil resource uptake by plants through capitalizing on synergies between root architecture and anatomy and root-associated microorganisms. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 827369. DOI: 10.3389/fpls.2022.827369.
17. Kirk G. J. D. Rice root properties for internal aeration and efficient nutrient acquisition in submerged soil. *New Phytologist*. 2003; 159: 185–194. DOI: 10.1046/j.14698137.2003.00793.x.
18. Betekhtina A. A., Tukova D. E., Veselkin D. V. Root structure syndromes of four families of monocots in the Middle Urals. *Plant Diversity*. 2023; 45 (6): 722–731. DOI: 10.1016/j.pld.2023.01.007.
19. Borisova G. G., Voropaeva O. V., Maleva M. G., Kumar A., Tripti. Evaluation of the growth-promoting attributes of rhizobacteria *Bacillus* sp. and their influence on the morphophysiological characteristics of rapeseed. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 07 (236): 2–13. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-2-13. (In Russ.)
20. Dodor D. E., Kamara M. S., Asamoah-Bediako A., Adiku S. G. K., MacCarthy D. S., Kumahor S. K., Neina D. Evaluation of alkaline hydrolyzable organic nitrogen as an index of nitrogen mineralization potential of some coastal savannah soils of Ghana. *Nitrogen*. 2022; 3: 652–662. DOI: 10.3390/nitrogen3040043.
21. Tugbaeva A. S., Ermoshin A. A., Shiryayev G. I., Kiseleva I. S. Microbiome of the soil and rhizosphere of the halophyte *Spergularia marina* (L.) Griseb in the Saline Sites of Lake Kurgi, the South Urals: metagenomic analysis. *Microbiology Research*. 2025; 16 (3): 64. DOI: 10.3390/microbiolres16030064.
22. Netrusov A. I., Egorova M. A., Zakharchuk L. M., Kolotilova N. N. *Microbiology workshop: a textbook for students of higher education institutions*. Moscow: Publishing Center “Academy”, 2005. 608 p. (In Russ.)
23. Muratova A., Hübner T., Narula N., Wand H., Turkovskaya O., Kusch P., Jahn R., Merbach W. Rhizosphere microflora of plants used for the phytoremediation of bitumen-contaminated soil. *Microbiology Research*. 2003; 158 (2): 51–161. DOI: 10.1078/0944-5013-00187.
24. Borisova G. G., Voropaeva O. V., Maleva M. G., Lykova O. V. Biofertilizer based on silicate bacteria increases the productivity of soils and cultivated plants (on the example of *Brassica juncea* (L.) Czern.). *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2022; 80: 140–151. DOI: 10.31360/2225-3068-2022-80-140-151. (In Russ.)
25. Cherkashina M. I., Alimgafarov R. R., Kuznetsov I. Yu., Cherkashina A. G. The chemical composition and yield of onion in connection with nutritional conditions. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2023; 17 (1): 30–39. DOI: 10.22450/19996837_2023_1_30. (In Russ.)

Authors' information:

Anna A. Betekhtina, candidate of biological sciences, associate professor of the department of Earth and Space Sciences, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-5388-6007, AuthorID 132664. *E-mail: A.A.Betekhtina@urfu.ru*

Alina V. Malakheeva, postgraduate of the department of Earth and Space Sciences, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0002-0056-1054, AuthorID 1195211. *E-mail: alina.malakheeva@gmail.com*

Galina G. Borisova, doctor of geographical sciences, professor of department of experimental biology and biotechnologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-6663-9948, AuthorID 64374. *E-mail: G.G.Borisova@urfu.ru*

Olga V. Voropaeva, assistant at the department of experimental biology and biotechnologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-5055-797X, AuthorID 1124917. *E-mail: olga.voropaeva@urfu.ru*

Mariya G. Maleva, candidate of biological sciences, associate professor of department of experimental biology and biotechnologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-1686-6071, AuthorID 152548. *E-mail: maria.maleva@mail.ru*

Оценка коллекционного материала ярового ячменя для практической селекции в условиях юга России

Э. С. Дорошенко¹, А. А. Донцова^{1,2✉}, Р. Н. Брагин¹, Д. П. Донцов¹, И. М. Засыпкина¹

¹ Аграрный научный центр «Донской», зерноград, Ростовская область, Россия

² Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

✉ E-mail: doncova601@mail.ru

Аннотация. Несмотря на достигнутые успехи в селекции ярового ячменя, перед селекционерами стоят новые задачи увеличения урожайности и улучшения адаптации растений к меняющимся климатическим условиям. Для решения этих задач важнейшую роль играют источники хозяйственно ценных признаков, представляющие собой коллекционные образцы, обладающие характеристиками, важными для сельскохозяйственной практики. **Цель** – в различные по погодно-климатическим условиям годы выявить влияние элементов структуры и других признаков на урожайность зерна и выделить наиболее адаптированные для использования в селекционном процессе коллекционные образцы ярового ячменя. **Методы.** Исследования проводились в отделе селекции и семеноводства ячменя ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград) в 2022–2024 гг. Высевались коллекционные образцы ярового ячменя различного эколого-географического происхождения. Закладку опыта, учеты и наблюдения осуществляли согласно методике полевого опыта (2014) и Государственного сортоиспытания (2019). **Результаты.** По результатам изучения коллекционного материала выделены новые источники для использования в селекционных программах по увеличению значений отдельных признаков и их комплексу: по количеству продуктивных стеблей на единицу площади (Азов, Донецкий 14 (Россия), Чаривный (Украина), Медикум 176 (Казахстан), Чарльз, Viking, Perun и КВС Орфелия (Франция)); по массе 1000 зерен (Приазовский 9 (Россия), Одесский 22 (Украина)); по массе зерна с колоса (Талер, Липень (Беларусь), Амбер (Франция), Омский голозерный 4 (Россия)); по скороспелости (Зерноградский 1670, Вадим, Стимул, К-26598 (Россия)); по высокой продуктивности (Эйфель, КВС Орфелия, Фокус, KWS-11-228 (Франция)). Согласно проведенному анализу, по совокупности признаков, характеризующих адаптивные свойства, выделены сорта Annabel, Грейс, KWS-11-228 (Франция), CDC Dawn (Канада), Тонус (Россия) как наиболее устойчивые к неблагоприятным факторам среды, что позволяет их использовать в качестве исходного материала в селекционном процессе для получения селекционного материала, обладающего высокими адаптивными свойствами. **Научная новизна** заключается в изучении коллекции ярового ячменя и выявлении источников по основным хозяйственно ценным признакам.

Ключевые слова: яровой ячмень, признак, устойчивость, источник, сортообразец, коллекция

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания № 0505-2025-0006 «Создать новые высокопродуктивные сорта зерновых колосовых культур, устойчивых к стресс-факторам на основе комплексного изучения генофонда».

Для цитирования: Дорошенко Э. С., Донцова А. А., Брагин Р. Н., Донцов Д. П., Засыпкина И. М. Оценка коллекционного материала ярового ячменя для практической селекции в условиях юга России // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 2. С. 221–236. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-221-236>.

Дата поступления статьи: 21.11.2025, **дата рецензирования:** 01.12.2025, **дата принятия:** 26.12.2025.

Evaluation of spring barley collection material for practical breeding in the conditions of southern Russia

E. S. Doroshenko¹, A. A. Dontsova^{1,2}✉, D. P. Dontsov¹, R. N. Bragin¹, I. M. Zasyapkina¹

¹ Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Rostov region, Russia

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

✉E-mail: doncova601@mail.ru

Abstract. Despite the successes achieved in spring barley breeding, breeders face new challenges in increasing yields and improving plant adaptation to changing climatic conditions. To address these challenges, sources of economically valuable traits, such as collection accessions possessing characteristics important for agricultural practice, play a crucial role. **The purpose** is to identify the influence of structural elements and other traits on grain yield in years with varying weather and climate conditions and to select the best-adapted collection accessions of spring barley for use in breeding. **Methods.** The research was conducted at the Barley Breeding and Seed Production Department of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Agricultural Research Center “Donskoy” (Zernograd) from 2022 to 2024. Collection accessions of spring barley of various ecological and geographical origins were sown. The experiment, records and observations were carried out according to the methods of the field experiment (2014) and the State variety testing (2019). **Results.** Based on the results of the study of the collection material, new sources were identified for use in breeding programs to increase the values of individual traits and their complex: by the number of productive stems per unit area (Azov, Donetsk 14 (Russia), Charivnyy (Ukraine), Medikum 176 (Kazakhstan), Charlz, Viking, Perun and KWS Orfeliya (France)); the weight of 1000 grains (Priazovskiy 9 (Russia), Odesskiy 22 (Ukraine)); the weight of grains per ear (Taler, Lipen (Belarus), Amber (France), Omskiy Golozernyy 4 (Russia)); early maturity (Zernogradskiy 1670, Vadim, Stimul, K-26598 (Russia)); high productivity (Eyfel, KWS Orfeliya, Fokus, KWS-11-228 (France)). Based on the analysis of a combination of traits characterizing adaptive properties, the varieties Annabel, Grace, KWS-11-228 (France), CDC Dawn (Canada), and Tonus (Russia) were identified as the most resistant to adverse environmental factors, allowing them to be used as source material in the breeding process to obtain breeding material with highly adaptive properties. **The scientific novelty** lies in the study of the spring barley collection and the identification of sources based on the main economically valuable characteristics.

Keywords: spring barley, trait, resistance, source, variety accession, collection

Acknowledgements. The study was carried out as part of the state assignment No. 0505-2025-0006 “Create new high-yielding varieties of cereal crops that are resistant to stress factors based on a comprehensive study of the genepool.”

For citation: Doroshenko E. S., Dontsova A. A., Bragin R. N., Dontsov D. P., Zasyapkina I. M. Evaluation of spring barley collection material for practical breeding in southern Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (2): 221–236. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-221-236>. (In Russ.)

Date of paper submission: 21.11.2025, **date of review:** 01.12.2025, **date of acceptance:** 26.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Яровой ячмень занимает ключевое место среди зернофуражных культур в России [1]. Его значимость также определяется широким применением в промышленности, в частности в пищевой, что делает его незаменимым в современном сельском хозяйстве [2].

Для нужд аграрного сектора сегодня особенно ценятся сорта, отличающиеся не только высокой урожайностью, но и универсальностью, устойчивостью к полеганию, болезням и неблагоприятным природным условиям [3].

Ячмень играет важную роль в мировом и отечественном земледелии, занимая значительное место

по объему урожая и посевным площадям среди зерновых культур. Его популярность обусловлена не только ценным составом зерна, но и рядом преимуществ, определяющих его широкое распространение. В частности, ячмень созревает быстрее пшеницы и овса, а также хорошо плодоносит как при коротком, так и при длинном световом дне [4].

Сокращение пахотных земель и растущий спрос на ячмень вынуждают аграриев стремиться к максимальной урожайности. Для этого важно учитывать ключевые факторы, влияющие на урожайность, такие как структура урожая и устойчивость к полеганию. Кроме того, современные сорта ярового ячменя со временем могут терять устойчивость к

болезням из-за появления новых патогенов. Чтобы сохранить и улучшить ценные характеристики сортов, необходимо постоянно проводить селекционную работу: искать и испытывать новые сорта из коллекций, выявлять источники полезных признаков и свойств, и создавать новые коллекции ячменя и овса [5].

АНЦ «Донской» приоритетно занимается селекцией и созданием новых сортов сельскохозяйственных культур, обладающих высокой адаптивностью к резко континентальному климату последних десятилетий. Параллельно разрабатываются агротехнологии выращивания семян, учитывающие генотипические особенности новых сортов и их норму реакции на абиотические факторы среды [6].

Цель исследования – в различных по погодно-климатическим условиям годы выявить влияние элементов структуры и других признаков на урожайность зерна и выделить наиболее адаптированные для использования в селекционном процессе коллекционные образцы ярового ячменя.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в отделе селекции и семеноводства ячменя ФГБНУ «АНЦ „Донской“» (Зерноград) в 2022–2024 годах.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный (предкавказский, карбонатный), глинистый, малогумусный. Структура почвы зернисто-комковатая. Предшественник – подсолнечник. В изучении были 133 коллекционных образца местной и инорайонной селекции. Коллекционный питомник ячменя высевали сеялкой Wintersteiger Plotseed, учетная площадь – 10 м², норма высева – 450 шт. всхожих семян на 1 м², стандартный среднеспелый сорт Формат высевается через 20 номеров. Закладку опыта, учеты и наблюдения осуществляли согласно методике полевого опыта (2014)¹ и Государственного сортоиспытания (2019)².

Весна 2022 года характеризовалась температурным режимом в пределах среднеголетних значений и обилием осадков (125,5 % от нормы), особенно в марте, когда выпало 67,4 мм осадков (норма – 37,0 мм).

В апреле наблюдалось нарастание температуры воздуха. В этом месяце среднесуточная температура воздуха составила 12,6 °С, что выше среднеголетних данных на 1,9 °С.

В дальнейшем пониженный температурный режим и достаточное количество влаги в мае оказали благоприятное влияние на рост и развитие растений, что позволило сформировать высокую урожайность.

¹ Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Альянс, 2014. 351 с.

² Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Группа Компаний «Море», 2019. 384 с.

Лето характеризовалось повышенным температурным режимом в июне 23,2 °С (+2,7 °С к норме), в июле 24,1 °С (+1,0 °С к норме).

Весна 2023 года характеризовалась повышенным температурным режимом в марте и апреле (+5,4 °С и +0,8 °С к среднеголетней соответственно). В мае температура была на уровне со среднеголетними значениями. Апрель и май характеризовались обилием осадков (+45,3 мм и +64,7 мм к среднеголетней соответственно), что привело к сильному полеганию посевов, сильному распространению листовых болезней и получению более низкой урожайности по сравнению с предыдущим годом. В июле и августе температурный режим был на уровне среднеголетних данных.

Весна 2024 года характеризовалась повышенным температурным режимом в марте (+3,9 °С), что вместе с накопленной влагой за зиму позволило благополучно провести посев ярового ячменя. В весенне-летний период температура воздуха была на уровне со среднеголетними значениями, однако отсутствие осадков (48,0 мм и 24,0 мм, что составляет 36,6 % и 18,6 % от среднеголетних значений) сильно повлияло на развитие ярового ячменя и формирование урожайности.

Результаты (Results)

Продолжительность вегетационного периода, определяемая генотипом сорта и условиями окружающей среды, является ключевым фактором для получения стабильных урожаев. Оптимальный выбор сортов, адаптированных по длительности вегетации к конкретным условиям выращивания, имеет первостепенное значение [7]. В среднем за годы исследований начало колошения коллекционных образцов ярового ячменя отмечено с 25 мая, окончание – 3 июня (стандарт – 30 мая). Самое раннее колошение было отмечено в 2024 году, оно началось 18 мая у сорта Зерноградский 1670 (Россия).

Среди всех изучаемых образцов по скороспелости (на 3–5 дней по отношению к стандарту) выделились 4 сорта: Зерноградский 1670, Вадим, Стимул, К-26598 (Россия) (таблица 1).

Структура урожая, определяющая его величину, складывается из таких показателей, как количество продуктивных стеблей на единицу площади (1 м²), количество зерен в колосе, масса 1000 зерен и масса зерна, собранного с одного колоса [8].

За годы исследований количество продуктивных стеблей на 1 м² находилось в пределах от 404 у сорта Амбер (Франция) до 699 у сорта Чарльз (Франция) шт/ м² (рис. 1).

По данному признаку лучшие показатели имели сорта Азов, Донецкий 14 (Россия), Чаривный (Украина), Мединум 176 (Казахстан), Чарльз, Viking, Ретун и КВС Орфелия (Франция), которые сформировали более 640 продуктивных стеблей на 1 м² (таблица 2).

Таблица 1
Раннеспелые сорта ярового ячменя, 2022–2024 гг.

Название сорта	Происхождение	Дата колошения	± к ст.
Формат (ст.)	Россия	30.05	–
Зерноградский 1670	Россия	25.05	–5
Вадим	Россия	25.05	–5
Стимул	Россия	26.05	–4
К-26598	Россия	27.05	–3

Table 1
Early maturing spring barley varieties, 2022–2024

Variety name	Origin	Date of heading	± to st.
Format (st.)	Russia	30.05	–
Zernogradskiy 1670	Russia	25.05	–5
Vadim	Russia	25.05	–5
Stimul	Russia	26.05	–4
K-26598	Russia	27.05	–3

Таблица 2
Сорта ярового ячменя, выделившиеся по признаку «количество продуктивных стеблей», 2022–2024 гг.

Название сорта	Происхождение	Количество продуктивных стеблей, шт., на 1 м ²
Формат (ст.)	Россия	594
Азов	Россия	649
Донецкий 14	Россия	688
Чаривный	Украина	660
Медикум 176	Казахстан	664
Чарльз	Франция	699
Viking	Франция	643
Perun	Франция	662
КВС Орфелия	Франция	660
StDev		50,2

Table 2
Spring barley varieties, distinguished by the “number of productive stems” trait, 2022–2024

Variety name	Origin	Number of productive stems per 1 m ²
Format (st.)	Russia	594
Azov	Russia	649
Donetskiy 14	Russia	688
Charivnyy	Ukraine	660
Medikum 176	Kazakhstan	664
Charlz	France	699
Viking	France	643
Perun	France	662
KWS Orfeliya	France	660
StDev		50.2

Размер зерна – важный агрономический признак, являющийся объектом пристального внимания в селекционной и генетической работе [9]. Масса 1000 зерен у образцов находилась в пределах 26–50 г (стандарт – 46,3 г) (рис. 2).

Согласно методическим указаниям по изучению мировой коллекции овса, ржи и ячменя [10], образцы мировой коллекции были классифицированы по размеру зерна. Установлено, что 1 % образцов характеризовался очень мелким зерном (менее 35,0 г),

11 % – мелким (35,1–40,0 г), 64 % – средним (40,1–45,0 г), а 20 % – крупным (45,1–50,0 г). По показателю «масса 1000 зерен» превысили стандартный сорт Формат два сорта: Приазовский 9 (Россия) – 49,4 г, Одесский 22 (Украина) – 48,0 г.

В среднем за годы исследований масса зерна с колоса у сортов ярового ячменя варьировала от 0,78 г у сорта Русь (Россия) до 1,75 г у сорта Амбер (Франция) (рис. 3).

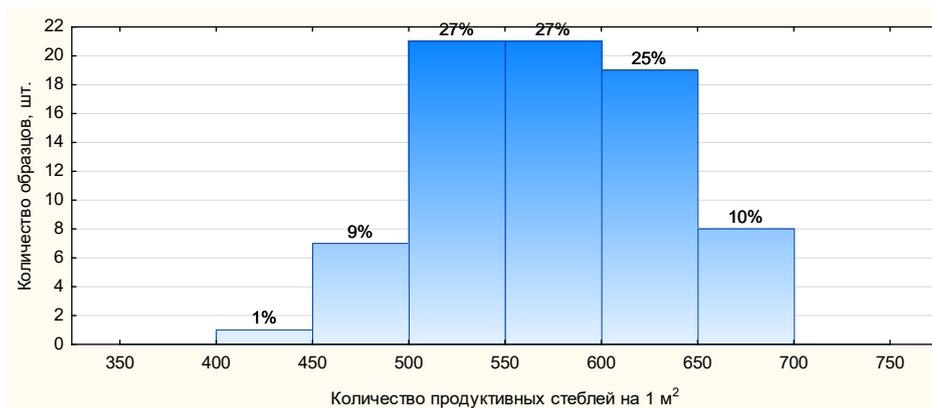


Рис. 1. Распределение сортов ярового ячменя по признаку «количество продуктивных стеблей на 1 м²», 2022–2024 гг.

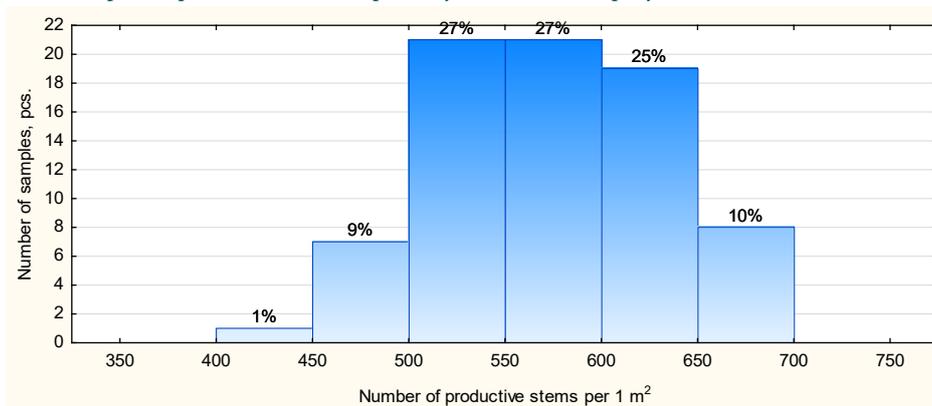


Fig. 1. Distribution of spring barley varieties by the “number of productive stems per 1 m²” characteristic, 2022–2024

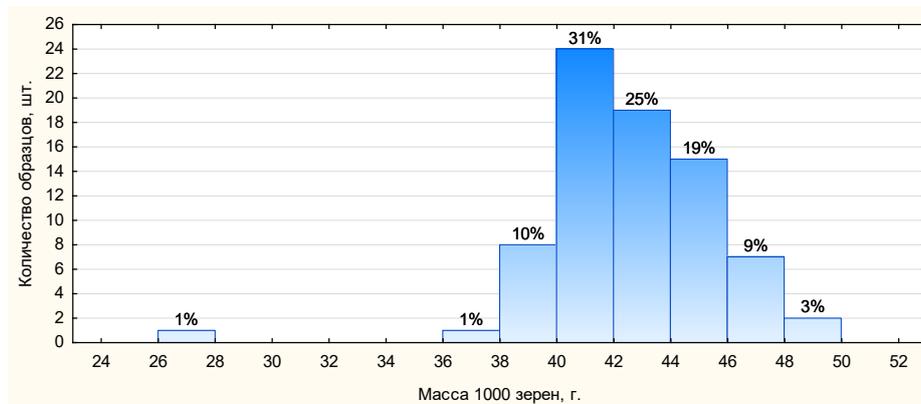


Рис. 2. Распределение сортов ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен», 2022–2024 гг.

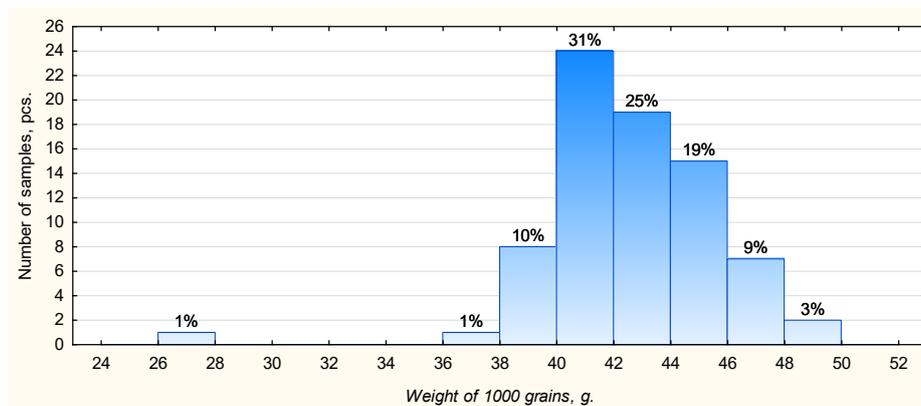


Fig. 2. Distribution of spring barley varieties by the “1000-grain weight” characteristic, 2022–2024

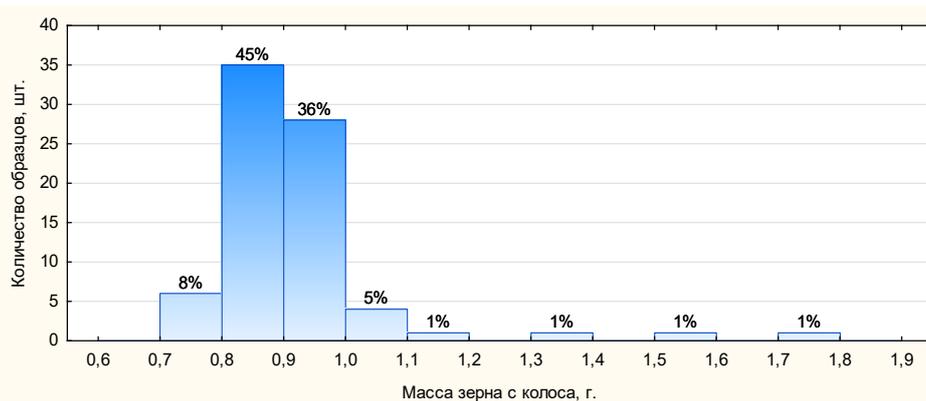


Рис. 3. Распределение сортов ярового ячменя по признаку «масса зерна с колоса», 2022–2024 гг.

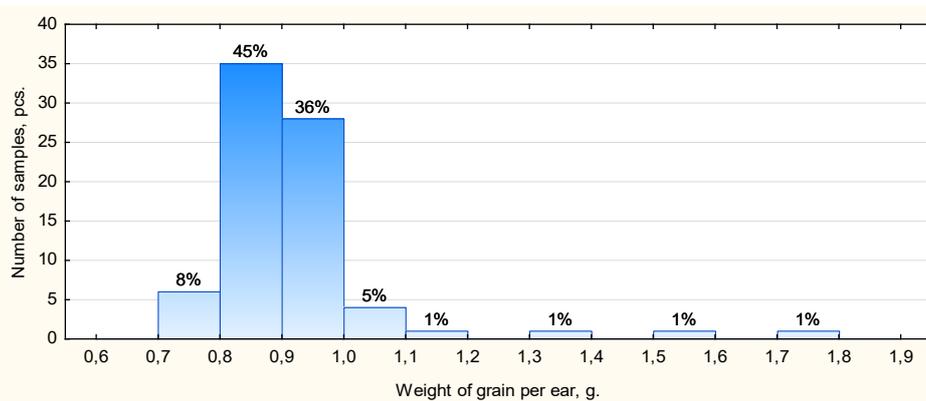


Fig. 3. Distribution of spring barley varieties by the “grain weight per ear” characteristic, 2022–2024

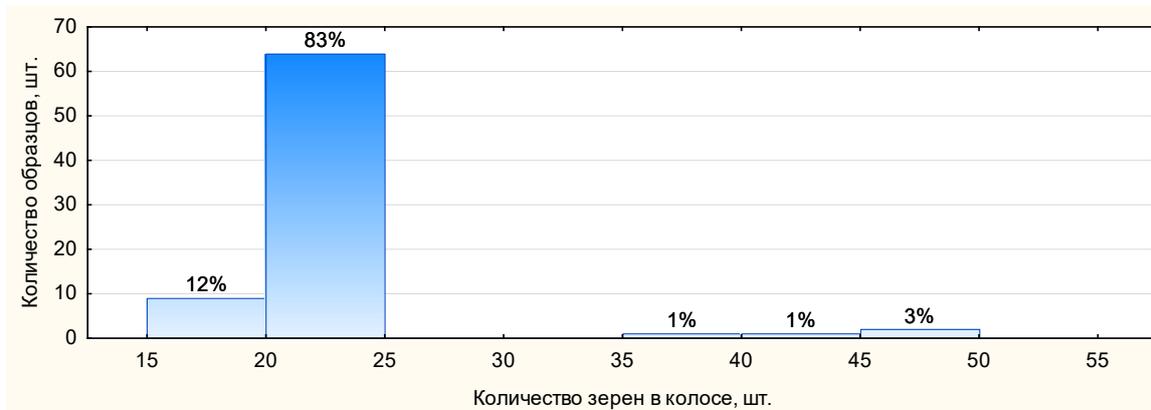


Рис. 4. Распределение сортов ярового ячменя по признаку «количество зерен в колосе», 2022–2024 гг.

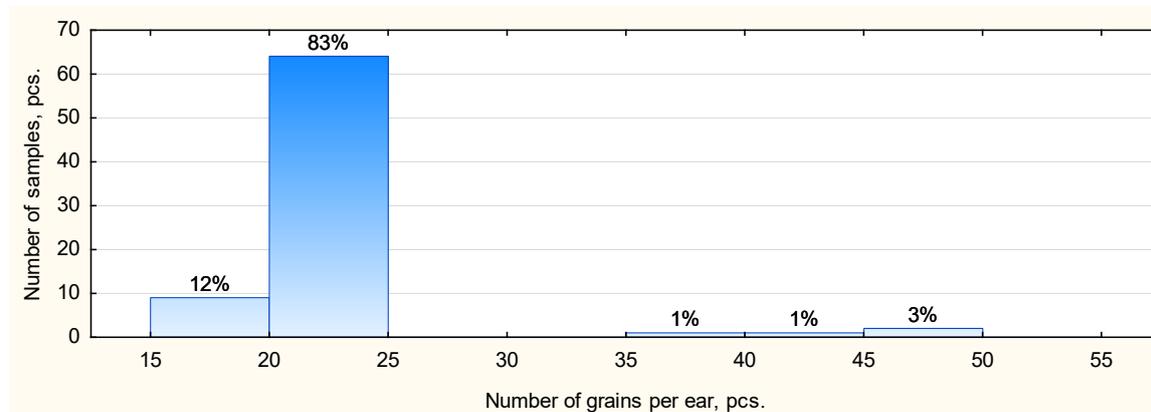


Fig. 4. Distribution of spring barley varieties by the “number of grains per ear” characteristic, 2022–2024

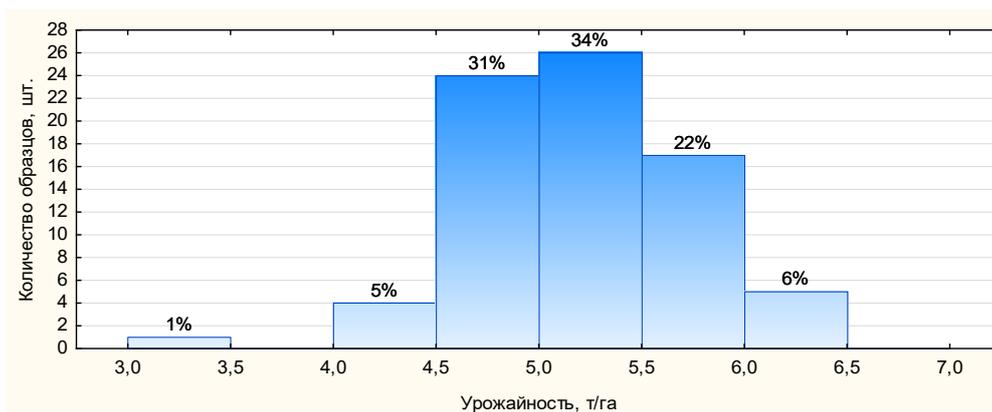


Рис. 5. Распределение сортов ярового ячменя по признаку «урожайность», 2022–2024 гг.

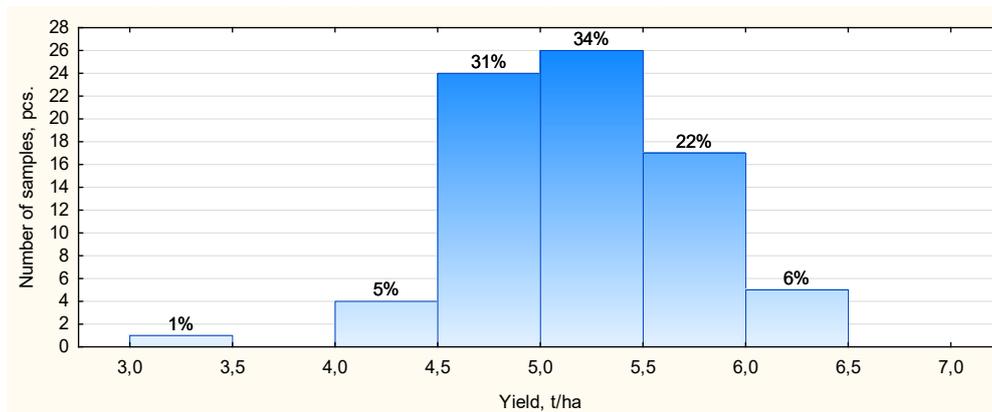


Fig. 5. Distribution of spring barley varieties by yield, 2022–2024

Масса зерна с колоса стандартного сорта в среднем за три года исследований составила 0,94 г, 9 % коллекционных образцов сформировали более крупное зерно. По признаку «масса зерна с колоса» лучшие показатели отмечены у сортов Талер (1,38 г), Липень (1,57 г) (Беларусь), Амбер (1,75 г) (Франция), Омский голозерный 4 (1,19 г) (Россия).

В среднем за годы исследования коллекционные образцы ярового ячменя в каждом колосе формировали от 18,6 зерен у сорта Медикум 125 (Казахстан) до 49,3 зерен у сорта Омский голозерный 4 (Россия). Стандартный сорт Формат сформировал 20,7 зерен в колосе (рис. 4)

Сбор зерна с единицы площади – основной критерий значимости сорта в конкретных условиях [11]. В среднем за 3 года исследований урожайность сортов ярового ячменя варьировала от 3,3 т/га у сорта Омский голозерный 4 (Россия) до 6,5 т/га у сорта Эйфель (Франция) (рис. 5).

В среднем за годы исследования превысили стандартный сорт Формат (Россия) по урожайности (5,5 т/га) 28 % образцов: Эйфель, КВС Орфелия, Фокус, KWS-11-228 (Франция) (таблица 3).

Анализ данных показал, что урожайность ярового ячменя положительно коррелировала с двумя признаками. Наибольшее влияние на урожайность оказывала масса 1000 зерен (коэффициент корреляции $r = 0,44 \pm 0,00$). Также значительное влияние оказывало количество продуктивных стеблей на

1 м² ($r = 0,36 \pm 0,01$). Увеличение значений этих признаков сопровождалось повышением урожайности.

Корреляционная связь урожайности с содержанием белка в зерне ($r = -0,34 \pm 0,02$) и количеством зерен в колосе ($r = -0,36 \pm 0,02$) была слабой отрицательной.

Главным показателем качества зерна ячменя является белок. Содержание его в зерне в годы исследований варьировало от 9,0 % до 13,0 % (стандарт – 10,7 %) (рис. 6).

У большинства образцов зерна было выявлено низкое или очень низкое содержание белка; лишь у 1 % сортов этот показатель достигал среднего уровня (12,1–13,4 %). Наибольшие значения данного признака выявлены у сорта Philadelphia (Франция) – 12,7 %.

Содержание лизина в белке в среднем за годы исследований варьировало от 2,8 % до 4,4 % (стандарт – 3,5 %) (рис. 7).

Максимальное значение признака (более 3,9 %) отмечено у 8 % сортов: Ясный, Зерноградский 1670, Максим (Россия), Respect, Eifel, Чарльз, Грейс, СВ 16-8001, КВС Орфелия, Фокус (Франция).

В период с 2022 по 2024 год в ходе изучения коллекции ярового ячменя наиболее оптимальные условия для роста и развития наблюдались в 2022 и 2023 годах. Индексы условий среды (I_j) для этих лет составили +1,12 и +0,46 соответственно. В 2024 году условия были неблагоприятными, о чем свидетельствует индекс $I_j = -1,58$.

Таблица 3
Сорта ярового ячменя, выделившиеся по признаку урожайность, 2022–2024 гг.

Название сорта	Происхождение	Урожайность, т/га	± к ст.
Формат (ст.)	Россия	5,5	–
Эйфель	Франция	6,5	+1,0
КВС Орфелия	Франция	6,1	+0,6
Фокус	Франция	6,1	+0,6
KWS-11-228	Франция	6,2	+0,7
StDev		0,5	

Table 3
Spring barley varieties, distinguished by yield, 2022–2024

Variety name	Origin	Yield, t/ha	± St.
Format (st.)	Russia	5.5	–
Eyfel	France	6.5	+1.0
KWS Orfeliya	France	6.1	+0.6
Focus	France	6.1	+0.6
KWS-11-228	France	6.2	+0.7
StDev		0.5	

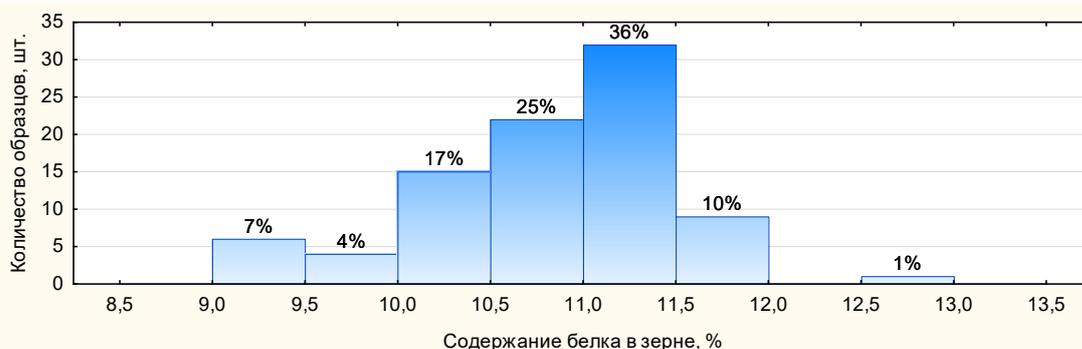


Рис. 6. Распределение сортов ярового ячменя по признаку «содержание белка в зерне», 2022–2024 гг.

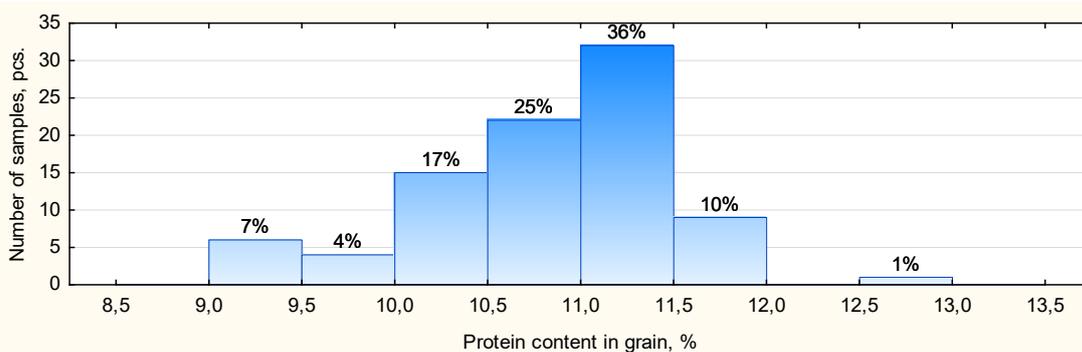


Fig. 6. Distribution of spring barley varieties by the “protein content in grain” characteristic, 2022–2024

Для оценки способности сортов адаптироваться к различным условиям и их экологической пластичности были проанализированы следующие показатели:

- коэффициент линейной регрессии (b) характеризует реакцию сорта на изменение условий среды;
- коэффициент вариации (V) показывает степень изменчивости урожайности сорта в разных условиях;
- стрессоустойчивость ($Y_{\min} - Y_{\max}$) отражает разницу между минимальной и максимальной уро-

жайностью сорта, что указывает на его устойчивость к неблагоприятным факторам;

- показатель генетической гибкости ($(Y_{\min} + Y_{\max}) / 2$) характеризует среднюю урожайность сорта в различных условиях;
- гомеостатичность (Hom) показывает стабильность урожайности сорта в разных условиях;
- селекционная ценность генотипа (Sc) определяет потенциал сорта для селекции;
- показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) оценивает стабильность урожайности сорта.

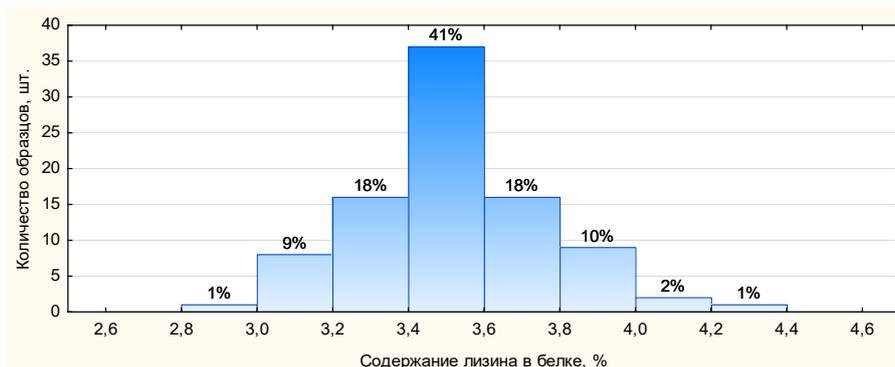


Рис. 7. Распределение сортов ярового ячменя по признаку «содержание лизина в белке», 2022–2024 гг.

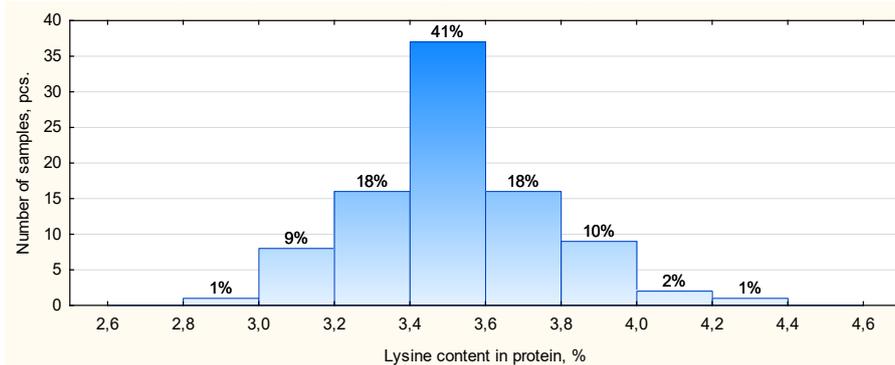


Fig. 7. Distribution of spring barley varieties by the “lysine content in protein” feature, 2022–2024

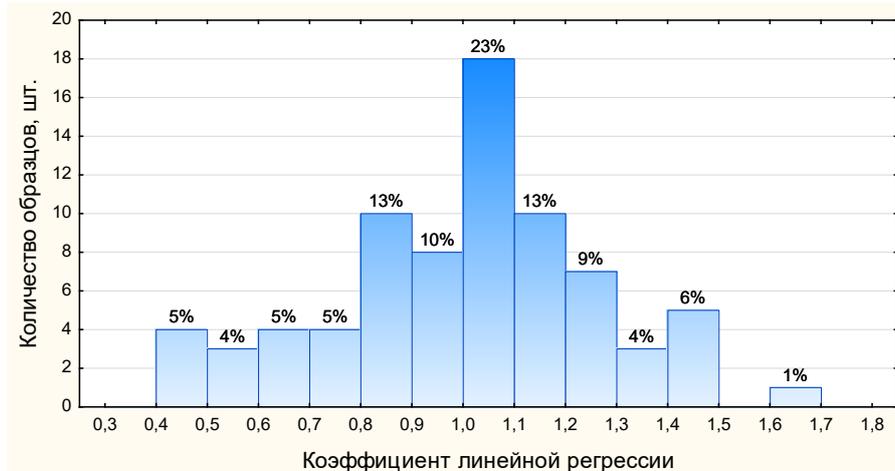


Рис. 8. Распределение сортов ярового ячменя по коэффициенту линейной регрессии, 2022–2024 гг.

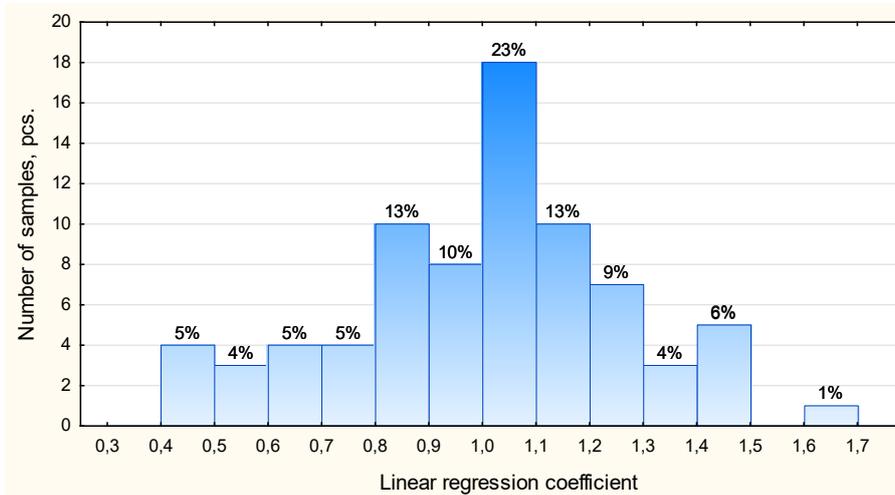


Fig. 8. Distribution of spring barley varieties by linear regression coefficient, 2022–2024

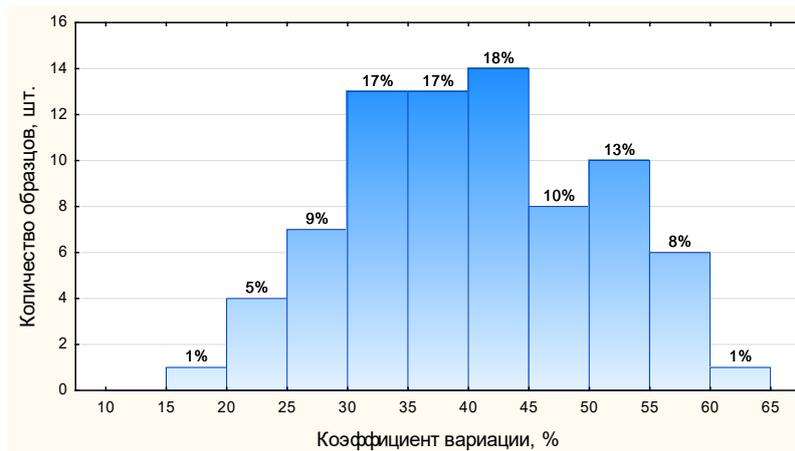


Рис. 9. Распределение сортов ярового ячменя по коэффициенту вариации, 2022–2024 гг.

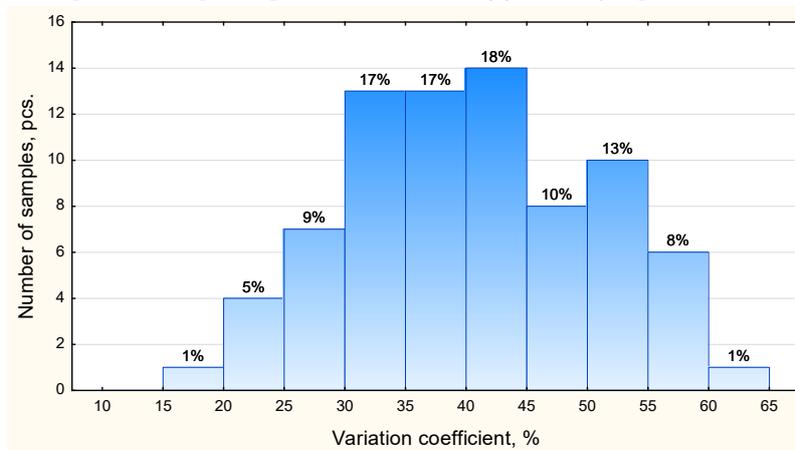


Fig. 9. Distribution of spring barley varieties by variation coefficient, 2022–2024

Согласно полученным данным, коэффициент линейной регрессии b_i варьировал в пределах от 0,48 до 1,63. При высоком значении коэффициента линейной регрессии ($b_i > 1$) у изучаемых сортов наблюдается высокая отзывчивость на улучшение условий среды. Высокий коэффициент отмечался у сортов Казер ($b_i = 1,35$), Русь ($b_i = 1,40$), Бином ($b_i = 1,44$) (Россия), Одесский 22 ($b_i = 1,41$), Гетьман ($b_i = 1,42$), Командир ($b_i = 1,43$), Норд 071111 ($b_i = 1,63$) (Украина), Бадьорий ($b_i = 1,32$) (Беларусь), Регун ($b_i = 1,37$) (Франция). Сорта, для которых коэффициент линейной регрессии близок к единице, характеризуются стабильной урожайностью, слабо зависящей от изменений природной среды. К данным сортам можно отнести Агат ($b_i = 1,00$) (Россия), Чаривный ($b_i = 1,01$) (Украина), Аскольд ($b_i = 1,02$) (Беларусь), Медикум 11 ($b_i = 1,00$) (Казхстан), Venas ($b_i = 1,03$), Quantum ($b_i = 1,02$) (Голландия), Эйфель ($b_i = 1,01$) (Франция), Местный к-26598 ($b_i = 0,99$), Местный к-26698 ($b_i = 1,03$) (Дагестан). Сорта с низким коэффициентом линейной регрессии ($b_i < 1$) отличаются относительно высокой стабильностью при неблагоприятных условиях среды. К таким сортам относятся Заветный ($b_i = 0,59$), Тонус ($b_i = 0,48$) (Россия), Чарльз ($b_i = 0,55$), Annabel ($b_i = 0,48$) (Франция), CDC Dawn

($b_i = 0,48$) (Канада). Более подробное распределение сортов по коэффициенту линейной регрессии представлено на рис. 8.

Коэффициент вариации изучаемых сортов варьировал от 18,7 до 60,0 %. В соответствии с общепринятой классификацией изменчивость считается слабой при коэффициенте вариации менее 10 %, средней – от 10 % до 20 %, сильной – при 20 % и более (рис. 9).

Анализ показал, что сорт Annabel (Франция) продемонстрировал среднюю изменчивость ($V = 18,7$ %), остальные сорта характеризуются сильной изменчивостью.

По степени гомеостатичности, то есть способности минимизировать влияние неблагоприятных условий на проявление признака, сорта демонстрировали разброс значений от 2,3 до 20,3 (рис. 10). Самое высокое значение гомеостатичности отмечено у сорта Annabel (Франция): $Hom = 20,3$.

Селекционная ценность генотипа (Sc), являющаяся одним из параметров оценки экологической пластичности сорта, сочетает в себе высокую урожайность с адаптивными возможностями [12]. Вариация параметра была в пределах от 1,55 до 4,40. По этому показателю выделились сорта Чарльз ($Sc = 4,22$) и KWS-11-228 ($Sc = 4,40$) (Франция) (рис. 11).

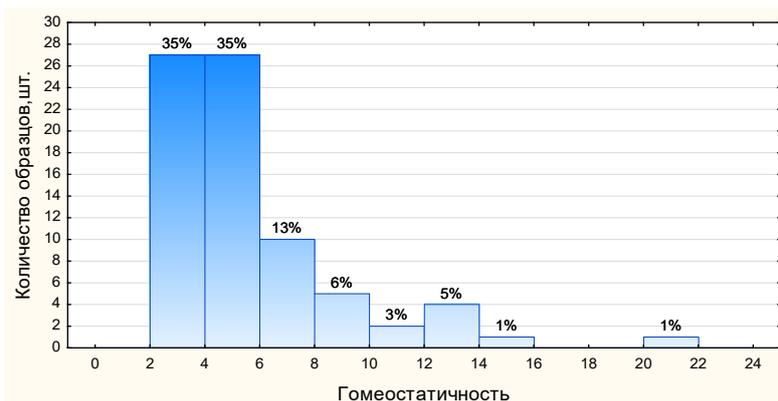


Рис. 10. Распределение сортов ярового ячменя по гомеостатичности, 2022–2024 гг.

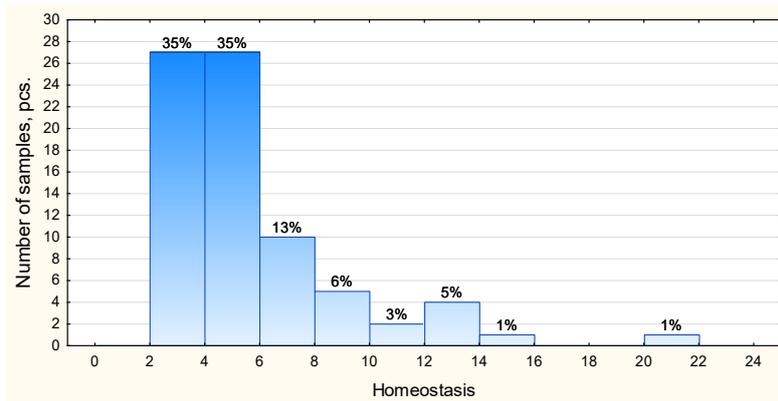


Fig. 10. Distribution of spring barley varieties by homeostasis, 2022–2024

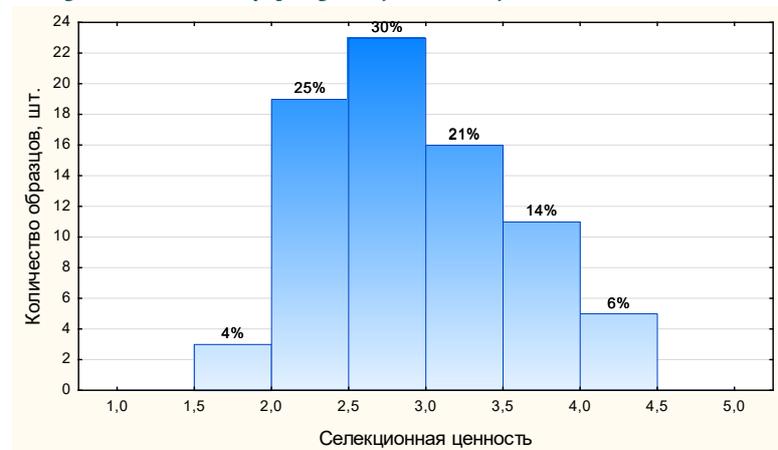


Рис. 11. Распределение сортов ярового ячменя по селекционной ценности, 2022–2024 гг.

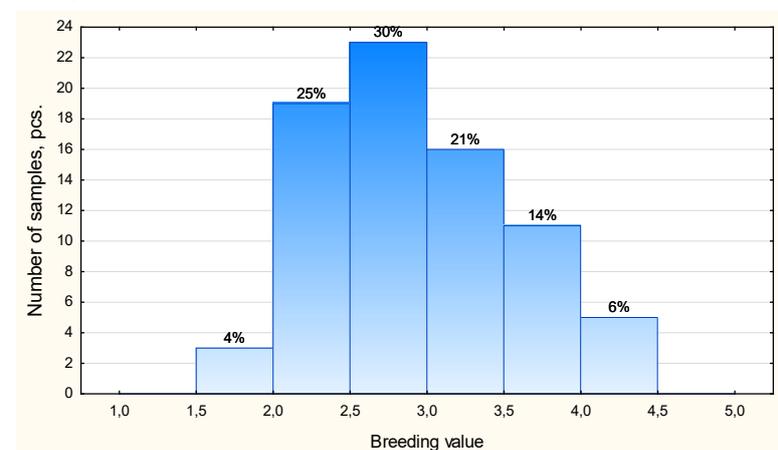


Fig. 11. Distribution of spring barley varieties by breeding value, 2022–2024

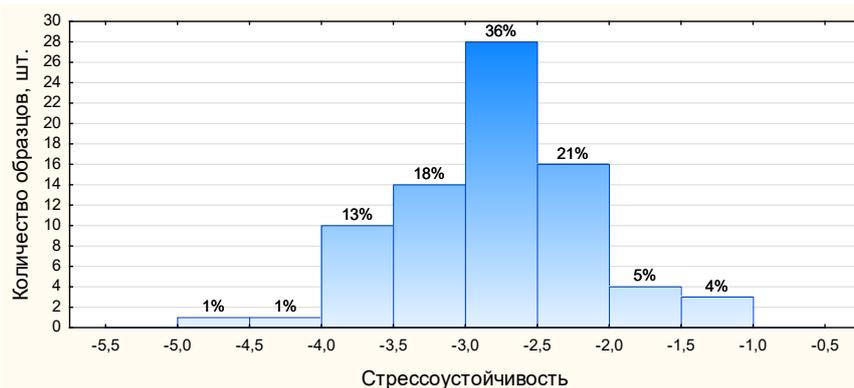


Рис. 12. Распределение сортов ярового ячменя по стрессоустойчивости, 2022–2024 гг.

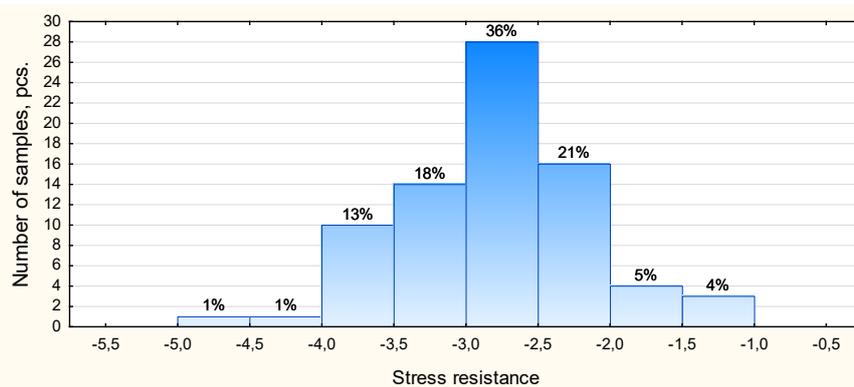


Fig. 12. Distribution of spring barley varieties by stress resistance, 2022–2024

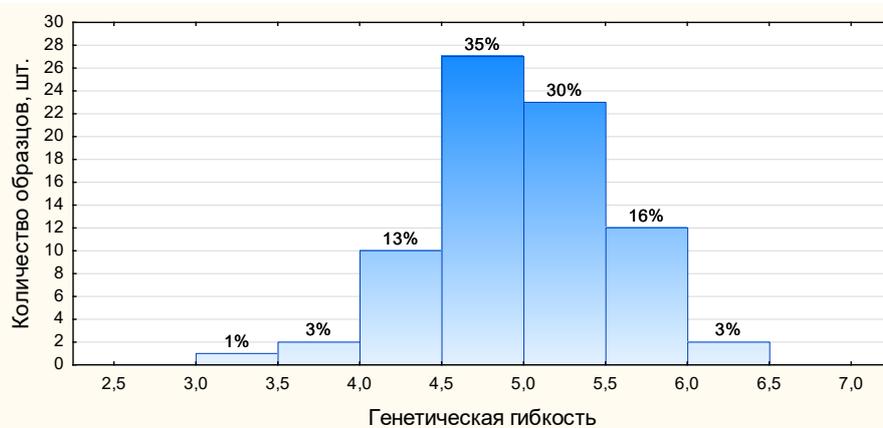


Рис. 13. Распределение сортов ярового ячменя по генетической гибкости, 2022–2024 гг.

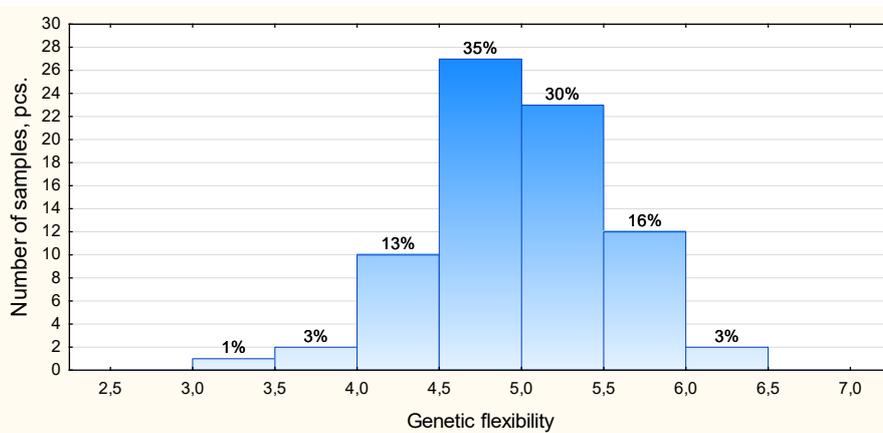


Fig. 13. Distribution of spring barley varieties by genetic flexibility, 2022–2024

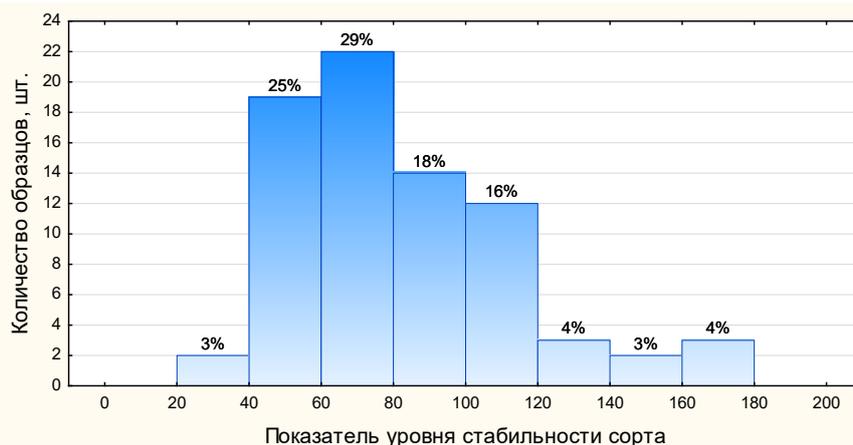


Рис. 14. Распределение сортов ярового ячменя по показателю уровня стабильности сорта, 2022–2024 гг.

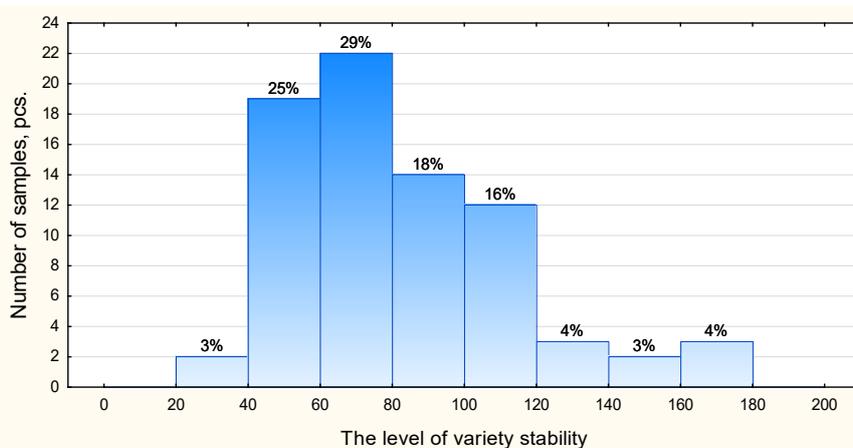


Fig. 14. Distribution of spring barley varieties by the level of variety stability, 2022–2024

Для оценки устойчивости сортов к неблагоприятным факторам используется параметр стрессоустойчивости, который определяется как диапазон между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_{\min} - Y_{\max}$) [13]. Поскольку этот показатель имеет отрицательное значение, меньшая амплитуда колебаний урожайности свидетельствует о лучшей адаптации сорта к различным условиям среды. Диапазон значений стрессоустойчивости в нашем исследовании составил от $-1,2$ до $-4,8$. Наиболее стрессоустойчивым охарактеризовались сорта Тонус ($Y_{\min} - Y_{\max} = -1,4$) (Россия), Annabel ($Y_{\min} - Y_{\max} = -1,4$) (Франция) и CDC Dawn ($Y_{\min} - Y_{\max} = -1,2$) (Канада) (рис. 12).

Генетическая гибкость, представляющая собой среднее арифметическое минимальной и максимальной урожайности ($(Y_{\min} + Y_{\max}) / 2$), служит мерой компенсаторной способности сортов [14]. Этот показатель, который в данном исследовании составил от 3,2 до 6,3, отражает степень согласованности между урожайностью конкретного сорта и условиями окружающей среды. Чем выше значение генетической гибкости, тем точнее урожайность сорта соответствует требованиям среды. Наиболее высокие значения данного показателя отмечены у сортов Грейс (6,1) и Эйфель (6,3) (Франция) (рис. 13).

Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) характеризует способность сорта отзываться на улучшение условий выращивания по отношению к данному стандарту [15]. При анализе показатель уровня стабильности урожайности сорта изменялся от 24,9 % до 177,2 %. Наиболее высокий показатель уровня стабильности сорта отмечен у сортов KWS-11-228 (169,5 %), Annabel (170,4 %), Грейс (177,2 %) (Франция) (рис. 14).

Согласно проведенному анализу, по совокупности признаков, характеризующих адаптивные свойства, выделились сорта Annabel, Грейс, KWS-11-228 (Франция), CDC Dawn (Канада), Тонус (Россия) как наиболее устойчивые к неблагоприятным факторам среды, что позволяет их использовать в качестве исходного материала в селекционном процессе при создании сортов, обладающих высокими адаптивными свойствами.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По результатам изучения коллекционного материала выделены новые источники для использования в селекционных программах по увеличению значений отдельных признаков и их комплексу:

- количество продуктивных стеблей на единицу площади: Азов, Донецкий 14 (Россия), Чаривный (Украина), Медикум 176 (Казахстан), Чарльз, Viking, Perun и КВС Орфелия (Франция);

- масса 1000 зерен: Приазовский 9 (Россия), Одесский 22 (Украина);
- масса зерна с колоса: Талер, Липень (Беларусь), Амбер (Франция), Омский голозерный 4 (Россия);
- скороспелость: Зерноградский 1670, Вадим, Стимул, К-26598 (Россия);
- высокая продуктивность: Эйфель, КВС Орфелия, Фокус, KWS-11-228 (Франция).

Согласно проведенному анализу, по совокупности признаков, характеризующих адаптивные свойства, выделились сорта Annabel, Грейс, KWS-11-228 (Франция), CDC Dawn (Канада), Тонус (Россия) как наиболее устойчивые к неблагоприятным факторам среды, что позволяет их использовать в качестве исходного материала в селекционном процессе при создании сортов, обладающих высокими адаптивными свойствами.

Библиографический список

1. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П., Дорошенко Э. С., Засыпкина И. М., Брагин Р. Н. Оценка исходного материала ячменя в условиях Ростовской области // *Зерновое хозяйство России*. 2022. № 1 (79). С. 3–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10.
2. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. Т. 25, № 4. 2021. С. 401–407. DOI: 10.18699/VJ21.044.
3. Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцова А. А., Донцов Д. П. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя // *Таврический вестник аграрной науки*. 2021. № 3 (27). С. 172–179. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179.
4. Донцова А. А., Донцов Д. П., Филиппов Е. Г. Селекция сортов двуручек ячменя в ФГБНУ АНЦ «Донской» // *Зерновое хозяйство России*. 2023. № 5. С. 39–47. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-39-47.
5. Doroshenko E., Filippov Y., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breeding-valuable traits in the conditions of the Rostov region // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 937. Article number 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121.
6. Донцова А. А., Донцов Д. П., Дорошенко Э. С., Брагин Р. Н., Сухарев А. А., Овсянникова Г. В. Возделывание ярового ячменя: методические рекомендации. Саратов: ООО «Амирит», 2025. 68 с.
7. Николаев П. Н., Юсова О. А. Стрессоустойчивость сортов ярового ячменя омской селекции в условиях Западной Сибири // *Таврический вестник аграрной науки*. 2020. № 4 (24). С. 135–142. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-135-142.
8. Брагин Р. Н., Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П. Анализ урожайности сортов ярового ячменя в условиях изменчивости природной среды // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023. Т. 53, № 10. С. 31–42. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-10-4.
9. Cammarano D., Holland J., Ronga D. Spatial and temporal variability of spring barley yield and quality quantified by crop simulation model // *Agronomy*. 2020. No. 3. Pp. 393–405. DOI: 10.3390/agronomy10030393.
10. Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб.: Всероссийский НИИ растениеводства имени Н. И. Вавилова (ГНУ ВИР Россельхозакадемии). 2012; 63 с.
11. Sherman Ja. D., Hoogland T., Williams J., Lutgen G. Breeding winter and spring two-row barley for more sustainable livestock production // *Journal of Animal Science*. 2022. Vol. 100, No. 3. Pp. 88–89.
12. Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцова А. А., Донцов Д. П. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов ярового ячменя // *Таврический вестник аграрной науки*. 2021. № 3 (27). С. 172–179. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179.
13. Сурин Н. А., Герасимов С. А., Ляхова Н. Е. Адаптивность и экологическая пластичность ячменя в условиях лесостепи Красноярского края // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023. Т. 53, № 6. С. 15–23. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-6-2.
14. Брагин Р. Н., Донцова А. А. Комплексная оценка урожайности сортов озимого ячменя по параметрам адаптивности // *Достижения науки и техники АПК*. 2024. Т. 38, № 5. С. 16–20. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_5_16.
15. Турина Е. Л., Прахова Т. Я., Турин Е. Н., Зубоченко А. А., Прахов В. А. Оценка сортообразцов рыжика озимого (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) по экологической адаптивности // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55, № 3. С. 564–572. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.564rus.

Об авторах:

Эдуард Сергеевич Дорошенко, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0002-0787-9754, AuthorID 683984. E-mail: doroshenko.eduard.91@mail.ru

Александра Александровна Донцова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Ростовская область, Россия; доцент кафедры «Агрономия», Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону, Россия; ORCID 0000-0002-6570-4303, AuthorID 683776. *E-mail: doncova601@mail.ru*

Дмитрий Петрович Донцов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0001-9253-3864, AuthorID 683984. *E-mail: dontsov1324@mail.ru*

Роман Николаевич Брагин, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя; Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0002-4617-751X, AuthorID 913109. *E-mail: braginroman40@yandex.ru*

Ирина Михайловна Засыпкина, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя; Аграрный научный центр «Донской», Зерноград, Ростовская область, Россия; ORCID 0000-0002-1281-5317, AuthorID 1157686. *E-mail: irinka_kolosok92@mail.ru*

References

1. Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Doroshenko E. S., Zasypkina I. M., Bragin R. N. Estimation of the initial material of spring barley in the Rostov region. *Grain Economy of Russia*. 2022; 1 (79): 3–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10. (In Russ.)

2. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I., Kostenko S. I. Development of modern breeding and seed production of forage crops in Russia. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 4 (25): 401–407. DOI: 10.18699/VJ21.044. (In Russ.)

3. Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsova A. A., Dontsov D. P. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021; 3 (27): 172–179. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179. (In Russ.)

4. Dontsova A. A., Dontsov D. P., Filippov E. G. Breeding of the facultative barley varieties at the FSBSI ARC “Donskoy”. *Grain Economy of Russia*. 2023; 5: 39–47. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-39-47. (In Russ.)

5. Doroshenko E., Filippov Y., Dontsova A., Dontsov D. Screening of breeding material of naked barley for breeding-valuable traits in the conditions of the Rostov region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 937: 022121. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022121.

6. Dontsova A. A., Dontsov D. P., Doroshenko E. S., Bragin R. N., Sukharev A. A., Ovsyannikova G. V. *Cultivation of spring barley: methodological recommendations*. Saratov: Amirit LLC, 2025. 68 p. (In Russ.)

7. Nikolaev P. N., Yusova O. A. Resistance of spring barley varieties bred by the Omsk Agrarian Scientific Center to stress under conditions of Western Siberia. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2020; 4: 135–142. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-135-142. (In Russ.)

8. Bragin R. N., Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P. Yield analysis of spring barley varieties under conditions of environmental variability. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2023; 53 (10): 31–42. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-10-4. (In Russ.)

9. Cammarano D., Holland J., Ronga D. Spatial and temporal variability of spring barley yield and quality quantified by crop simulation model. *Agronomy*. 2020; 3: 393–405. DOI: 10.3390/agronomy10030393.

10. Loskutov I. G., Kovalyova O. N., Blinova E. V. *Methodical instructions on studying and saving world collection of barley and oats*. Saint-Petersburg: N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resource (SSI VIR of the Russian Agricultural Academy), 2012. 63 p. (In Russ.)

11. Sherman Ja. D., Hoogland T., Williams J., Lutgen G. Breeding winter and spring two-row barley for more sustainable livestock production. *Journal of Animal Science*. 2022; 3 (100): 88–89.

12. Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsova A. A., Dontsov D. P. Assessment of ecological plasticity and stability of spring barley. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021; 3 (27): 172–179. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-3-27-172-179. (In Russ.)

13. Surin N. A., Gerasimov S.A., Lyakhova N. E. Adaptability and ecological plasticity of barley under forest-steppe conditions of the Krasnoyarsk Territory. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2023; 6 (53): 15–23. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-6-2. (In Russ.)

14. Bragin R. N., Dontsova A. A. Comprehensive assessment of the yield of winter barley varieties by adaptability parameters. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2024; 5 (38): 16–20. DOI: 10.53859/02352451_2024_38_5_16. (In Russ.)

15. Turina E. L., Prakhova T. Ya., Turin E. N., Zubochenko A. A., Prakhov V. A. Evaluation of winter camelina (*Camelina sylvestris* Waller ssp. *pilosa* Zing.) cultivars for environmental adaptability. *Agricultural biology*. 2020; 3 (55): 564–572. DOI: 10.15389/agrobiol.2020.3.564rus. (In Russ.)

Authors' information:

Eduard S. Doroshenko, candidate of agricultural sciences, research associate of the department of barley breeding and seed production; Agricultural Research Center "Donskoy", Zernograd, Rostov region, Russia; ORCID 0000-0002-0787-9754, AuthorID 683984. *E-mail: doroshenko.eduard.91@mail.ru*

Aleksandra A. Dontsova, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production; Agricultural Research Center "Donskoy", Zernograd, Rostov region, Russia; associate professor of the department "Agronomy", Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia; ORCID 0000-0002-6570-4303, AuthorID 683776. *E-mail: dontcova601@mail.ru*

Dmitriy P. Dontsov, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, Agricultural Research Center "Donskoy", Zernograd, Rostov region, Russia; ORCID 0000-0001-9253-3864, AuthorID 683984. *E-mail: dontsov1324@mail.ru*

Roman N. Bragin, junior researcher of the department of barley breeding and seed production, Agricultural Research Center "Donskoy", Zernograd, Rostov region, Russia; ORCID 0000-0002-4617-751X, AuthorID 913109. *E-mail: braginroman40@yandex.ru*

Irina M. Zasypkina, junior researcher of the department of barley breeding and seed production, Agricultural Research Center "Donskoy", Zernograd, Rostov region, Russia; ORCID 0000-0002-1281-5317, AuthorID 1157686. *E-mail: irinka_kolosok92@mail.ru*

Применение стимулятора корнеобразования и некоторые особенности ризогенеза стеблевых черенков *Aerva lanata* и *Orthosiphon aristatus* при вегетативном размножении

А. А. Коростылев[✉], Л. А. Логвиненко, О. М. Шевчук, А. П. Диваков

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, Ялта, Россия

[✉]E-mail: andkor92@mail.ru

Аннотация. В работе представлены данные о степени укоренения и некоторые особенности формирования придаточных корней стеблевых черенков двух перспективных тропических видов лекарственных растений – *Aerva lanata* и *Orthosiphon aristatus*. **Целью** проведенного исследования было изучение особенностей ризогенеза стеблевых черенков в зависимости от места заготовки и обработки стимулятором корнеобразования индолилмасляной кислоты. **Методы.** Двухфакторный эксперимент проводился в период 2019–2021 гг. на базе Никитского ботанического сада согласно общепринятым методикам вегетативного размножения растений и оценен с помощью метода дисперсионного анализа. **Научная новизна** работы заключается в комплексной сопоставительной оценке видоспецифических различий ризогенеза у двух лекарственно значимых тропических таксонов с учетом места заготовки черенков с растений и методов их обработки стимуляторами. **Результаты** показали выраженные межвидовые различия: *Aerva lanata* характеризуется низкой укореняемостью (уровень корнеобразования < 30 %) – отнесен к трудноукореняемым видам; *Orthosiphon aristatus* характеризуется высокой укореняемостью (> 70 %) – отнесен к легкоукореняемым видам. При этом для *A. lanata* обработка нижних срезов водным раствором индолилмасляной кислотой (ИМК) 50 мг/л существенно повышала укореняемость и биометрию корней; для *O. aristatus* применение ИМК 50 мг/л в целом не давало стабильного статистически достоверного улучшения во всех показателях. Черенки *Aerva lanata*, заготовленные из основания побегов, продемонстрировали лучшие репродукционные и биометрические показатели по сравнению с черенками из средней части побегов. У *Orthosiphon aristatus* данные результаты не зависели от порядка побегов – значимого преимущества черенков первого порядка над вторым не выявлено. Для повышения степени укоренения черенков *A. lanata* и их биометрических параметров рекомендуется преимущественно обработка ИМК 50 мг/л, особенно для черенков из основания побегов. Для *O. aristatus* могут применяться как обработка ИМК 50 мг/л, так и опудривание смесью активированного угля с ИМК (0,5 г/кг), хотя при этом разница по исследуемым показателям в сравнении с обработкой водой незначительна.

Ключевые слова: *Aerva lanata* Juss., пол-пала, *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq., почечный чай, лекарственные растения, вегетативное размножение

Для цитирования: Коростылев А. А., Логвиненко Л. А., Шевчук О. М., Диваков А. П. Применение стимулятора корнеобразования и некоторые особенности ризогенеза стеблевых черенков *Aerva lanata* и *Orthosiphon aristatus* при вегетативном размножении // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 237–246. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-237-246>.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания: «Выявление закономерностей синтеза биологически активных веществ как основы создания сортов эфиромасличных и лекарственных растений – источников ценного растительного сырья и средств для улучшения качества жизни человека в рамках реализации программы импортозамещения» (FNNS-2025-0001).

Дата поступления статьи: 17.12.25, **дата рецензирования:** 30.12.2025, **дата принятия:** 16.01.2026.

Application of a root formation stimulant and some features of rhizogenesis in stem cuttings of *Aerva lanata* and *Orthosiphon aristatus* during vegetative propagation

A. A. Korostylev[✉], L. A. Logvinenko, O. M. Shevchuk, A. P. Divakov

Nikitsky Botanical Gardens – National Science Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia

[✉]E-mail: andkor92@mail.ru

Abstract. The paper presents data on the degree of rooting and some features of the formation of adventitious roots of stem cuttings of two promising tropical medicinal plant species – *Aerva lanata* and *Orthosiphon aristatus*. **The purpose** of the study was to investigate the features of rhizogenesis of stem cuttings depending on the place of harvesting and treatment with the rooting stimulant indole-butyric acid. **Methods.** The two-factor experiment was conducted in the period 2019–2021 on the basis of the Nikitsky Botanical Garden according to the generally accepted methods of vegetative plant propagation and was analyzed using the method of dispersion analysis. **The scientific novelty** of the work lies in the comprehensive comparative assessment of species-specific differences in rhizogenesis in two medicinal tropical taxa, taking into account the location of the plant cuttings and the methods of their treatment with stimulants. **The results** showed pronounced interspecific differences: *Aerva lanata* is characterized by low rooting capacity (root formation level < 30 %) and is classified as a difficult-to-root species; *Orthosiphon aristatus* is characterized by high rooting capacity (> 70 %) and is classified as an easy-to-root species. At the same time, for *A. lanata*, treatment of lower cuts with an aqueous solution of indolylbutyric acid (IBA) at a concentration of 50 mg/l significantly increased rooting and biometry; for *O. aristatus*, the use of IBA at a concentration of 50 mg/l did not result in a stable and statistically significant improvement in all parameters. *Aerva lanata* cuttings harvested from the base of the shoots showed better reproductive and biometric performance compared to cuttings from the middle part of the shoots. In *Orthosiphon aristatus*, the results did not depend on the order of the shoots; there was no significant advantage of first-order cuttings over second-order cuttings. To increase the degree of rooting of *A. lanata* cuttings and their biometric parameters, it is recommended to use IMC at a concentration of 50 mg/l, especially for cuttings from the base of the shoots. For *O. aristatus*, both IMC treatment at a concentration of 50 mg/l and dusting with a mixture of activated charcoal and IMC (0.5 g/kg) can be used, although there is no significant difference in the studied parameters compared to water treatment.

Keywords: *Aerva lanata* Juss., pol-pala, *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq., kidney tea, medicinal plants, vegetative propagation

Acknowledgements. The study was carried out as part of a government assignment: “Identification of the patterns of synthesis of biologically active substances as the basis for creating varieties of essential oil and medicinal plants – sources of valuable plant raw materials and means for improving the quality of human life as part of the import substitution program” (FNNS-2025-0001).

For citation: Korostylev A. A., Logvinenko L. A., Shevchuk O. M., Divakov A. P. Application of a root formation stimulant and some features of rhizogenesis in stem cuttings of *Aerva lanata* and *Orthosiphon aristatus* during vegetative propagation. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 237–246. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-237-246>. (In Russ.)

Date of paper submission: 17.12.25, **date of review:** 30.12.2025, **date of acceptance:** 16.01.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Восстановление отечественного лекарственного растениеводства является насущной задачей, учитывая исторический упадок отрасли и сохраняющуюся зависимость от импорта сырья [1]. Одобрение дорожной карты «Хелснет» в рамках Национальной технологической инициативы прямо указывает на

приоритетность развития промышленного выращивания лекарственных растений и производства фитопрепаратов. Внедрение в культуру новых, фармакопейных видов является ключевым звеном этой стратегии, а глобальный рост спроса на фитопрепараты, особенно в странах Восточной Азии, открывает для России возможности стать экспорте-

ром высококачественного сырья [2]. Вопросы вегетативного размножения лекарственных растений направлены не только на дальнейшее развитие отрасли лекарственного растениеводства, но и на сохранение всех биохимических признаков данных культур для воспроизводства качественного лекарственного сырья.

Aerva lanata и *Orthosiphon aristatus* обладают доказанным диуретическим, нефропротекторным, противовоспалительным и антиоксидантным действием [3–5]. Оба растения являются официальными лекарственными средствами, включенными в Государственную фармакопею РФ, однако их сырье импортируется из-за рубежа [6]. Препараты на их основе демонстрируют высокую эффективность и безопасность в профилактике и лечении уrolитиаза (мочекаменной болезни), распространенность которой возрастает [7]. Это создает устойчивый социальный запрос на доступное и качественное сырье.

Современная мировая практика базируется на неустойчивом сборе дикоросов, который служит основным источником сырья для фармацевтической и косметической промышленности. Бесконтрольная заготовка ведет к потере генетического разнообразия и деградации экосистем [8]. В Европе культивируется лишь около 10 % коммерчески используемых видов, что угрожает устойчивости их природных популяций [9]. Разработка эффективных методов размножения является основой для создания плантаций, что позволит обеспечить стабильное сырье, сохранить генофонд и снизить антропогенную нагрузку на природные экосистемы.

В контексте интродукционных исследований на Южном берегу Крыма ранее было установлено, что *Aerva lanata* в новых для себя условиях проходит полный жизненный цикл, способна к генеративному размножению и образует полноценные семена, что свидетельствует о высокой степени адаптации вида к абиотическим и биотическим условиям этого региона и указывает на потенциальную возможность его устойчивого культивирования [10]. Напротив, у *Orthosiphon aristatus* наблюдается крайне низкая эффективность плодоношения: завязывание плодов отмечается редко, а образующиеся плоды часто опадают до созревания. Анализ его генеративных структур выявил геркогамию и неодновременное созревание мужских и женских гамет, что объясняет недостаточную успешность генеративного размножения данного вида [11].

Размножение растений стеблевыми черенками является одним из широко распространенных методов вегетативного размножения и опирается на способность участков стебля формировать новые вегетативные особи. Ключевая сложность при применении этого метода заключается в обеспечении жизнеспособности отделенного черенка

в период его автономии до момента формирования собственной корневой системы, что определяет успешность укоренения и последующего роста. Продолжительность этого этапа варьирует в зависимости от комплекса факторов: физиологического состояния самого черенка, его положения на материнском растении, типа побега, а также от факторов среды. У некоторых таксонов эта способность выражена ярко, что делает метод простым и эффективным, тогда как у других укоренение черенков затруднено или практически невозможно.

Подобного рода исследования имеют теоретическое и практическое значение, поскольку позволяют выявить видоспецифические особенности укоренения, что может служить основой для оптимизации агротехнических приемов при массовом размножении и сохранении растительного материала. В рамках данной проблематики цель наших исследований состояла в выявлении особенностей ризогенеза, а также в определении оптимальных приемов заготовки и обработки стеблевых черенков двух перспективных лекарственных видов – *Aerva lanata* и *Orthosiphon aristatus* – при вегетативном размножении.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в период 2019–2021 годов на базе лаборатории ароматических и лекарственных растений Никитского ботанического сада (НБС). Методической основой работы послужили рекомендации по интродукционным и селекционным исследованиям ароматических и лекарственных растений [12]. Объектами исследования были два тропических лекарственных вида растений, традиционно используемые в фитотерапии заболеваний мочевыделительной системы в различных регионах их естественного произрастания.

Aerva lanata Juss. (эрва шерстистая, или полпала) – многолетнее травянистое растение с широким ареалом, включающим тропические регионы Индии, Африки и Юго-Восточной Азии. В фармакопеях в качестве лекарственного сырья используют высушенную траву этого вида, которая богата алкалоидами, стероидами, флавоноидами, дубильными веществами, белками, углеводами, кардиогликозидами, сапонинами и терпеноидами. Семенной материал *A. lanata* поступил в коллекцию НБС в 1986 году в результате завоза из Шри-Ланки.

Orthosiphon aristatus (Blume) Miq. (ортосифон тычиночный, или почечный чай) – многолетний полукустарник, натурализованный в регионах Индии, Юго-Восточной Азии и тропической Австралии; в качестве лекарственного и сырьевого материала используются высушенные листья и верхушки побегов, содержащие терпеноиды, полифенолы и стеролы. Зеленые черенки *O. aristatus* были получены из Пятигорского ботанического сада в 2014 году.

Таблица 1
Степень укоренения (%) стеблевых черенков *Aerva lanata* Juss. (средние значения за 2019–2021 гг.)

№	Вариант стимулирования корнеобразования (фактор А)	Часть побега (фактор В)	
		Основание	Средняя часть
1	Вода (контроль)	8,11 ± 0,56	5,22 ± 0,22
2	ИМК 50 мг/л	12,22 ± 0,95	8,89 ± 0,11
3	Смесь активированного угля с ИМК 50 мг/кг	9,22 ± 0,48	6,44 ± 0,48
HCP _{A05} = 1,92; HCP _{B05} = 2,35; HCP _{AB05} = 1,36			

Table 1
Routed stem cuttings degree (%) *Aerva lanata* Juss. (average values for 2019–2021)

No.	Option for stimulating root formation (factor A)	Part of the plant shoot (factor B)	
		Base	Middle part
1	Water (control)	8.11 ± 0.56	5.22 ± 0.22
2	IBA 50 mg/l	12.22 ± 0.95	8.89 ± 0.11
3	Activated charcoal mixture with IBA 50 mg/kg	9.22 ± 0.48	6.44 ± 0.48
LCD _{A05} = 1.92; LCD _{B05} = 2.35; LCD _{AB05} = 1.36			

Таблица 2
Некоторые особенности формирования придаточных корней у стеблевых черенков *Aerva lanata* Juss. (средние значения за 2019–2021 гг.)

№	Вариант стимулирования корнеобразования (фактор А)	Часть побега (фактор В)	
		Основание	Средняя часть
Количество корней 1-го порядка, шт.			
1	Вода (контроль)	2,97 ± 0,46	1,04 ± 0,20
2	ИМК 50 мг/л	4,58 ± 0,64	2,54 ± 0,50
3	Смесь активированного угля с ИМК 50 мг/кг	3,25 ± 0,18	1,39 ± 0,29
HCP _{A05} = 1,47; HCP _{B05} = 1,80; HCP _{AB05} = 1,04			
Длина корней 1-го порядка, см			
1	Вода (контроль)	1,33 ± 0,14	0,57 ± 0,10
2	ИМК 50 мг/л	2,24 ± 0,23	1,31 ± 0,12
3	Смесь активированного угля с ИМК 50 мг/кг	2,04 ± 0,12	1,29 ± 0,22
HCP _{A05} = 0,58; HCP _{B05} = 0,71; HCP _{AB05} = 0,41			

Table 2
Some features of the formation of adventitious roots in stem cuttings of *Aerva lanata* Juss. (average values for 2019–2021)

No.	Option for stimulating root formation (factor A)	Part of the plant shoot (factor B)	
		the base	the middle part
Number of 1st-order roots, pcs.			
1	Water (control)	2.97 ± 0.46	1.04 ± 0.20
2	IBA 50 mg/l	4.58 ± 0.64	2.54 ± 0.50
3	Activated charcoal mixture with IBA 50 mg/kg	3.25 ± 0.18	1.39 ± 0.29
LCD _{A05} = 1.47; LCD _{B05} = 1.80; LCD _{AB05} = 1.04			
Length of the 1st-order roots, cm			
1	Water (control)	1.33 ± 0.14	0.57 ± 0.10
2	IBA 50 mg/l	2.24 ± 0.23	1.31 ± 0.12
3	Activated charcoal mixture with IBA 50 mg/kg	2.04 ± 0.12	1.29 ± 0.22
LCD _{A05} = 0.58; LCD _{B05} = 0.71; LCD _{AB05} = 0.41			

В рамках совместного исследования по оценке корнеобразования у двух видов для каждого из них была принята унифицированная экспериментальная схема двухфакторного опыта. Материал отбирали на маточных растениях как с оснований и средней части побегов (*A. lanata*), так и с побегов первого и второго порядка (*O. aristatus*), причем заготовка осуществлялась в период выраженного вегетативного роста согласно общепринятой методике [13]. Особое внимание в эксперименте уделялось роли регуляторов роста. На основании исследований других авторов [14; 15] была рассмотрена концепция, благодаря которой мы смогли сосредоточиться на оценке сравнительной эффективности самих методов доставки фитогормона к тканям черенка. Для этого использовали три варианта обработки черенков: контроль (обработка водой), погружение нижней части черенка в водный раствор β -индолил-3-масляной кислоты (ИМК) в концентрации 50 мг/л с экспозицией 18 ч, а также опудривание основания смесью активированного угля с добавлением ИМК в соотношении 0,5 г/кг непосредственно перед посадкой в питомник размножения.

После обработки черенки высаживали в специально оборудованные экспериментальные парники защищенного грунта, где субстратом являлась почвенная смесь, состоящая из равных долей чернозема, песка и торфа. Для каждого сочетания факторов использовалась трехкратная повторность, что обеспечило статистическую достоверность результатов согласно общепринятому методу дисперсионного анализа [16].

Результаты (Results)

При обработке зеленых черенков *Aerva lanata* простым водным раствором было зафиксировано укоренение у 8,11 % образцов, заготовленных из основания побегов, тогда как доля укоренившихся черенков, взятых из средней части побегов, составила 5,22 % (таблица 1).

При сопоставлении показателей укоренения черенков, полученных из основания побегов, выявлено, что применение водного раствора индолилмасляной кислоты (вариант 2) приводило к статистически достоверному превышению уровня укоренения по сравнению с контрольной обработкой водой: в эксперименте с раствором ИМК корнеобразование достигало 12,22 %. Обработка смесью активированного угля с ИМК (вариант 3) также сопровождалась повышением степени укоренившихся черенков до 9,22 % по отношению к контролю, однако это увеличение не было статистически значимым.

Аналогичная тенденция отмечалась и для черенков, заготовленных из средней части побегов: в варианте 2, предусматривавшем обработку раствором ИМК, уровень укоренения составил 8,89 %, что являлось статистически значимым по отношению к контрольной группе, обработанной водой. Вариант 3

продемонстрировал умеренное повышение процента укоренившихся экземпляров до 6,44 %, однако данная разница также не достигала уровня статистической значимости по сравнению с контролем.

При подсчете числа придаточных корней в контрольной группе, где черенки обрабатывались водой, было установлено, что среднее количество придаточных корней у экземпляров, заготовленных из основания побегов, составило 2,97 единицы, тогда как у черенков, взятых из средней части побегов, этот показатель оказался существенно ниже и составил 1,04 единицы (таблица 2).

В эксперименте с применением водного раствора индолилмасляной кислоты в концентрации 50 мг/л (вариант 2) зафиксировано статистически значимое увеличение числа корней первого порядка. В частности, при обработке черенков, полученных из основания побегов, среднее количество придаточных корней возросло до 4,58 штуки, что наглядно подтверждает эффективность данного регулятора роста и развития. Аналогичная тенденция наблюдалась и для черенков, взятых из средней части побегов: среднее число образовавшихся придаточных корней в варианте 2 достигло 2,54 штуки, что также существенно превышает значение контрольной группы.

Вариант 3, предусматривавший опудривание смесью активированного угля с ИМК в дозировке 0,5 г/кг, не продемонстрировал существенных отличий по сравнению с контролем. Так, среднее количество придаточных корней у черенков из основания побегов в этом варианте составило 3,25 штуки, а у черенков из средней части – 1,39 штуки. Полученные данные свидетельствуют о том, что применение регулятора роста в форме опудривания в рассматриваемых условиях не оказывало заметного влияния на формирование придаточных корней.

Измерение длины придаточных корней у исследуемых черенков продемонстрировало данные, подтверждающие влияние применяемых методов обработки на морфогенез корней. В контрольной группе, где в качестве обработки использовалась простая вода, средняя длина придаточных корней у черенков, заготовленных из основания побегов, составила 1,33 см, тогда как у черенков, взятых из средней части побегов, этот показатель был более чем в два раза ниже и составил 0,57 см. Полученные значения свидетельствуют о том, что даже при отсутствии этапов гормональной стимуляции длина корней варьирует в зависимости от исходного места заготовки черенков.

Более выраженные эффекты были получены при использовании стимуляторов корнеобразования. Средняя длина корней первого порядка у укоренившихся черенков *Aerva lanata*, полученных как из основания побегов, так и из их средней части, достоверно превышала соответствующие показатели

контрольного варианта во всех изученных вариантах обработки. Наибольшие значения длины придаточных корней зафиксированы в варианте 2, где применяли водный раствор индолилмасляной кислоты в концентрации 50 мг/л: у черенков из основания побегов средняя длина достигла 2,24 см, а у черенков из средней части – 1,31 см.

Результаты исследований по числу укоренившихся черенков *Orthosiphon aristatus* представлены в таблице 3. Из этих данных видно, что при обработке зеленых черенков простой водой доля укоренившихся составила 88,55 % для черенков, заготовленных из побегов первого порядка, и 86,22 % для черенков, полученных из побегов второго порядка.

При детальном анализе процесса укоренения этих стеблевых черенков следует подчеркнуть, что в экспериментальном варианте 2 процент укоренившихся черенков, несмотря на абсолютное увеличение до 95,33 %, статистически не превышал показателей контрольной группы, где в качестве обработчика использовалась только вода. При комбинированной обработке черенков ИМК и активированного угля (вариант 3) также отмечено незначительное повышение данного параметра до 91,00 %.

Что касается черенков, заготовленных из побегов второго порядка, то в варианте 2 соответствующий показатель составил 92,00 %, который в сравнении с контролем не был достоверно значимым, а в варианте 3 вообще зарегистрировано минимальное увеличение степени укоренения до 87,11 %.

Проведенный анализ результатов подсчета придаточных корней позволил сформулировать ряд существенных наблюдений. В контрольной группе, где черенки из побегов первого порядка выдерживались в простой воде, зафиксировано среднее

значение числа придаточных корней, равное 8,64 штуки. В свою очередь, черенки от побегов второго порядка продемонстрировали несколько меньший показатель – 8,18 штуки (таблица 4).

При использовании ИМК в концентрации 50 мг/л (вариант 2) не было выявлено статистически значимого повышения числа корней: так, при обработке черенков из побегов первого порядка среднее значение составило 10,50 штуки, тогда как для черенков из побегов второго порядка этот показатель равнялся 9,81 штук. Аналогично в варианте 3, где применялось опудривание черенков смесью активированного угля и ИМК в дозировке 0,5 г/кг, результаты тоже не продемонстрировали существенных отличий по сравнению с контролем. Так, черенки, полученные из побегов первого порядка, в среднем имели 9,12 штуки корней, а черенки из побегов второго порядка – 8,94 штуки. Полученные данные подчеркивают необходимость всестороннего и детального исследования влияния различных методов обработки на процессы корнеобразования и подтверждают, что в условиях данного исследования ни один из тестируемых вариантов не обеспечил заметного превосходства по сравнению с контролем.

Исследование длины придаточных корней у укорененных черенков позволило получить подробные данные об их характеристиках при различных способах обработки. В контрольном варианте, где в качестве единственного регулятора применялась вода, было зафиксировано среднее значение длины корней у черенков, исходящих из побегов первого порядка, равное 3,21 см, тогда как у черенков, сформированных на побегах второго порядка, этот показатель оказался несколько ниже – 3,07 см.

Таблица 3
Степень укоренения (%) стеблевых черенков *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. (средние значения за 2019–2021 гг.)

№	Вариант стимулирования корнеобразования (фактор А)	Тип побега (фактор В)	
		1-го порядка	2-го порядка
1	Вода (контроль)	88,55 ± 3,27	86,22 ± 2,02
2	ИМК 50 мг/л	95,33 ± 1,64	92,00 ± 2,46
3	Смесь активированного угля с ИМК 50 мг/кг	91,00 ± 1,26	87,11 ± 1,94
$HCP_{A05} = 7,82; HCP_{B05} = 9,58; HCP_{AB05} = 5,53$			

Table 3
Routed stem cuttings degree (%) *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. (average values for 2019–2021)

No.	Option for stimulating root formation (factor A)	Type of plant shoot (factor B)	
		1st order	2nd order
1	Water (control)	88.55 ± 3.27	86.22 ± 2.02
2	IBA 50 mg/l	95.33 ± 1.64	92.00 ± 2.46
3	Activated charcoal mixture with IBA 50 mg/kg	91.00 ± 1.26	87.11 ± 1.94
$LCD_{A05} = 7.82; LCD_{B05} = 9.58; LCD_{AB05} = 5.53$			

Некоторые особенности формирования придаточных корней у стеблевых черенков *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. (средние значения за 2019–2021 гг.)

№	Вариант стимулирования корнеобразования (фактор А)	Тип побега (фактор В)	
		1-го порядка	2-го порядка
Количество корней 1-го порядка, шт.			
1	Вода (контроль)	8,64 ± 0,75	8,18 ± 1,09
2	ИМК 50 мг/л	10,50 ± 1,08	9,81 ± 0,51
3	Смесь активированного угля с ИМК 50 мг/кг	9,12 ± 0,79	8,94 ± 1,20
$HCP_{A05} = 3,33; HCP_{B05} = 4,08; HCP_{AB05} = 2,36$			
Длина корней 1-го порядка, см			
1	Вода (контроль)	3,21 ± 0,21	3,07 ± 0,45
2	ИМК 50 мг/л	4,19 ± 0,23	3,67 ± 0,34
3	Смесь активированного угля с ИМК 50 мг/кг	3,89 ± 0,58	3,24 ± 0,43
$HCP_{A05} = 1,41; HCP_{B05} = 1,72; HCP_{AB05} = 0,99$			

Table 4

Some features of the formation of adventitious roots in stem cuttings of *Orthosiphon aristatus* (Blume) Miq. (average values for 2019–2021)

No.	Option for stimulating root formation (factor A)	Type of plant shoot (factor B)	
		1st order	2nd order
Number of 1st-order roots, pcs.			
1	Water (control)	8.64 ± 0.75	8.18 ± 1.09
2	IBA 50 mg/l	10.50 ± 1.08	9.81 ± 0.51
3	Activated charcoal mixture with IBA 50 mg/kg	9.12 ± 0.79	8.94 ± 1.20
$LSD_{A05} = 3.33; LSD_{B05} = 4.08; LSD_{AB05} = 2.36$			
Length of the 1st-order roots, cm			
1	Water (control)	3.21 ± 0.21	3.07 ± 0.45
2	IBA 50 mg/l	4.19 ± 0.23	3.67 ± 0.34
3	Activated charcoal mixture with IBA 50 mg/kg	3.89 ± 0.58	3.24 ± 0.43
$LSD_{A05} = 1.41; LSD_{B05} = 1.72; LSD_{AB05} = 0.99$			

При дальнейшем анализе длины корней первого порядка у укорененных черенков *Orthosiphon aristatus*, полученных из побегов как первого, так и второго порядка, выявлено, что ни одно из экспериментальных условий обработки не обеспечило статистически достоверного повышения данного параметра по сравнению с контролем. Вместе с тем наибольшая длина корней была зарегистрирована в варианте 2, причем для черенков, полученных из побегов первого порядка, этот показатель составил 4,19 см, тогда как для побегов второго порядка – 3,67 см.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Полученные в рамках исследования данные по вегетативному размножению стеблевыми черенками *Aerva lanata* позволяют сформулировать ряд конкретных выводов относительно влияния технологических приемов на укореняемость и биометрические характеристики корневой системы. Установлено, что показатели успешности укоренения и сопутствующие им морфометрические параметры корней зависят как от способов обработки

нижних срезов черенков индолмасляной кислотой, так и от того, из каких частей побегов были заготовлен материал для укоренения. В частности, наибольшее число укорененных черенков, полученных из различных участков побегов, было зарегистрировано в варианте 2, где применялся водный раствор ИМК в концентрации 50 мг/л. Число укоренившихся черенков в этом варианте превысило соответствующий показатель контрольной группы в 1,58 раза, что указывает на повышенную эффективность данной обработки. Более того, в большинстве рассматриваемых вариантов применение ИМК сопровождалось статистически значимым увеличением отдельных биометрических показателей корневой системы у черенков (как заготавливаемых от основания побегов, так и из их средней части) по сравнению с контролем. Наилучшие результаты по развитию корневой системы у укорененных черенков *Aerva lanata* зафиксированы в варианте 2: число корней первого порядка оказалось в 1,77 раза выше контрольного значения, при этом их средняя длина возросла и составила 1,87-кратное превышение по отношению к контролю.

Анализ репродуктивных показателей укорененных черенков, заготовленных из основания побегов, продемонстрировал, что во всех вариантах эксперимента они статистически превосходили соответствующие параметры черенков, полученных из средней части побегов. Данное обстоятельство позволяет более глубоко понять оптимальные условия вегетативного размножения изучаемого вида. По результатам исследования выявлено, что наиболее благоприятными условиями для успешного размножения *Aerva lanata* является обработка нижних срезов черенков водным раствором индолилмасляной кислоты в концентрации 50 мг/л, причем особенно целесообразно использовать для укоренения части побегов, отобранные из их основания. Вместе с тем в ходе проведенных опытов установлено, что *Aerva lanata* в целом характеризуется низкой укореняемостью: уровень образования корней у черенков данного вида в наблюдаемых вариантах не достигал 30 %, что указывает на трудности процесса укоренения этого растения. Кроме того, во всех вариантах эксперимента отмечено формирование сравнительно небольшого числа придаточных корней, что является важным критерием при отнесении к категории трудноукореняемых растений. На основании совокупности полученных данных *Aerva lanata* может быть отнесена к группе растений с затрудненным корнеобразованием, что следует учитывать при разработке технологий ее вегетативного размножения.

В результате проведенного исследования, посвященного вегетативному размножению стеблевыми черенками *Orthosiphon aristatus*, были получены данные, касающиеся укореняемости и морфометрии корневой системы, позволяющие оценить влияние технологических приемов на эти показатели. В частности, в ходе анализа не было выявлено устойчивой зависимости между изучаемыми пара-

метрами (показателями укоренения и биометрическими характеристиками корней) и применяемыми вариантами обработки нижних срезов с использованием индолилмасляной кислоты, равно как и от позиции побегов, из которых были заготовлены черенки.

Детальный разбор экспериментальных данных показал, что максимальный процент укоренения установлен для черенков, заготовленных из побегов как первого, так и второго порядка в вариант 2, где использовался водный раствор ИМК в концентрации 50 мг/л; при этом количество укорененных экземпляров превысило соответствующий показатель контрольной группы в 1,07 раза. Тем не менее эта разница не является статистически достоверной и носит несущественный характер с точки зрения масштабов изменения параметров в целом.

Следует подчеркнуть, что в экспериментальном варианте 2 наблюдались выгодные изменения ряда морфометрических характеристик корневой системы черенков *Orthosiphon aristatus*. Так, число корней первого порядка в данном варианте оказалось выше соответствующего показателя контрольной группы в 1,21 раза, тогда как средняя длина корней превысила контрольный уровень в 1,25 раза. При этом при углубленном анализе репродуктивных параметров черенков, полученных из побегов первого порядка, не было выявлено статистически значимого превосходства по перечисленным показателям над черенками, заготовленными из побегов второго порядка, во всех исследованных вариантах.

В результате всестороннего анализа и экспериментальной оценки способности к укоренению черенков *Orthosiphon aristatus* получены значимые выводы: отмечено выраженное корнеобразование, превышающее 70 %, что позволяет отнести данный вид к категории легко укореняемых растений.

Библиографический список

1. Козко А. А., Цицилин А. Н. Перспективы и проблемы возрождения лекарственного растениеводства в России // Сборник научных трудов ГНБС. 2018. Т. 146. С. 18–25. DOI: 10.25684/NBG.scbook.146.2018.03.
2. Полоз Т. П., Соколов Н. Н., Васильев А. В. Лекарственные растения России – неиссякаемый источник для создания новых высокоэффективных лечебно-профилактических препаратов и биологически активных пищевых добавок // Вопросы медицинской химии. 2000. Т. 46, № 2. С. 101–109.
3. Assessment report on *Orthosiphon stamineus* Benth., folium. 2011 [Электронный ресурс]. URL: https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/superseded-assessment-report-orthosiphon-stamineus-benth-folium_en.pdf (дата обращения: 16.01.2026).
4. Khatun M. A., Harun-Or-Rashid Md., Rahmatullah M. Scientific validation of eight medicinal plants used in traditional medicinal systems of Malaysia: a review // American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture. 2011. Vol. 5 (1). Pp. 67–75.
5. Nagaratna A., Prakash L. Hegde, Harini A. A pharmacological review on Gorakha ganja (*Aerva lanata* (Linn) Juss. Ex. Schult) // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2015. Vol. 3 (5). Pp. 35–39.
6. Коростылев А. А., Логвиненко Л. А. Перспективные лекарственные растения в коллекции Никитского ботанического сада // Биотехнология выращивания лекарственных и эфиромасличных культур: материалы всероссийской научной конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 23–31.

7. Аполихин О. И., Сивков А. В., Солнцева Т. В., Комарова В. А., Зайцевская Е. В. Эпидемиология мочекаменной болезни в различных регионах Российской Федерации по данным официальной статистики // Саратовский научно-медицинский журнал. 2011. Т. 7, № 2. С. 120.
8. Edwards R. No remedy in sight for herbal ransack // New Scientist. 2004. Vol. 181 (6). Pp. 10–11.
9. Herbal harvests with a future: towards sustainable sources for medicinal plants. 2004 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.yumpu.com/en/document/read/47753721/herbal-harvests-with-a-future-plantlife/5> (дата обращения: 16.01.2026).
10. Коростылев А. А. Морфологические особенности плодов, семян и проростков *Aerva lanata* (L.) Juss. в условиях интродукции на Южный берег Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2021. № 140. С. 111–119. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-140-111-119.
11. Шевченко С. В., Коростылев А. А., Шевчук О. М. Особенности биологии развития *Orthosiphon aristatus* (Lamiaceae) в условиях интродукции на Южном берегу Крыма // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, № 4. С. 437–444. DOI: 10.18500/1816-9775-2022-22-4-437-444.
12. Шевчук О. М., Исиков В. П., Логвиненко Л. А. Методологические и методические аспекты интродукции и селекции ароматических и лекарственных растений. Симферополь: Ариал, 2022. 140 с.
13. Тарасенко М. Т. Зеленое черенкование садовых и лесных культур. Москва: МСХА, 1991. 272 с.
14. Павленкова Г. А., Емельянова О. Ю. Оценка репродукционного потенциала чубушника венечного ф. золотой карликовый (*Philadelphus coronaries* L. f. *aureus nanus*) при размножении зелеными черенками // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 9. С. 73–76.
15. Павленкова Г. А., Емельянова О. Ю. Особенности ризогенеза стеблевых черенков *Philadelphus coronarius* L. f. *aureus nanus* при зеленом черенковании // Садоводство и виноградарство. 2021. № 1. С. 32–38. DOI: 10.31676/0235-2591-2021-1-32-38.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Альянс, 2011. 351 с.

Об авторах:

Андрей Андреевич Коростылев, научный сотрудник лаборатории ароматических и лекарственных растений, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, Ялта, Россия; ORCID 0000-0002-0000-7582, AuthorID 877695. E-mail: andkor92@mail.ru

Лидия Алексеевна Логвиненко, научный сотрудник лаборатории ароматических и лекарственных растений, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, Ялта, Россия; ORCID 0000-0002-0936-1895, AuthorID 899212. E-mail: logvinenko1963@list.ru

Оксана Михайловна Шевчук, доктор биологических наук, заместитель директора по науке, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, Ялта, Россия; ORCID 0000-0002-3811-3161, AuthorID 893152. E-mail: oksana_shevchuk1970@mail.ru

Андрей Павлович Диваков, младший научный сотрудник лаборатории ароматических и лекарственных растений, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр Российской академии наук, Ялта, Россия; ORCID 0000-0002-0000-7582, AuthorID 1105302. E-mail: divakov88@mail.ru

References

1. Kozko A. A., Tsitsilin A. N. Prospects and problems of revival of medicinal crop production in Russia. *Works of the State Nikita Botanical Gardens*. 2018; 146: 18–25. DOI: 10.25684/NBG.scbook.146.2018.03. (In Russ.)
2. Poloz T. P., Sokolov N. N., Vasilyev A. V. Medicinal plants of Russia as an inexhaustible source for creation of new high performance preventive remedies and biologically-active food additives. *Voprosy Meditsinskoj Khimii*. 2000; 46 (2): 108–109. (In Russ.)
3. *Assessment report on Orthosiphon stamineus Benth., folium* [Internet]. 2011 [cited 2026 Jan 16]. Available from: https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/superseded-assessment-report-orthosiphon-stamineus-benth-folium_en.pdf.
4. Khatun M. A., Harun-Or-Rashid Md., Rahmatullah M. Scientific validation of eight medicinal plants used in traditional medicinal systems of Malaysia: a review. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. 2011; 5 (1): 67–75.
5. Nagaratna A., Prakash L. Hegde, Harini A. A pharmacological review on Gorakha ganja (*Aerva lanata* (Linn) Juss. Ex. Schult). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2015; 3 (5): 35–39.
6. Korostylev A. A., Logvinenko L. A. Promising medicinal plants in the collection of the Nikitsky botanical garden. *Biotechnology of Growing Medicinal and Essential Oil Crops. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference*. Saint Petersburg, 2023. Pp. 23–31. (In Russ.)

7. Apolikhin O. I., Sivkov A. V., Solntseva T. V., Komarova V. A., Zaitsevskaya E. V. Epidemiology of urolithiasis in various regions of the Russian Federation according to official statistics. *Saratov Scientific and Medical Journal*. 2011; 7 (2): 120. (In Russ.)
8. Edwards R. No remedy in sight for herbal ransack. *New Scientist*. 2004; 181 (6): 10–11.
9. *Herbal harvests with a future: towards sustainable sources for medicinal plants* [Internet]. 2004 [cited 2026 Jan 16]. Available from: <https://www.yumpu.com/en/document/read/47753721/herbal-harvests-with-a-future-plantlife/5>.
10. Korostylev A. A. Morphological features of fruits, seeds and seedlings of *Aerva lanata* (L.) Juss. in the conditions of introduction to the Southern coast of Crimea. *Bulletin of the State Nikita Botanical Gardens*. 2021; 140: 111–119. DOI: 10.36305/0513-1634-2021-140-111-119. (In Russ.)
11. Shevchenko S. V., Korostylev A. A., Shevchuk O. M. Features of the developmental biology of *Orthosiphon aristatus* (Lamiaceae) under the conditions of introduction on the Southern coast of the Crimea. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*. 2022; 22 (4): 437–444. DOI: 10.18500/1816-9775-2022-22-4-437-444. (In Russ.)
12. Shevchuk O. M., Isikov V. P., Logvinenko L. A. *Methodological and procedural aspects of introduction and breeding of aromatic and medicinal plants*. Simferopol: Arial, 2022. 140 p. (In Russ.)
13. Tarasenko M. T. *Soft-wood cuttings of garden and forest crops*. Moscow: MSKHA, 1991. 272 p. (In Russ.)
14. Pavlenkova G. A., Emelyanova O. Yu. Assessment of the reproductive potential of *Philadelphus coronarius* L. f. *aureus nanus* by soft-wood cuttings. *Bulletin of the Kursk State Agrarian University*. 2019; 9: 73–76. (In Russ.)
15. Pavlenkova G. A., Emelyanova O. Yu. Stem cutting rhizogenesis in softwood grafting of *Philadelphus coronarius* L. f. *aureus nanus*. *Horticulture and Viticulture*. 2021; 1: 32–38. DOI: 10.31676/0235-2591-2021-1-32-38. (In Russ.)
16. Dospikhov B. A. *The methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Al'yans, 2011. 351 p. (In Russ.)

Authors' information:

Andrey A. Korostylev, researcher at the laboratory of aromatic and medicinal plants, Nikitsky Botanical Gardens – National Science Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia; ORCID 0000-0002-0000-7582, AuthorID 877695. *E-mail: andkor92@mail.ru*

Lidiya A. Logvinenko, researcher at the laboratory of aromatic and medicinal plants, Nikitsky Botanical Gardens – National Science Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia; ORCID 0000-0002-0936-1895, AuthorID 899212. *E-mail: logvinenko1963@list.ru*

Oksana M. Shevchuk, doctor of biological sciences, deputy director for science, Nikitsky Botanical Gardens – National Science Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia; ORCID 0000-0002-3811-3161, AuthorID 893152. *E-mail: oksana_shevchuk1970@mail.ru*

Andrey P. Divakov, junior researcher at the laboratory of aromatic and medicinal plants, Nikitsky Botanical Gardens – National Science Center of the Russian Academy of Sciences, Yalta, Russia; ORCID 0000-0002-0000-7582, AuthorID 1105302. *E-mail: divakov88@mail.ru*

Красноуфимский селекционный центр: наиболее значимые результаты селекционной работы по яровому ячменю за последние 20 лет

Р. А. Максимов[✉], Ю. А. Киселев, Е. Г. Козионова

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

[✉]E-mail: Roman_MRA77@mail.ru

Аннотация. На протяжении последних двух десятилетий актуальной задачей развития Уральской селекционной школы по яровому ячменю являлось создания методов ускоренной селекции сортов с высокой общей адаптивной способностью к различным агроклиматическим условиям. **Цель** работы состояла в краткой оценке и выделении наиболее значимых исследований по селекции ячменя на Среднем Урале за последние 20 лет, определяющих значительный вклад в развитии данной области. **Материалы и методы.** Использовались многолетние (2005–2025 гг.) материалы и данные фундаментальных и прикладных поисковых работ по селекции ярового ячменя на Среднем Урале. **Результаты.** Разработан новый (механизированный) способ закладки питомников ранних этапов селекции по результатам которого снизили нагрузку на физический труд при подготовке к посеву (с 436 до 128 чел/ч) и непосредственно при посеве (с 53,2 до 28,0 чел/ч), экономический эффект – снижение затрат в 3 раза. С использованием аддитивной математической модели впервые, разработан метод дифференциации урожайности ячменя в зависимости от эффектов количественных признаков, варьирующих в системе взаимодействия «генотип – среда». При этом решена проблема низких корреляционных связей между урожайностью и количественными признаками, отмечен рост с $r_{xyij} = 0,42 \dots 0,92$ до $r_{rci} \hat{Y}_{ci} = 0,91 \dots 0,99$. Выведен новый высокоадаптивный сорт ярового двухрядного ячменя кормового использования под названием Памяти Чепелева, который второй год подряд занимает лидирующее положение среди лучших сортов РФ по количеству высеянных семян (2023 г. – 76,5 тыс. тонн; 2024 г. – 79,1 тыс. тонн). **Научная новизна.** Впервые для исследований процессов формирования биологической урожайности ячменя в различные периоды роста и развития разработан метод дифференциации урожайности ячменя в зависимости от эффектов количественных признаков. Создан уникальный селекционный материал.

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), количественные признаки, урожайность, генотип, механизированный посев

Для цитирования: Максимов Р. А., Киселев Ю. А., Козионова Е. Г. Красноуфимский селекционный центр: наиболее значимые результаты селекционной работы по яровому ячменю за последние 20 лет // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 247–258. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-247-258>.

Дата поступления статьи: 29.04.2025, **дата рецензирования:** 17.09.2025, **дата принятия:** 03.12.2025.

Krasnoufimskiy breeding center: the most significant results of breeding work on spring barley over the past 20 years

R. A. Maksimov[✉], Yu. A. Kiselev, E. G. Kozionova

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

[✉]E-mail: Roman_MRA77@mail.ru

Агротехнологии

Abstract. Over the past two decades, the urgent task of developing the Ural Breeding School for spring barley has been to create methods for accelerated breeding of varieties with a high overall adaptive ability to various agro-climatic conditions. **The purpose** of the study was to briefly evaluate and highlight the most significant studies on barley breeding in the Middle Urals over the past 20 years, which have made a significant contribution to the development of this field. **Materials and methods.** We used long-term (2005-2025) materials and data from fundamental and applied research on spring barley breeding in the Middle Urals. **Results.** A new (mechanized) method of laying nurseries at the early stages of breeding has been developed, which reduces the burden on physical labor in preparation for sowing (from 436 to 128 people/hour) and directly during sowing (from 53.2 to 28.0 people/hour), with an economic effect of reducing costs by 3 times. Using an additive mathematical model, for the first time, a method has been developed for differentiating barley yields depending on the effects of quantitative traits varying in the genotype x environment interaction system. At the same time, the problem of low correlations between yield and quantitative characteristics has been solved, and an increase from $r_{xyij} = 0.42...0.92$ to $r_{rci} \hat{Y}_{ci} = 0.91...0.99$ has been noted. A new highly adaptive variety of double-row spring barley for feed use called Pamyati Chepeleva has been developed, which for the second year in a row occupies a leading position in the TOP of the best varieties of the Russian Federation in terms of the number of seeds sown (2023 – 76.5 thousand tons; 2024 – 79.1 thousand tons). **Scientific novelty.** For the first time, a method for differentiating barley yields depending on the effects of quantitative characteristics has been developed to study the processes of formation of biological yield of barley in different periods of growth and development. A unique breeding material has been created.

Keywords: barley (*Hordeum vulgare* L.), quantitative characteristics, yield, genotype, mechanized sowing

For citation: Maksimov R. A., Kiselev Yu. A., Kozionova E. G. Krasnoufimskiy breeding Center: the most significant results of breeding work on spring barley over the past 20 years. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 247–258. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-247-258>. (In Russ.)

Date of paper submission: 29.04.2025, **date of review:** 17.09.2025, **date of acceptance:** 03.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Селекция – многолетний труд, успехи которого предопределяются научной школой учреждения, формирующейся со сменой поколений в течение продолжительного времени [1–5].

Селекционная работа по яровому ячменю на Среднем Урале проводится в Красноуфимском селекционном центре – структурном подразделении Уральского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала УрФАНИЦ УрО РАН. После основания в 1933 году Красноуфимской опытной селекционной станции в 1938 году начинается работа по селекции серых хлебов. Новое подразделение, возглавляемое Николаем Васильевичем Баженовым, кроме ярового ячменя, ведет работу по таким культурам, как гречиха и просо. Все исследования в начальный период ограничиваются лишь индивидуальными и массовыми отборами. В качестве исходного материала применялся местный со-

ртовой состав, заимствованный из Вятской губернии, который был завезен русскими земледельцами во время освоения Урала в XVIII веке. Первые выведенные сорта так и не были районированы, однако в перспективе были вовлечены в селекционный процесс [6–8].

Во время Великой Отечественной войны в 1941 году в Красноуфимск был эвакуирован Всероссийский институт растениеводства (ВИР). Зимой его директор И. Г. Эйхфельд, который был назначен после ареста Н. И. Вавилова в 1940 году, и некоторые сотрудники переехали в город Красноуфимск, увозя в своих вещевых мешках малую часть коллекции. Эвакуация сотрудников была осуществлена в два этапа: 17 и 19 января 1942 году с первыми грузовиками, которые пошли по «дороге жизни» через Ладогу. Часть коллекции различных зерновых культур (около 40 тыс. пакетов с семенами весом около 500 кг) была перенаправлена в

Красноуфимск самолетом. Изначально сюда планировалось эвакуировать около 5 тонн семенного материала (100 тыс. образцов) в вагоне железнодорожного эшелона, однако 30 августа по пути следования станция Мга была взята немцами, что отрезало путь ценному грузу на восток, и эшелон был возвращен в Ленинград. Местная коллекция серых хлебов была приумножена, появился многочисленный и разнообразный исходный материал, который заложил основу и в некотором смысле успешность будущей селекции [9].

С 50-х годов прошлого столетия начата интенсивная работа по созданию исходного материала с помощью гибридизации. Именно с началом использования скрещиваний родительских форм создан самый успешный и наиболее распространенный двухрядный сорт ячменя Красноуфимский 95, который в 1982 году занимал площадь более 1 млн га и был районирован в Амурской, Калужской, Кемеровской, Курганской, Свердловской, Челябинской областях, Удмуртской АССР, Тувинской АССР. Сорт получен от скрещивания исходных генотипов Майя и Винер. Авторы сорта – Н. В. Баженов, А. Н. Никифоров, О. А. Манохина, В. А. Закуржникова [10].

В 80–90-е годы прошлого столетия ставится задача создания сортов интенсивного типа, в это время идет усиление работ по иммунитету к болезням и устойчивости к вредителям. К искомым показателям хозяйственно ценных признаков относятся урожайность от 5,0 до 7,0 т/га, содержание белка в зерне – 13–14 %, лизина – 4,5–5,0 г/кг. Практически с 1977 и по 2005 год коллектив лаборатории селекции ячменя длительное время работает в неизменном составе: В. П. Чепелев, Л. М. Толмачева, Л. Н. Федякова, Г. И. Кирекова, Е. В. Лукоянова, Л. Е. Бобина, по сортовой агротехнике ячменя – научный сотрудник А. И. Шорохова, по биохимической оценке – научный сотрудник Л. И. Кузнецова. Созданы известные сорта ярового ячменя Торос, Вереск, Ильмен, Сонет, Горец, Бином, Багрец, имеющие широкое распространение в четырех регионах Российской Федерации. Они позволили значительно увеличить производство фуражного зерна и улучшить продовольственную безопасность Свердловской и многих других областей России [11].

На современном этапе селекционной работы по ячменю главными приоритетами являются создание высокоурожайных сортов кормового и пивоваренного назначения с высокой адаптивной способностью, устойчивых к стрессовым факторам и обладающих ценным по качеству зерном. По указанным направлениям работают и в других отечественных и зарубежных научных учреждениях [12–15].

Цель исследования – краткая оценка наиболее значимых результатов фундаментальных и прикладных исследований по селекции ячменя на Среднем Урале за последние 20 лет.

Методология и методы исследования (Methods)

Проводя это исследование, авторы использовали многолетние (начиная с 2005 года и по настоящее время) материалы и данные фундаментальных и прикладных поисковых работ по селекции ярового ячменя на Среднем Урале. Ставилась задача в виде обзорной статьи обобщить и показать наиболее значимые теоретические и практические результаты селекции ярового ячменя за последние 20 лет. Здесь необходимо отметить, что успешность селекционной работы во многом предопределилась высокой изменчивостью средовых условий. И важная роль в этом вопросе принадлежит разнообразию показателей темно-серой почвы севооборота: рН_{сол.} – 5,4–6,0, гидролитическая кислотность – 4,18–5,02 мг-экв / 100 г почвы, содержание гумуса – 6,2–8,0 % (по Тюрину), легкогидролизуемого азота – 82–178 мг/кг (по Корнфилду), подвижного фосфора калия (ГОСТ Р54650-2011) – 291–396 и 140–205 мг/кг почвы. Отмечен широкий спектр проявления гидротермических условий, за годы исследований в период вегетации ячменя наблюдали сильную вариабельность климатических условий: среднесуточные температуры воздуха изменялись в интервале 12,1–18,5 °С, суммы температур более 10 °С – 1100–1700 °С, количество осадков – 80–380 мм, запасы влаги в метровом слое почвы – 80–190 мм, ГТК – 0,80–2,50. В качестве материала использовали генотипы ячменя, которые характеризовались в основном двухрядным колосом, преимущественно таксономической группы *Hordeum vulgare* L. subsp. *distichon* (L.) Koern. var. *nutans* Schubl.

Результаты (Results)

Селекция растений как наука объединяет в себе как фундаментальные, так и прикладные исследования. Фундаментальное направление этой науки призвано создать или улучшить методы и способы воздействия на сельскохозяйственные растения с целью создания коммерчески ценных сортов. Вместе с этим сам процесс возникновения новых сортов очень длителен и трудоемок, на отдельных этапах требует напряженного физического труда, что зачастую является ограничительным фактором по увеличению числа комбинаций скрещивания. К такому этапу следует отнести процесс посева селекционных питомников, при этом наиболее трудоемкими являются ручные работы. В частности, немеханизированным образом закладываются селекционные питомники первого года и семеноводческие питомники испытания потомств также первого года, объемы которых могут достигать суммарно 10 000 гектаров.

Ранее, 80-е годы прошлого столетия, были попытки использования кассетной сеялки СКС-6А, однако из-за наличия камней в почве посев часто прерывался и требовалась трудоемкая зарядка кассет в полевых условиях. После неудачных попы-

ток механизации закладки указанных питомников в нашем учреждении было принято решение продолжать проводить посев вручную, или так называемым способом «в трубу», который был разработан еще в 1979 году. Все это значительно ограничивало объемы селекции и первичного семеноводства при этом вынужденная смена поколений технического персонала резко обострило эту проблему. Поэтому в 2017 году в конструкцию сеялки ССФК-7 были внесены дополнения [16]. В результате изобретен новый (механизированный) способ закладки селекционных питомников ранних этапов селекции, внедренный и в других научных учреждениях. Внешний облик закладки новым способом изображен на рис. 1.

Итоги полевой проверки перспективного способа посева в рамках Красноуфимского селекционного центра отображены в таблице 1, по результатам которой скорость посева увеличилась с 375 до 714 дел/ч, трудоемкость при подготовке к посеву снизилась с 436 до 128 чел/ч, при посеве – с 53,2 до 28,0 чел/ч, затраты на оплату труда снизились почти в 3 раза.

Последовательное увеличение урожайности посредством реализации генетической информации сортов – первостепенный вектор развития селекции сельскохозяйственных культур. Среди хозяйственно ценных признаков в качестве маркеров селекции выступают биометрические показатели элементов структуры урожайности, и традиционно при прогнозировании биологической урожайности функционально она связана с количественными признаками посредством мультипликативной математической модели. Однако количественно указанные маркеры не всегда достаточно сильно сопряжены с урожайностью, а если нет корреляционной связи, обосновывать процессы формирования урожайности при помощи того или иного признака практически невозможно. В 2021 году мы функционально

связали урожайность с элементами ее структуры при помощи аддитивной математической модели. В результате был разработан метод дифференциации урожайности в зависимости от эффектов количественных признаков, варьирующих в системе взаимодействия «генотип – среда» [17]. Таким образом, получена принципиально новая статистическая величина \hat{Y}_{rci} , которая определяет долевой вклад r -го признака в точный прогноз урожайности по аддитивной математической модели с учетом постоянных значений регрессоров (b_{ri}) и находится по формуле 1.

$$\hat{Y}_{rci} = \hat{Y}_{ci} \frac{b_{ri} \cdot X_{rci}}{\sum b_{ri} \cdot X_{rci}}, r=1...3, i=m, \quad (1)$$

где \hat{Y}_{rci} – зависимая переменная (точный прогноз урожайности в зависимости от r -го количественного признака в c -й среде);

\hat{Y}_{ci} – точный прогноз урожайности в c -й среде по аддитивной математической модели;

X_{rci} – независимая переменная r -го признака в c -й среде;

b_{ri} – коэффициент регрессии r -го признака;

r – номер количественной переменной из уравнения регрессии;

m – количество генотипов в опыте [18].

При новой интерпретации прогноза урожайности от воздействия количественных изменений элементов ее структуры дополнительно учитывается их аддитивный эффект взаимодействия (АЭ), отраженный в формуле (1). Для иллюстрации положительного эффекта от применения метода использовались результаты конкурсного испытания пяти генотипов ячменя (Вереск, Памяти Чепелева, Бином, Сонет и Багрец) в десяти средах (2011–2020 годы). По результатам корреляционного анализа сопряженность биологической урожайности с биометрическими значениями количественных признаков изменялась в диапазоне $r_{xyiy} = -0,42...0,98$ (таблица 2).



Рис. 1. Внешний вид посева ячменя (селекционный питомник первого года) сеялкой ССФК-7 с измененной конструкцией высевашевого аппарата

Fig. 1. The appearance of sowing barley (breeding nursery of 1st year) with a seed drill SSFK-7 with a modified design of the sowing apparatus

Таблица 1
Сравнительные результаты различных способов посева селекционных питомников первого года, 2017 год

№ п/п	Показатель	Посев ручным способом «в трубу»	Посев механизированным способом ССФК-7
1	Количество работников, чел.	4	4
2	Количество номеров (линий), шт.	5 000	5 000
3	Площадь делянки 1 номера, м ²	0,49	0,49
4	Общая площадь питомника, м ²	2 450	2 450
5	Скорость посева, дел/ч	375	714
6	Время посева, ч	13,3	7,0
7	Трудоемкость при подготовке к посеву, чел/ч	436	128
8	Трудоемкость при посеве всего, чел/ч	53,2	28,0
9	Затраты на оплату труда, руб.	146 400	52 192

Table 1
Comparative results of various methods of sowing breeding nurseries for 1st year, 2017

No.	Indicator	Manual seeding "into the pipe"	Seeding by mechanized method SSFK-7
1	Number of employees, people	4	4
2	Number of numbers (lines), pcs.	5 000	5 000
3	Plot size of 1 room, m ²	0.49	0.49
4	Total area of the nursery, m ²	2 450	2 450
5	Seeding speed, units/hour	375	714
6	Sowing time, hours	13.3	7.0
7	Labor intensity in preparation for sowing, people/hour	436	128
8	The labor intensity of sowing in total, people/hour	53.2	28.0
9	Labor costs, rubles	146 400	52 192

Таблица 2
Коэффициенты корреляции Пирсона между переменными значениями количественных признаков и биологической урожайностью со степенями воздействия (коэффициенты детерминации) (2011–2020 гг.)

Генотип	Переменная	Коэффициент корреляции между X_{ri} и Y_p, r_{xriyi}	Коэффициент детерминации между X_{ri} и Y_p, d_{xriyi}
Вереск	X_1	0,95	0,90
	X_2	0,88	0,77
	X_3	0,60	0,36
Памяти Чепелева	X_1	0,95	0,90
	X_2	0,80	0,64
	X_3	0,42	0,18
Бином	X_1	0,96	0,92
	X_2	0,94	0,88
	X_3	0,66	0,44
Сонет	X_1	0,95	0,90
	X_2	0,80	0,64
	X_3	0,42	0,18
Багрец	X_1	0,97	0,94
	X_2	0,70	0,49
	X_3	0,62	0,38

Table 2
Pearson correlation coefficients between variable values of quantitative characteristics and biological yield with degrees of exposure (coefficients of determination) (2011–2020)

Genotype	Variable	Correlation coefficient between X_{ri} and Y_{ci} , r_{xriy_i}	Determination coefficient between X_{ri} and Y_{ci} , d_{xriy_i}
Veresk	X_1	0.95	0.90
	X_2	0.88	0.77
	X_3	0.60	0.36
Pamyati Chepeleva	X_1	0.95	0.90
	X_2	0.80	0.64
	X_3	0.42	0.18
Binom	X_1	0.96	0.92
	X_2	0.94	0.88
	X_3	0.66	0.44
Sonet	X_1	0.95	0.90
	X_2	0.80	0.64
	X_3	0.42	0.18
Bagrets	X_1	0.97	0.94
	X_2	0.70	0.49
	X_3	0.62	0.38

Таблица 3
Коэффициенты корреляции Пирсона между точечными прогнозами урожайности от эффектов количественных признаков и биологической урожайностью со степенями воздействия (коэффициенты детерминации) (2011–2020 гг.)

Генотип	Переменная	Коэффициент корреляции между \hat{Y}_{rci} и \hat{Y}_{ci} , $r_{\hat{Y}_{rci}\hat{Y}_{ci}}$	Коэффициент детерминации между \hat{Y}_{rci} и \hat{Y}_{ci} , $d_{\hat{Y}_{rci}\hat{Y}_{ci}}$
Вереск	\hat{Y}_{1ci}	0,98	0,96
	\hat{Y}_{2ci}	0,99	0,98
	\hat{Y}_{3ci}	0,97	0,94
Памяти Чепелева	\hat{Y}_{1ci}	0,96	0,92
	\hat{Y}_{2ci}	0,98	0,96
	\hat{Y}_{3ci}	0,91	0,83
Бином	\hat{Y}_{1ci}	0,99	0,98
	\hat{Y}_{2ci}	0,99	0,98
	\hat{Y}_{3ci}	0,98	0,96
Сонет	\hat{Y}_{1ci}	0,97	0,94
	\hat{Y}_{2ci}	0,98	0,96
	\hat{Y}_{3ci}	0,98	0,96
Багрец	\hat{Y}_{1ci}	0,99	0,98
	\hat{Y}_{2ci}	0,97	0,94
	\hat{Y}_{3ci}	0,99	0,98

Pearson correlation coefficients between accurate forecasts of yield from the effects of quantitative traits and biological yield with degrees of impact (coefficients of determination)

Genotype	Variable	Correlation coefficient between \hat{Y}_{rci} and \hat{Y}_{ci} , $r\hat{Y}_{rci}\hat{Y}_{ci}$	Determination coefficient between \hat{Y}_{rci} and \hat{Y}_{ci} , $d\hat{Y}_{rci}\hat{Y}_{ci}$
Veresk	\hat{Y}_{1ci}	0.98	0.96
	\hat{Y}_{2ci}	0.99	0.98
	\hat{Y}_{3ci}	0.97	0.94
Pamyati Chepeleva	\hat{Y}_{1ci}	0.96	0.92
	\hat{Y}_{2ci}	0.98	0.96
	\hat{Y}_{3ci}	0.91	0.83
Binom	\hat{Y}_{1ci}	0.99	0.98
	\hat{Y}_{2ci}	0.99	0.98
	\hat{Y}_{3ci}	0.98	0.96
Sonet	\hat{Y}_{1ci}	0.97	0.94
	\hat{Y}_{2ci}	0.98	0.96
	\hat{Y}_{3ci}	0.98	0.96
Bagrets	\hat{Y}_{1ci}	0.99	0.98
	\hat{Y}_{2ci}	0.97	0.94
	\hat{Y}_{3ci}	0.99	0.98



Рис. 2. Растение с двумя узлами кущения, 2007 год
Fig. 2. A plant with two tillering nodes, 2007

Совсем иная ситуация при использовании в качестве базы данных точечных прогнозов урожайности (\hat{Y}_{kci}): здесь учет АЭ взаимодействия количественных признаков определил необходимо высокую степень сопряженности ($r\hat{Y}_{rci}\hat{Y}_{ci} = 0,91...0,99$) с прогнозом биологической урожайности (\hat{Y}_{ci}) по аддитивной математической модели. Расчетный показатель \hat{Y}_{kci} в различные периоды роста и развития генотипов ячменя детерминировал изменения \hat{Y}_{ci} на 83–98 % (таблица 3).

Весьма значимым результатом по селекции ячменя на Среднем Урале стало создание сорта ярового ячменя Памяти Чепелева. В 2005 году согласно научно-техническому заданию Россельхозакадемии проведена гибридизация новой комбинации ячменя.

Подбор родительских форм осуществлялся по эколого-географическому принципу и максимальному отличию по адаптации в различные периоды роста и развития растений. В качестве материнской формы выбран сорт ячменя степного экотипа (Омский 95), который отличался стабильностью и устойчивостью к недостатку влаги в первой половине лета. Отцовская форма – сложный гибрид ((Сонет × Нур) × Сонет), который по фенотипу был близок к западноевропейскому и отличался крупным зерном и невысоким растением. Стратегической целью по данной комбинации являлось сочетание в будущем элитном растении высокой энергии кущения с адаптацией к засухе в первой половине лета и низкорослостью, поскольку исходная материнская форма была нестабильна по устойчивости к полеганию. Уже на стадии гибридов второго поколения (F_2) были обнаружены необычные формы растений с несколькими узлами кущения (рис. 2).

В 2008 году из питомника F_3 были отобраны в полевых и лабораторных условиях элитные растения соответствующего типа, при этом некоторые имели по три узла кущения. Как выяснилось позже, такие формы отличаются высокой синхронностью кущения, колосья расположены в одном ярусе, посевы от таких растений внешне относительно выравненные. Из 100 потомств от элит в селекционном питомнике первого года были отобраны 12, здесь подбирались наиболее низкорослые популяции с максимальным выходом зерен. На протяжении селекционного про-

цесса наблюдались разнообразные средовые условия. Как аномальный отметился 2010 год, когда в различные периоды роста и развития растений ГТК варьировал в пределах 0,8–1,0. Тогда в контрольном питомнике выделилась исходная линия 3375н-39-08 (Памяти Чепелева), при урожайности 2,12 т/га она имела преимущество (25 %) над стандартом Ача, что стало причиной начала ее размножения. В конкурсном сортоиспытании (2011–2013 годы) будущий сорт при урожайности 5,33 т/га явно превысил стандарты Ача и Сонет на 0,74 и 0,66 т/га соответственно, или на 16 и 14 %. Вегетационный период – 71–81 дней, созревание на 2–5 дней позже стандартов, по группе спелости он был отнесен к среднеспелым. Адаптация к недостатку влаги в почве была подтверждена в 2013 году (первая и вторая декады июня – ГТК = 0,9...1,0), в условиях засухи в первой половине лета урожайность составила 4,17 т/га (Ача – 3,58 т/га, Сонет – 3,27 т/га). Самая высокая урожайность была в 2011 году – 7,07 т/га, у сортов Ача и Сонет – 6,19 и 6,83 т/га соответственно, прибавка составила 0,88 (14 %) и 0,24 т/га (4 %). Указанные цифры характеризуют сорт Памяти Чепелева как высокоадаптивный и пластичный к сложившимся условиям. По массе

1000 зерен (46,7 г) он уступает сорту Сонет (58,2 г) и равен сорту Ача (46,8 г). По данным конкурсного сортоиспытания, в отличие от стандартов склонен к полеганию (4,7 балла), однако прикорневого полегания в опытных и производственных условиях не наблюдалось, нивелирующим фактором является относительно низкая высота растений – 62 см. В условиях искусственного заражения характеризуется более низким процентом поражения местными расами пыльной головни – 55 % (Ача – 73 %, Сонет – 86 %). По содержанию белка в зерне (12,1 %) равен сорту Ача и превосходит Сонет (11,5 %). Сорт признан ценным по кормовым достоинствам из-за высокого содержания белка в зерне (таблица 4).

Сорт ячменя Памяти Чепелева зарегистрирован в Госреестре селекционных достижений ФГБУ «Госсорткомиссия» с 2016 года по заявке № 61805 от 01.11.2013 г., дата регистрации патента № 8111 – 18.12.2015 г., срок действия – до 31.12.2045 г. [11]. Регионы допуска: Центральный (3), Волго-Вятский (4), Средневолжский (7), Уральский (9), Западно-Сибирский (10). С 2016 года заключено 262 лицензионных договора на право производства семян, на 25.10.2024 г. число действующих неисключительных лицензионных договоров – 65 [19].

Таблица 4
Сравнительная характеристика нового сорта ячменя Памяти Чепелева в конкурсном испытании Красноуфимского селекционного центра (2011–2013 гг.)

Анализируемые признаки и свойства	Сорта		
	Ача	Сонет	Памяти Чепелева
Урожайность, т/га	4,59	4,67	5,33
Прибавка по урожайности, т/га	0,74	0,66	–
Прибавка по урожайности, %	16	14	–
Вегетационный период, дней	70	73	75
Масса 1000 зерен, г	46,8	58,2	46,7
Высота растений, см	62	72	73
Устойчивость к полеганию, балл	5,0	5,0	4,7
Поражение пыльной головней (инфекционный фон), %	73	86	55
Поражение корневыми гнилями (инфекционный фон), %	12	18	16
Содержание белка в зерне, %	12,1	11,5	12,1

Table 4
Comparative characteristics of a new variety of barley in Pamyati Chepeleva in the competitive testing of the Krasnoufimskiy Breeding Center (2011–2013)

The signs and properties are analyzed	Varieties		
	Acha	Sonet	Pamyati Chepeleva
Yield, t/ha	4.59	4.67	5.33
Increase in yield, t/ha	0.74	0.66	–
Increase in yield, %	16	14	–
Growing season, days	70	73	75
Weight of 1000 grains, g	46.8	58.2	46.7
Height of plants, cm	62	72	73
Resistance to lodging, score	5.0	5.0	4.7
Dusty smut damage (infectious background), %	73	86	55
Root rot damage (infectious background), %	12	18	16
Protein content in grain, %	12.1	11.5	12.1

Таблица 5
Рейтинг 10 лучших сортов ячменя ярового по объемам высева в РФ по данным мониторинга ФГБУ «Россельхозцентр» в 2023–2024 гг.

Сорт	Годы	
	2024	2023
Памяти Чепелева	79,1	76,5
Прерия	67,5	73,0
Деспина	61,4	58,6
Саша	57,2	58,5
Вакула	51,4	66,0
Ача	43,8	52,3
Грэйс	41,6	34,4
Эксплоер	35,6	33,9
Биом	34,2	42,1
Зазерский 85	32,1	40,9

По официальным данным ФГБУ «Россельхозцентр», в 2023 и 2024 годах сорт ячменя ярового Памяти Чепелева занял I место в рейтинге 10 лучших сортов по объемам высева семян в РФ [20] (таблица 5).

Согласно официальному реестру ФГБУ «Россельхозцентр» о выданных сертификатах на семена, сорт ячменя Памяти Чепелева производится в 15 субъектах РФ (Республика Башкортостан, Республика Татарстан, Удмуртская Республика, Республика Марий Эл, Пермский край, Свердловская, Владимирская, Кемеровская, Курганская, Нижегородская, Ульяновская, Оренбургская, Кировская, Томская и Новосибирская области) [20].

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Фундаментальные и прикладные исследования по селекции ярового ячменя в Свердловской обла-

Table 5
Rating of the 10 best spring barley varieties by seeding volume in the Russian Federation according to the monitoring data of the Federal State Budgetary Institution "Rosselkhoztsentr" in 2023–2024

Variety	Years	
	2024	2023
<i>Pamyati Chepeleva</i>	79.1	76.5
<i>Preriya</i>	67.5	73.0
<i>Despina</i>	61.4	58.6
<i>Sasha</i>	57.2	58.5
<i>Vakula</i>	51.4	66.0
<i>Acha</i>	43.8	52.3
<i>Grace</i>	41.6	34.4
<i>Explorer</i>	35.6	33.9
<i>Biom</i>	34.2	42.1
<i>Zazerskiy 85</i>	32.1	40.9

сти, опираясь на научный задел предыдущих лет, ведутся достаточно успешно и эффективно. Почти за 80-летний период функционирования лаборатории селекции ячменя создано и рекомендовано в различных регионах 15 сортов. Не прекращается работа по усовершенствованию селекционного процесса. По наиболее узким местам разработаны эффективные технологические приемы, наиболее значимым и результативным из которых является разработка нового способа посева, основанного на конструктивной доработке селекционной сеялки ССФК-7. К направлению теоретических исследований следует отнести создание метода дифференциации прогноза биологической урожайности в зависимости от эффектов количественных признаков по аддитивной математической модели.

Библиографический список

1. Лихенко И. Е., Советов В. В., Артемова Г. В. Результаты селекции яровой мягкой пшеницы в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 10. С. 5–10. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_10_5.
2. Гончаров Н. П., Косолапов В. М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039.
3. Вишнякова М. А., Власова Е. В., Егорова Г. П. Генетические ресурсы люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) и их роль в доместикации и селекции культуры // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 6. С. 620–630. DOI: 10.18699/VJ21.070.
4. Новохатин В. В., Шеломенцева Т. В., Драгавцев В. А. Новый комплексный подход к изучению динамики повышения адаптивности и гомеостатичности у сортов мягкой яровой пшеницы (на примере длительной истории селекции в Северном Зауралье) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 1. С. 81–97. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.81rus.
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. Чепелев В. П. Красноуфимская селекционная станция (1933–2003). Красноуфимск: Типография УрО РАН, 2003. 50 с.
7. Максимов Р. А., Киселев Ю. А., Козионова Е. Г. Новый сорт ярового двухрядного ячменя Крауф // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 7. С. 58–61. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_58.

8. Лебедева Н. В., Максимов Р. А., Варганова И. В. Номенклатурные стандарты сортов ячменя селекции Уральского НИИСХ – филиала Уральского федерального аграрного научно-исследовательского центра Уральского отделения РАН // *Vavilovia*. 2023. Т. 6, № 4. С. 15–24. DOI: 10.30901/2658-3860-2023-4-02.
9. Лоскутов И. Г. Война и блокада Ленинграда в коллекциях музеев и библиотек. ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова в истории блокады Ленинграда. Санкт-Петербург: Борей Арт, 2007. 154 с.
10. Лукина К. А., Лоскутов И. Г., Хорева В. И., Ковалева О. Н. Исходный материал для селекции голозерного ячменя в Северо-Западном регионе РФ // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024. Т. 185, № 4. С. 107–117. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-107-117.
11. Юсова О. А., Николаев П. Н. Селекция ярового ячменя на высокое качество зерна // *Таврический вестник аграрной науки*. 2023. № 1 (33). С. 148–157. DOI: 10.5281/zenodo.7898562.
12. Максимов Р. А. Адаптивная селекция ярового ячменя на Среднем Урале. Екатеринбург: УрФАНИЦ УрО РАН, 2021. 121 с.
13. Николаев П. Н., Юсова О. А., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Реализация биологической урожайности ячменя ярового в условиях южной лесостепи Омской области // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 12 (203). С. 22–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-22-34.
14. Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н. Результаты использования клеточных технологий // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019. Т. 23, № 6. С. 683–690. DOI: 10.18699/VJ16.183.
15. Блохин В. И., Никифорова И. Ю., Ганиева И. С., Ланочкина М. А., Малафеева Ю. В. Оценка адаптивного потенциала сортов и линий ярового ячменя селекции Татарского НИИСХ // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 4 (40). С. 82–92. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-34-38.
16. Максимов Р. А. Новый способ посева на ранних стадиях селекции ячменя в условиях Среднего Урала // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2018. № 2 (46). С. 44–49. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-44-49.
17. Максимов Р. А. Множественный регрессионный анализ как способ дифференциации урожайности по фазам роста и развития генотипов ячменя (*Hordeum vulgare* L.) // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. № 4. С. 29–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10404.
18. Патент № 8111 Российская Федерация, сорт ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.). Памяти Чепелева: заявл. № 61805 от 01.11.2013 / Киселев Ю. А., Максимов Р. А., Толмачева Л. М.: заявитель ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН.
19. Памяти Чепелева – ячмень яровой // Государственный реестр селекционных достижений. Том 1. Сорта растений [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/pamyati-chepeleva-yachmenyarovoy> (дата обращения: 11.03.2025).
20. Рейтинг 10 сортов лидеров с/х культур по объемам высева в РФ в 2024 г. Информационный листок Россельхозцентра № 1/2025 от 13.01.2025 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosselhoccenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/tsentralnyyokrug/moskva/rejting-10-sortov-gibridov-liderov-s-kh-kultur-po-obemam-vyseva-v-rossiyskojfederatsii-v-2024-g> (дата обращения: 11.03.2025).

Об авторах:

Роман Александрович Максимов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского Федерального аграрного научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0615-8821, AuthorID 754477.

E-mail: Roman_MRA77@mail.ru

Юрий Александрович Киселев, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского Федерального аграрного научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0009-7146-907X, AuthorID 760867. *E-mail: Krauf_1958@mail.ru*

Елена Геннадьевна Козионова, научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства ячменя, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Уральского Федерального аграрного научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-1134-2351, AuthorID 963453. *E-mail: Kozionova1987@gmail.com*

References

1. Likhenko I. E., Sovetov V. V., Artemova G. V. Results of breeding spring common wheat at the Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021; 35 (10): 5–10. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_10_5. (In Russ.)
2. Goncharov N. P., Kosolapov V. M. Plant breeding is the food security basis in the Russian Federation. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25 (4): 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039. (In Russ.)
3. Vishnyakova M. A., Vlasova E. V., Egorova G. P. Genetic resources of narrow-leaved lupine (*Lupinus angus-tifolius* L.) and their role in its domestication and breeding. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25 (6): 620–630. DOI: 10.18699/VJ21.070. 4. (In Russ.)
4. Novokhatin V. V., Shelomentseva T. V., Dragavtsev V. A. A novel integrative approach to study the dynamics of an increase in common spring wheat adaptivity and homeostaticity (on the example of breeding programs in the Northern Trans-Ural). *Agricultural Biology*. 2022; 57 (1): 81–97. DOI: 10.15389/agrobiol.2022.1.81rus. (In Russ.)
5. Lentochkin A. M. Slagaemye produktivnosti sortov yarovoy pshenitsy [Productivity components of spring wheat varieties]. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 238 (9): 41–51. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-09-41-51. (In Russ.)
6. Chepelev V. P. *Krasnoufimsky breeding station (1933–2003)*. Krasnoufimsk: Printing House of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003. 50 p. (In Russ.)
7. Maksimov R. A., Kiselev Yu. A., Kozionova E. G. New variety of two-rowed spring barley Krauf. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2023; 37 (7): 58–61. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_58. (In Russ.)
8. Lebedeva N. V., Maksimov R. A., Varganova I. V. Nomenclatural standards of barley cultivars bred by the Ural Research Institute of Agriculture – Branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. *Vavilovia*. 2023; 6 (4): 15–24. DOI: 10.30901/2658-3860-2023-4-02. (In Russ.)
9. Loskutov I.G. *The war and the siege of Leningrad in the collections of museums and libraries. All-Russian Research Institute of Plant Breeding named after N. I. Vavilov in the history of the Siege of Leningrad*. Saint Petersburg: Borey Art, 2007. 154 p. (In Russ.)
10. Lukina K. A., Loskutov I. G., Khoreva V. I., Kovaleva O. N. Source material for naked barley breeding in the Northwest of the Russian Federation. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024; 185 (4): 107–117. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-4-107-117. (In Russ.)
11. Yusova O. A., Nikolaev P. N. Breeding of spring barley for high grain quality. *Tauride Herald of Agrarian Science*. 2023; 33 (1): 148–157. DOI: 10.5281/zenodo.7898562. (In Russ.)
12. Maksimov R. A. *Adaptive breeding of spring barley in the Middle Urals*. Ekaterinburg: Ural Federal Agrarian Research Center – Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2021. 121 p. (In Russ.)
13. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Safonova I. V., Aniskov N. I. Implementation of the biological yield of spring barley in the southern forest-steppe of the Omsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; 203 (12): 22–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-22-34. (In Russ.)
14. Shupletsova O. N., Shchennikova I. N. Results of using cell technologies for creation of new barley varieties resistant against aluminum toxicity and drought. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2016; 20 (5): 623–628. DOI: 10.18699/VJ16.183. (In Russ.)
15. Blokhin V. I., Nikiforova I. Yu., Ganieva I. S., Lanochkina M. A., Malafeeva Yu. V. Assessment of the adaptive potential varieties and lines of spring barley bred by the Tatar Research Institute of Agriculture. *Legumes and Cereals*. 2021; 40 (4): 82–92. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-34-38. (In Russ.)
16. Maksimov R. A. A new method of sowing at the early stages of barley breeding in the Middle Urals. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2018; 46 (2): 44–49. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-46-2-44-49. (In Russ.)
17. Maksimov R. A. Multiple regression analysis as a way to differentiate yields by growth phases and development of barley genotypes (*Hordeum vulgare* L.). *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021: 29–34. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10404. (In Russ.)
18. Patent No 8111 of Russian Federation, Barley spring (*Hordeum vulgare* L.): Declared: No 61805 from 2013 Nov 01: Kiselev Yu. A., Maksimov R. A., Tolmacheva L. M., the applicant: Ural Federal Agrarian Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.
19. The State Register of breeding achievements Vol. 1. Plant varieties / In memory of Chepelev – spring barley [Internet] [cited 2025 Nov 03]. Available from: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektcionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/pamyati-chepeleva-yachmen-yarovoy>. (In Russ.)

20. Rating of 10 varieties of agricultural crop leaders in terms of seeding volumes in the Russian Federation in 2024. Information leaflet of the Rosselkhoz nadzor No. 1/2025 dated 01/13/2025 [Internet] [cited 2025 Nov 03]. Available from: <https://rosselhoscenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/tsentralnyyokrug/moskva/rejting-10-sortov-gibridov-liderov-s-kh-kultur-po-obemam-vyseva-v-rossiyskoyfederatsii-v-2024-g>. (In Russ.)

Authors' information:

Roman A. Maksimov, candidate of agricultural sciences, leading researcher at the laboratory of breeding and primary seed production of barley, Ural Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0615-8821, AuthorID 754477. *E-mail: Roman_MRA77@mail.ru*

Yuriy A. Kiselev, researcher at the laboratory of breeding and primary seed production of barley, Ural Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0009-7146-907X, AuthorID 760867. *E-mail: Krauf_1958@mail.ru*

Elena G. Kozionova, researcher at the laboratory of breeding and primary seed production of barley, Ural Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Ural Federal Agrarian Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-1134-2351, AuthorID 963453. *E-mail: Kozionova1987@gmail.com*

Экологическая оценка гибридных образцов картофеля в селекционных питомниках в условиях Архангельской области

Л. А. Попова[✉], А. А. Шаманин, О. Ю. Павловская

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия

[✉]E-mail: arhniish@mail.ru

Аннотация. Цель исследований – выявить в результате экологической оценки в питомниках селекционного процесса перспективные образцы картофеля по основным хозяйственно полезным признакам для создания нового скороспелого сорта картофеля, пригодного к выращиванию в почвенно-климатических условиях Северного региона России. **Методы.** Применялись полевой метод и метод дисперсионного анализа. **Научная новизна** состоит в выделении высокоурожайного перспективного селекционного материала картофеля на разных этапах селекционного процесса, обладающего экологической пластичностью, устойчивостью к болезням, для создания нового среднераннего нематодоустойчивого сорта с урожайностью не менее 35–40 т/га, адаптированного к условиям Северного региона России. **Результаты.** Комплексная оценка гибридных образцов картофеля селекции ФГБНУ ВНИИКХ им. А. Г. Лорха проводилась в условиях северных территорий Архангельской области на базе ООО «Агрофирма „Холмогорская“». Исследования проводили в течение 7 лет в различные по температурному режиму и по влагообеспеченности годы. Периодически наблюдалось избыточное увлажнение почвы, но благодаря высоким температурам воздуха отрицательного влияния на рост и развитие картофеля не выявлено. Согласно гидротермическому коэффициенту увлажнения Селянинова (ГТК), по уровню влагообеспеченности вегетационные периоды 2018–2021 годов и 2023 года были влажными (ГТК > 1,5), 2022 год – слабозасушливым (ГТК = 1,12), а 2024 год – засушливым (ГТК < 1,0). Исследования проводили на одноклубневых гибридах, поступивших в 2018 году, с последующим их изучением в питомниках селекционного процесса картофеля. В результате селекционного отбора из 730 одноклубневых гибридов (2018 г.) выделены в питомнике конкурного испытания второго года (2024 г.) 2 гибридных образца: 2346/3 (Удача × Гала) с урожайностью 31,1 т/га и 2380/4 (Сударыня × Лабадия) с урожайностью 45,0 т/га. Сортообразцы показали высокую устойчивость к вирусным болезням, ризоктониозу, макроспориозу и фитофторозу.

Ключевые слова: картофель, гибридные образцы, селекционные питомники, вегетационный период, устойчивость к заболеваниям, урожайность, динамические копки, основная уборка, скороспелость

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН по теме FUUW-2024-0004 «Создание новых сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к отрицательному воздействию биотических и абиотических факторов и формирование на их основе высокопродуктивных агроценозов для условий Европейского Севера РФ».

Для цитирования: Попова Л. А., Шаманин А. А., Павловская О. Ю. Экологическая оценка гибридных образцов картофеля в селекционных питомниках в условиях Архангельской области // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 259–268. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-259-268>.

Дата поступления статьи: с.2025, **дата рецензирования:** 24.06.2025, **дата принятия:** 01.12.2025.

Ecological assessment of hybrid potato samples in breeding nurseries in the Arkhangelsk region

L. A. Popova[✉], A. A. Shamanin, O. Yu. Pavlovskaya

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

[✉]E-mail: arhniish@mail.ru

Агротехнологии

Abstract. The purpose of the research is to study and identify, as a result of ecological assessment in nurseries of the selection process, promising potato samples according to the main economically useful characteristics for the creation of a new early-ripening potato variety suitable for cultivation in the soil and climatic conditions of the Northern region of Russia. **Methods.** The field method and the method of dispersion analysis were used. **Scientific novelty** of the research consists in the selection of high-yielding promising breeding material of potatoes at different stages of the breeding process, possessing ecological plasticity, resistance to diseases for the creation of a new mid-early nematode-resistant variety with a yield of at least 35–40 t/ha, adapted to the conditions of the Northern region of Russia. **Results.** A comprehensive assessment of hybrid potato samples bred by the A. G. Lorkh Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Crops and Vegetables was carried out in the northern territories of the Arkhangelsk region at the Kholmogorskaya Agrofirma LLC. The studies were conducted during 2018–2024, the weather conditions of the growing seasons varied in temperature and moisture availability. Precipitation was uneven, excessive soil moisture was periodically observed, but due to high temperatures, over-moistening of the soil did not have a negative impact on the growth and development of potatoes. According to the Selyaninov hydrothermal moisture coefficient (HTC) in terms of moisture supply, the vegetation periods of 2018–2021 and 2023 were wet ($HTC > 1.5$), 2022 was slightly dry ($HTC = 1.12$), and 2024 was dry ($HTC < 1.0$). The studies were conducted on single-tuber hybrids with subsequent selection in nurseries of the first and second field generations, preliminary, main and competitive tests. As a result of selection from 730 single-tuber hybrids (2018), 2 hybrid samples 2346/3 (Udacha × Gala) with a yield of 31.1 t/ha and 2380/4 (Sudarinya × Labadia) with a yield of 45.0 t/ha were selected in the nursery for competitive testing of the second year (2024). The variety samples showed high resistance to viral diseases, rhizoctonia, macrosporiosis and late blight.

Keywords: potatoes, hybrid samples, breeding nurseries, vegetation period, resistance to diseases, productivity, dynamic digging, main harvesting, early maturity

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Institution of Sciences FITSCIA Ural Branch of the Russian Academy of Sciences on the topic FUUW-2024-0004 “Creation of new varieties of agricultural crops that are resistant to the negative effects of biotic and abiotic factors and the formation on their basis of highly productive agrocenoses for the conditions of the European North of the Russian Federation”.

For citation: Popova L. A., Shamanin A. A., Pavlovskaya O. Yu. Ecological assessment of hybrid potato samples in breeding nurseries in the Arkhangelsk region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 259–268. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-259-268>. (In Russ.)

Date of paper submission: 28.02.2025, **date of review:** 24.06.2025, **date of acceptance:** 01.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Современное картофелеводство основывается на ряде элементов, основными из которых являются создание новых сортов картофеля и их агроэкологическое районирование. Каждый регион России должен быть обеспечен набором взаимодополняющих сортов, наиболее полно использующих конкретные почвенно-климатические и агротехнические условия [1–3]

Правильно подобранный ассортимент сортов картофеля различной спелости позволяет макси-

мально использовать природные условия региона и своевременно проводить агротехнические мероприятия. Такой подход в различные по метеорологическим условиям годы обеспечивает получение стабильно высоких урожаев. Сорта картофеля различных групп спелости для своего полного созревания предъявляют различные требования к температурам воздуха в период вегетации. Так, для ранних и среднеранних сортов сумма среднесуточных температур выше 10 °С за вегетационный период составляет 1000–1400 °С, для среднеспелых этот по-

© Попова Л. А., Шаманин А. А., Павловская О. Ю., 2026

казатель варьирует от 1400 °С до 1600 °С, а для более поздних групп – 1600–2200 °С. Наиболее благоприятные условия для роста и развития картофеля создаются, когда среднесуточные температуры воздуха составляют от 15 до 22 °С. Количество осадков при этом должно быть не менее 300 мм, а преобладать они должны в период клубнеобразования. Такие биологические особенности указывают на то, что агроклиматические условия большинства регионов России соответствуют требованиям ранних, среднеранних и среднеспелых сортов картофеля [4].

В силу природно-климатических условий северные территории Архангельской области обладают оздоровительным эффектом, что позволяет поддерживать биологический потенциал сортов и сохранять семенной материал здоровым от различных фитопатогенов, что играет решающую роль в оригинальном семеноводстве картофеля. Недостаток тепла на севере нивелируется большей продолжительностью дня летом, а почти круглосуточный световой день, продолжающийся до конца июля, способствует сокращению вегетационного периода. В северных климатических условиях более целесообразно выращивать сорта картофеля, относящиеся к ранней и среднеранней группам спелости с вегетационным периодом 60–75 дней.

Вновь создаваемые сорта должны иметь высокую и стабильную урожайность (свыше 25 т/га товарных клубней), приспособленность к почвенно-климатическим условиям возделывания, к механизированной уборке урожая, хорошие вкусовые качества и высокую лежкость. Архангельская область наряду с Вологодской, Мурманской областями, Ненецким автономным округом, республиками Коми и Карелия входит в состав Северного экономического региона Российской Федерации. По данным Государственного реестра сортов, допущенных к использованию в указанных регионах, районировано 49 сортов картофеля, из них 16 сортов относятся к группе ранних и 15 – к группе среднеранних. Раннеспелые сорта, как правило, отличаются слабой устойчивостью к болезням, вследствие чего быстро снижается фитосанитарная чистота их клубней. Северные территории в силу сложившихся климатических условий позволяют поддерживать чистоту посадочного материала длительное число репродукций и обеспечивают сохранение биологического потенциала селекционных образцов. Немаловажно то, что благодаря низкому инфекционному фону и погодным условиям северных территорий при первичном семеноводстве картофеля применяется малое количество пестицидных обработок, что снижает накапливающуюся резистентность последующих поколений [5; 6].

Все создаваемые сорта должны показывать стабильную высокую продуктивность в меняющихся условиях среды, то есть обладать экологической

стабильностью и пластичностью [7–9]. Оценка экологической пластичности, а также хозяйственной ценности дается на основе результатов установления реакции гибридов и сортов картофеля на различные экологические условия среды [10–13].

В условиях современного рынка в северных регионах ощущается дефицит высокопродуктивных сортов картофеля с улучшенными качественными характеристиками и адаптированностью к местным условиям. На основании вышеизложенного наши исследования направлены на выделение наиболее перспективных гибридов картофеля ранней и среднеранней групп спелости для создания новых сортов для Северного региона России.

Объект исследований – селекционные образцы картофеля.

Цель исследований – изучить и выявить в различных селекционных питомниках гибриды картофеля по хозяйственным и полезным признакам для создания нового скороспелого сорта картофеля, пригодного к выращиванию в почвенно-климатических условиях северных регионов России.

Методология и методы исследования (Methods)

Место проведения исследований – северный район Архангельской области (Холмогорский район). Период наблюдений – 2018–2024 годы. Опытный участок представлен супесчаными средне- и высококультурными почвами. Предшественник – однолетние культуры на силос (овес, горох, райграс). Технология выращивания картофеля включала следующие последовательно выполняемые операции: осеннее внесение удобрения «КалимагК (20 : 9), осенняя вспашка, весенняя активная культивация, нарезка гребней с одновременным внесением диааммофоски (10 : 26 : 26), посадка вручную, боронование, формирование гребней, обработка гербицидами («Метрибузином») до появления всходов, уборка вручную. Для оценки устойчивости гибридов к фитопатогенам из технологии убрано применение средств защиты.

В 2018 году из отдела селекции ФГБНУ ВНИИХ им. А. Г. Лорха поступило 730 клубней семи популяций: 2193 (Беллароза × Дубрава); 2224 (4702-82 × Валентина); 2247 (Беллароза × Тирас); 2297 (9314-90 × Беллароза); 2316 (135-5-2005 × Бриз); 2346 (Удача × Гала); 2380 (Сударыня × Лабадия). Исследования проводили согласно методическим рекомендациям по селекции картофеля на одноклубневых гибридах с последующим отбором их в питомниках первого и второго полевого поколения, предварительного, основного и конкурсного испытания [14; 15].

Гибридные образцы картофеля оценивали по срокам созревания, продуктивности, форме и размеру клубней, длине и компактности столонов, дефектам формы, восприимчивости к болезням, лежкости.

Таблица 1

Показатель общей урожайности в питомниках селекционного процесса

№ п/п	Гибрид / сорт	Питомник основного испытания 1 года (2021 г.)				Питомник основного испытания 2 года (2022 г.)				Питомник конкурсного испытания 1 года (2023 г.)				Питомник конкурсного испытания 2 года (2024 г.)			
		1-я динамическая копка		Основная уборка		1-я динамическая копка		Основная уборка		1-я динамическая копка		Основная уборка		1-я динамическая копка		Основная уборка	
		т/га	+/- к St	т/га	+/- к St	т/га	+/- к St	т/га	+/- к St	т/га	+/- к St	т/га	+/- к St	т/га	+/- к St	т/га	+/- к St
1	2346/2	12,2	+4,9	32,9	-3,5	32,6	+11,4	29,5	-14,3	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2346/3	10,7	+3,4	40,1	+3,7	17,4	-3,8	47,6	+3,8	21,2	-14,3	29,7	-6,7	21,1	-0,9	31,3	+3,8
3	2346/4	28,2	+20,9	38,4	+2,0	18,6	-2,6	29,4	-14,4	16,1	-19,4	19,7	-16,7	-	-	-	-
4	2193/1	22,1	+14,8	34,7	-1,7	5,9	-15,3	36,2	-7,6	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2193/2	21,1	+13,8	33,1	-3,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	2193/4	22,6	+15,3	41,1	+4,7	21,6	+0,4	31,7	-12,1	-	-	-	-	-	-	-	-
7	2316/2	22,0	+14,7	32,9	-3,5	21,8	+0,6	54,6	+10,8	-	-	-	-	-	-	-	-
8	2316/10	9,2	+1,9	38,4	+2,0	19,1	-2,1	42,7	-1,1	-	-	-	-	-	-	-	-
9	2247/2	12,4	+5,1	40,1	+3,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2247/5	13,4	+6,1	29,7	-6,7	12,8	-8,4	36,4	-7,4	-	-	-	-	-	-	-	-
11	2247/7	13,7	+6,4	37,3	+0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2380/2	12,3	+5,0	30,1	-6,3	14,3	-6,9	48,5	+4,7	35,8	+0,3	38,6	+2,2	-	-	-	-
13	2380/4	21,8	+14,5	44,6	+8,2	41,6	+20,4	42,4	-1,4	40,8	+5,3	47,8	+11,4	15,1	-6,9	45,0	+17,5
14	2224/1	6,0	-1,3	35,6	-0,8	5,6	-15,6	24,9	-18,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Елизавета (St)		7,3	-	36,4	-	21,2	-	43,8	-	35,5	-	36,4	-	22,0	-	27,5	-
НСР ₀₅		2,18	-	3,0	-	1,8	-	4,7	-	2,3	-	1,9	-	8,17	-	11,8	-

Table 1
Total yield index in nurseries of the selection process

No.	Hybrid/variety	1st Year Main Trial Nursery (2021)			2nd Year Main Trial Nursery (2022)			Competitive trial nursery 1 year (2023)			Competitive trial nursery 2 years (2024)						
		Ist dynamic button		Main harvest	Ist dynamic button		Main harvest	Ist dynamic button		Main harvest	Ist dynamic button		Main harvest				
		t/ha	+/- to St	t/ha	+/- to St	t/ha	+/- to St	t/ha	+/- to St	t/ha	+/- to St	t/ha	+/- to St				
1	2346/2	12.2	+4.9	32.9	-3.5	32.6	+11.4	29.5	-14.3	-	-	-	-	-	-		
2	2346/3	10.7	+3.4	40.1	+3.7	17.4	-3.8	47.6	+3.8	21.2	-14.3	29.7	-6.7	21.1	-0.9	31.3	+3.8
3	2346/4	28.2	+20.9	38.4	+2.0	18.6	-2.6	29.4	-14.4	16.1	-19.4	19.7	-16.7	-	-	-	-
4	2193/1	22.1	+14.8	34.7	-1.7	5.9	-15.3	36.2	-7.6	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2193/2	21.1	+13.8	33.1	-3.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	2193/4	22.6	+15.3	41.1	+4.7	21.6	+0.4	31.7	-12.1	-	-	-	-	-	-	-	-
7	2316/2	22.0	+14.7	32.9	-3.5	21.8	+0.6	54.6	+10.8	-	-	-	-	-	-	-	-
8	2316/10	9.2	+1.9	38.4	+2.0	19.1	-2.1	42.7	-1.1	-	-	-	-	-	-	-	-
9	2247/2	12.4	+5.1	40.1	+3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2247/5	13.4	+6.1	29.7	-6.7	12.8	-8.4	36.4	-7.4	-	-	-	-	-	-	-	-
11	2247/7	13.7	+6.4	37.3	+0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	2380/2	12.3	+5.0	30.1	-6.3	14.3	-6.9	48.5	+4.7	35.8	+0.3	38.6	+2.2	-	-	-	-
13	2380/4	21.8	+14.5	44.6	+8.2	41.6	+20.4	42.4	-1.4	40.8	+5.3	47.8	+11.4	15.1	-6.9	45.0	+17.5
14	2224/1	6.0	-1.3	35.6	-0.8	5.6	-15.6	24.9	-18.9	-	-	-	-	-	-	-	-
	Elizaveta (St)	7.3	-	36.4	-	21.2	-	43.8	-	35.5	-	36.4	-	22.0	-	27.5	-
	LSD ₀₅	2.18	-	3.0	-	1.8	-	4.7	-	2.3	-	1.9	-	8.17	-	11.8	-

Для того чтобы оценить устойчивость к вредителям и болезням, из технологической цепочки агроприемов исключили применение фунгицидов и инсектицидов.

Устойчивость ботвы к вирусным болезням, альтернариозу, фитофторозу оценивалась в полевых условиях; к парше обыкновенной и ризоктониозу – на отмытых клубнях в лаборатории на естественном инфекционном фоне. Оценка хозяйственно ценных признаков проводили по 9-балльной шкале Международного классификатора СЭВ [16].

Урожайность клубней и структуру урожая оценивали в первую динамическую копку (на 60-й день после посадки) и в основную уборку в сравнении со среднеранним сортом Елизавета (St). Математическую обработку экспериментальных данных проводили по Б. А. Доспехову [17].

Результаты (Results)

Испытание гибридов картофеля проводили в различные годы, различающиеся по основным метеорологическим показателям: температуре воздуха, выпавшим осадкам и сумме эффективных и активных температур. Несмотря на неравномерность выпадения осадков, которое иногда приводило к кратковременному переувлажнению верхнего слоя почвы, условия для растений картофеля в целом складывались благоприятные.

Поступившие в 2018 году клубни семи популяций в количестве 730 штук были высажены в питомнике *одноклубневок*. Vegetационный период (от посадки до уборки клубней) в указанном году длился 92 дня. Полные всходы отмечены на 26-й день после посадки, массовое цветение – на 35–37-й день после появления всходов. Период вегетации картофеля был на 1,5 °С теплее, чем в среднем за много лет, и составил 15,7 °С. Осадки выпадали по месяцам не равномерно: июнь – 132 % от нормы, в июле – 50,8 %, в августе – 144,6 %. Сумма температур воздуха выше 10 °С до первой динамической копки составила 911,4 °С, осадков выпало 89,5 мм, в результате чего период оказался засушливым (ГТК = 0,98). Такая влагообеспеченность сложилась благодаря 180,3 мм осадков, выпавших на фоне суммы температур воздуха выше 10 °С, равной 1196,6 °С. Период от посадки гибридов до их уборки охарактеризован как оптимально увлажненный, гидротермический коэффициент (ГТК) равен 1,5.

Визуальная оценка гибридов в питомнике показала, что растения в течение вегетационного периода не были поражены ризоктониозом, макроспориозом и фитофторозом, но в то же время было выбраковано потомство 649 селекционных номеров. Основная причина выбраковки – длинные столоны, небольшое количество клубней в гнезде, присутствие уродливых и мелких клубней. Процент отбора составил 14 %.

Питомник гибридов II года (второго клубневого поколения) был высажен в 2019 году и представлен 81 клоном, относящимся к семи популяциям. Всходы картофеля отмечены на 21–23-й день после посадки, цветение – на 35–46-й день от всходов, весь период вегетации от посадки до всходов длился 96 дней. Среднемесячная температура воздуха в период вегетации картофеля составила 13,0 °С, что на 1,2 °С холоднее среднеголетних значений. Осадки выпадали неравномерно: в июне – 94,7 % от нормы, в июле – 136,0 %, в августе – 198,6 %. Период до первой динамической копки выдался влажным (ГТК составил 1,7), а до уборки – оптимально увлажненным (ГТК = 1,4).

В фазу цветения все растения охарактеризовались средней мощностью развития по ботве (5 баллов), тип куста был преимущественно полуразвалившийся с высотой побегов 50–70 см. Визуальная оценка вегетирующих растений позволила оценить устойчивость гибридов к основным заболеваниям. Не отмечено симптомов заражения надземных частей растений макроспориозом и ризоктониозом. У гибридов под номерами 2316 и 2224 устойчивость к фитофторозу отмечена на уровне 7 баллов по 9-балльной шкале, было поражено до 25 % растений. У остальных гибридов устойчивость отмечена на уровне 8–9 баллов. В питомнике было выбраковано 39 семей гибридов, отбор составил 51 %. Наибольший процент отбора показал сортономер 2346, значение данного показателя составило 60 %. При оценке продуктивности наибольшая масса клубней получена у сортообразца 2380 (773,5 г).

В 2020 году в питомнике *предварительного испытания* изучались 42 гибридных образца шести популяций. Всходы в данном питомнике отмечены на 26–28-й день после посадки, цветение – на 34–36-й день после всходов, весь период вегетации картофеля составил 95 дней. По теплообеспеченности развитие растений картофеля проходило в условиях, соответствующих среднеголетнему значению, осадков выпало на 20 % больше нормы. Период до первой динамической копки был оптимально увлажнения с ГТК = 1,3, сумма активных температур воздуха составила 896,8 °С, осадков выпало 118,2 мм. До основной уборки выпало 240,8 мм осадков при сумме температур выше 10 °С, равной 1143,2 °С, ГТК составил 1,7.

Отмечена высокая устойчивость вегетирующих гибридов к ризоктониозу и макроспориозу, а по отношению к фитофторозу почти все гибриды показали высокую устойчивость в первую динамическую копку, кроме гибрида под номером 2316 (5 баллов). Перед удалением ботвы у всех образцов отмечена очень низкая и низкая устойчивость. Оценка гибридов на скороспелость, проведенная при помощи первой динамической копки на 60-й день вегетации, показала, что ни один образец не

превысил продуктивность сорта-стандарта Елизавета. В основную уборку наиболее продуктивным также оказался сорт-стандарт с общей и товарной урожайностью 14,5 т/га и 10,5 т/га соответственно. Среди изучаемых гибридов выделился образец под номером 2316/12 с общей урожайностью 11,1 т/га, товарной – 6,5 т/га. Наибольшая средняя масса клубней с куста получена у номера 2346 – 1046 г.

В питомнике основного испытания первого года было высажено 14 гибридов шести популяций. Всходы гибридов в питомнике отмечены на 22–25-й день после посадки, цветение – на 32–36-й день после всходов. Вегетационный период продлился 97 дней и соответствовал по тепловому режиму и выпавшим осадкам уровню среднегодовалого значения и был благоприятным для развития растений. По уровню влагообеспеченности период был оптимально увлажненным с ГТК = 1,5.

Признаков поражения растений вирусными болезнями, ризоктониозом, макроспориозом не было выявлено. А по заболеванию фитофторозом отмечена у всех образцов средняя, низкая и очень низкая устойчивость. Учет урожая в динамике показал, что на 60 день наибольшую продуктивность клубней сформировали сортообразцы 2346/4 и 2380/4 с общей урожайностью 28,2 т/га и 21,8 т/га соответственно (таблица 1). В основную уборку в конце вегетационного периода наибольшей продуктивностью выделились гибриды 2346/3, 2193/4, 2247/2 и 2380/4, показавшие потенциал в урожае выше 40 т/га и имеющие существенную прибавку по отношению к стандарту.

Для изучения в питомнике основного испытания второго года в 2022 году высадили 11 гибридных образцов шести популяций. Первые 60 дней вегетации картофеля были с обеспеченным увлажнением (ГТК = 1,63), сумма температур выше 10 °С в этот период составила 1074,4 °С, а сумма осадков – 174,3 мм. В целом вегетационный период развития картофеля оказался слабозасушливым (ГТК = 1,12), осадков за этот период выпало 184,3 мм при сумме активных температур, равной 1584,3 °С. Оценка на устойчивость к фитофторозу в первый срок показала, что гибриды, за исключением сортономеров 2346/1, 2193/4, 2224/1 и 2346/2, обладают высокой устойчивостью. Указанные же гибриды показали среднюю устойчивость. Оценка растений на повреждаемость фитофторозом перед удалением ботвы показала, что устойчивость у сортономеров 2346/4, 2193/4, 2316/2 и 2346/3 снизилась до средней. Визуальная оценка вегетирующих растений не выявила ни одного гибрида, пораженного ризоктониозом и макроспориозом.

По общей и товарной урожайности в первую динамическую копку выделился гибрид 2380/4 с урожайностью 41,6 т/га и 40,7 т/га (+20,4 т/га и 19,3 т/га к стандарту), в основную уборку – 3 гибри-

да: 2346/3, 2380/2 и 2316/2 с общей урожайностью от 47,6 т/га до 54,6 т/га, товарной – от 42,2 т/га до 47,7 т/га соответственно. Гибриды под номерами 2380/4, 2346/2 и 2346/3 превзошли сорт-стандарт по содержанию сухого вещества и крахмала, прибавка в этом случае составила 3,5–6,8 %.

По результатам испытаний, проведенных в 2022 году, для посадки в питомник конкурсного испытания I года отобрано 4 гибридных образца двух популяций 2346 (Удача × Гала) и 2380 (Сударыня × Лабадия). Температурный режим 2023 года был на 3,5 °С теплее среднегодовалого значения, Развитие картофеля проходило в условиях достаточного увлажнения, ГТК = 1,82. За период от посадки до основной уборки выпало 269,2 мм осадков, сумма активных температур составила 1812,3 °С, эффективных – 1325,5 °С.

Гибриды картофеля в первый срок оценки на устойчивость к фитофторозу по ботве показали очень высокую и высокую устойчивость, а перед удалением ботвы – низкую и очень низкую устойчивость. Поражения ризоктониозом и макроспориозом не отмечены. В таких условиях наиболее продуктивным стал гибрид под номером 2380/4 с урожайностью в первую динамическую копку и основную уборку 47,8 т/га (+5,3 т/га к St) и 47,8 т/га (+11,4 т/га к St) соответственно.

В питомнике конкурсного испытания II года оценено 2 гибридных образца двух популяций 2346/3 (Удача × Гала) и 2380/4 (Сударыня × Лабадия) в сравнении с сортом-стандартом Елизавета. По показателю гидротермического коэффициента увлажнения уровень влагообеспеченности в вегетационный период варьировал от избыточного увлажнения (июнь – 1,62) до ГТК сухого (август – 0,35). Мощность развития куста и интенсивность цветения соответствовали 9 баллам. Растения показали высокую устойчивость к вирусным болезням, ризоктониозу, макроспориозу и фитофторозу. В первую динамическую копку оба образца показали урожайность ниже, чем сорта Елизавета, а в основную уборку образец 2380/4 обеспечил урожайность 45,0 т/га (+17,5 к стандарту). Отмечена низкая товарность образцов от 61 до 75 % и небольшое количество товарных клубней. У сорта-стандарта в кусте сформировалось 28 клубней, из них только 12 штук товарных и 14 мелких, у гибрида 2380/4 из 25 клубней 16 товарных. Устойчивость клубней к фитофторозу высокая – 9 баллов. Эти 2 образца отобраны для посадки в 2025 году.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В питомниках селекционного процесса проведены исследования по оценке исходного материала картофеля по продуктивности, скороспелости, качеству клубней, устойчивости к болезням и по другим важным признакам с целью создания новых сортов ранней и среднеранней групп спелости для

условий Северного региона России. Недостаток высокопродуктивных сортов картофеля с улучшенными качественными характеристиками и адаптивностью к местным условиям ощущается в природно-климатических условиях северных регионов. В 2023 году нами передан в Госсортоиспытание новый сорт картофеля Двинской, который в 2024 году проходил испытание на госсортоучастках 1-го и 2-го регионов.

Комплексная оценки гибридных образцов картофеля селекции ФГБНУ ВНИИКХ им. А. Г. Лорха проведена в условиях северных территорий Архангельской области. Исследования проводили на одноклубневых гибридах, поступивших на изучение в 2018 году, с последующим изучением и отбором их в питомниках селекционного процесса. Погодные условия вегетационных периодов с 2018 по 2024 год различались по температурному режиму и по влагообеспеченности, но были благоприятны для роста и развития картофеля.

В результате селекционного отбора гибридов в питомниках одноклубневок (2018 год) процент отбора составил 14 %, второго клубневого поколения (2019 год) – 32 %, предварительного испытания (2020 год) – 75 %. Основные причины выбраковки гибридов: небольшое количество клубней, уродли-

вые или мелкие клубни, длинные столоны (больше 20 см).

Согласно гидротермическому коэффициенту увлажнения, по уровню влагообеспеченности вегетационные периоды 2018–2021 годов и 2023 года были влажными (ГТК > 1,5), 2022 год – слабозасушливым (ГТК = 1,12), а 2024 год – засушливым (ГТК < 1,0).

В результате селекционного отбора из 730 одноклубневых гибридов (2018 год) выделены в питомнике конкурного испытания второго года (2024 год) 2 гибридных образца двух популяций 2346/3 (Удача × Гала) и 2380/4 (Сударыня × Лабадия). Мощность развития куста и интенсивность цветения соответствовали 9 баллам. Растения показали высокую устойчивость к вирусным болезням, ризоктониозу, макроспориозу и фитофторозу. В первую динамическую копку оба образца показали урожайность ниже сорта Елизавета, а в основную уборку урожайность образца 2380/4 была выше, чем у сорта-стандарта, на 17,5 т/га и составила 45,0 т/га.

Выделившиеся селекционные номера 2364/3 и 2380/4 будут вовлечены в дальнейший селекционный процесс для создания новых сортов картофеля с ранним и среднеранним сроком созревания.

Библиографический список

1. Симаков Е. А., Анисимов Б. В., Жевора С. В., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Митюшкин А. В., Гайзатулин А. С. Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России // Картофель и овощи. 2020. № 12. С. 22–26. DOI: 10.25630/PAV.2020.49.70.005.
2. Белов Г. Л., Деревягина М. К., Зейрук В. Н., Васильева С. В. Фитопатологическая экспертиза сортов картофеля в условиях Московской области // Аграрный вестник Урала. 2021. № 5. С. 8–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-8-21.
3. Синцова Н. Ф., Лыскова И. В., Кратюк Е. И., Архипов В. М. Оценка сортов и гибридов картофеля по динамике накопления урожайности и содержанию крахмала в клубнях в агроэкологических условиях Волго-Вятского региона // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (4). С. 423–432. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.423-432.
4. Симаков Е. А., Анисимов Б. В., Скларова Н. П. [и др.] Сорта картофеля, возделываемые в России: 2009. Ежегодное справочное издание. Москва: Агроспас, 2009. 92 с.
5. Попова Л. А., Головина Л. Н., Гинтов В. В., Шаманин А. А. Оценка адаптивности сортообразцов картофеля в условиях северных территорий Архангельской области // Картофель и овощи. 2021. № 1. С. 34–37. DOI: 10.25630/PAV/2021.36.25.004.
6. Тулинов А. Г., Лобанов А. Ю. «Вычегодский» – новый сорт картофеля для Республики Коми // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182 (2). С. 100–106. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-100-106.
7. Молянов И. В., Семенов В. А., Гайзатулин А. С., Жарова В. А. Селекционный отбор картофеля в зависимости от эколого-географических условий // Картофель и овощи. 2022. № 9. С. 28–30. DOI: 10.25630/PAV.2022.86.62.004.
8. Амелюшкина Т. А. Оценка сортов картофеля по комплексу хозяйственно ценных признаков в питомнике экологического испытания // Владимирский земледелец. 2019. № 3. С. 35–38. DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10079.
9. Глаз Н. В., Васильев А. А., Дергилева Т. Т., Мушинский А. А. Оценка экологической пластичности среднеранних и среднеспелых сортов картофеля // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 1 (49). С. 10–19. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-11002.

10. Шерстюкова Т. П., Иващенко А. Д. Оценка гибридов картофеля в питомнике конкурсного испытания в условиях Камчатского края // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 4 (56). С. 53–58. DOI: 10.24411/1999-6837-2020-14049.
11. Тулинов А. Г., Лобанов А. Ю. Результаты испытания гибридов картофеля селекционных питомников в условиях Республики Коми // Аграрная наука. 2021. № 351 (7-8). С. 85–88. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-85-88.
12. Евдокимова З. З., Калашник М. В., Головина Л. Н., Челнокова В. В., Котова З. П. Подбор перспективных гибридов картофеля по параметрам их адаптивности для условий Европейского Севера // Аграрный вестник Урала. 2019. № 7 (186). С. 26–32. DOI: 10.32417/article_5d52af44264156.24918284.
13. Рафальский С. В., Рафальская О. М., Мельникова Т. В., Изучение гибридных популяций картофеля в условиях Приамурья // Вестник КрасГАУ. 2021. № 6. С. 18–24. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-6-18-24.
14. Писарев Б. А., Яшина И. М., Макаров П. П. [и др.]. Методические указания по технологии селекции картофеля. Москва: Россельхозакадемия; ВНИИКХ, 1994. 24 с.
15. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. Москва: Минсельхоз России; ФГБУ «Госсорткомиссия», 2019. 329 с.
16. Международный классификатор СЭВ видов картофеля секции Tuberosum (DUM), ВУК рода Salanum L. Ленинград: Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова, 1984. 44 с.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Колос, 1979. 416 с.

Об авторах:

Людмила Александровна Попова, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории растениеводства, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия; ORCID 0000-0003-3764-9017, AuthorID 684533. E-mail: arhniish@mail.ru

Алексей Алексеевич Шаманин, научный сотрудник лаборатории растениеводства, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, Россия; ORCID 0000-0002-8611-8637, AuthorID 784012. E-mail: lexik_1@mail.ru

Ольга Юрьевна Павловская, младший научный сотрудник лаборатории растениеводства, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук; Архангельск, Россия; ORCID 0009-0008-4842-3308, AuthorID 1273484. E-mail: arhniish@mail.ru

References

1. Simakov E. A., Anisimov B. V., Zhevora S. V., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushkin A. V., Gaizatulin A. S. Current trends in the development of potato breeding and seed production in Russia. *Potato and Vegetables*. 2020; 12: 22–26. DOI: 10.25630/PAV.2020.49.70.005. (In Russ.)
2. Belov G. L., Derevyagina M. K., Zeyruk V. N., Vasil'eva S. V. Phytopathological examination of potato varieties in the conditions of the Moscow region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 5 (208): 8–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-208-05-8-21. (In Russ.)
3. Sintsova N. F., Lyskova I. V., Kratyuk E. I., Arkhipov V. M. Evaluation of potato varieties and hybrids by the dynamics of yield accumulation and starch content in tubers in the agro-ecological conditions of the Volga-Vyatka region. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2022; 23 (4): 423–432. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.423-432. (In Russ.)
4. Simakov E. A., Anisimov B. V., Sklyarova N. P., et al. *Potato varieties cultivated in Russia: 2009. Annual reference publication*. Moscow: Agrosplas LLC, 2009. 92 p. (In Russ.)
5. Popova L. A., Golovina L. N., Gintov V. V., Shamanin A. A. Assessment of the adaptability of potato varieties in the conditions of the northern territories of the Arkhangelsk region. *Potato and Vegetables*. 2021; 1: 34–37. DOI: 10.25630/PAV/2021.36.25.004. (In Russ.)
6. Tulinov A. G., Lobanov A. Yu. “Vychegodskiy” – a new potato variety for the Republic of Komi. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021; 182 (2): 100–106. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-100-106. (In Russ.)
7. Molyanov I. V., Semenov V. A., Gayzatulin A. S., Zharova V. A. Breeding selection of potatoes depending on ecological and geographical conditions. *Potato and Vegetables*. 2022; 9: 28–30. DOI: 10.25630/PAV.2022.86.62.004. (In Russ.)

8. Amelyushkina T. A. Assessment of potato grades by the complex of its economic character in a seed field. *Vladimir Agricolist*. 2019; 3: 35–38. DOI: 10.24411/2225-2584-2019-10079. (In Russ.)
9. Glaz N. V., Vasil'ev A. A., Dergileva T. T., Mushinskiy A. A. Assessment of ecological plasticity of medium-early and mid-season potato varieties. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2019; 1 (49): 10–19. DOI: 10.24411/1999-6837-2019-11002. (In Russ.)
10. Sherstyukova T. P., Ivashchenko A. D. Evaluation of potato hybrids in the competitive testing nursery in the conditions of the Kamchatka region. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2020; 4 (56): 53–58. DOI: 10.24411/1999-6837-2020-14049. (In Russ.)
11. Tulinov A. G., Lobanov A. Yu. Results of testing potato hybrids from breeding nurseries in the conditions of the Republic of Komi. *Agrarian Science*. 2021; 351 (7-8): 85–88. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-351-7-8-85-88. (In Russ.)
12. Evdokimova Z. Z., Kalashnik M. V., Golovina L. N., Chelnokova V. V., Kotova Z. P. Selection of promising potato hybrids according to their adaptability parameters for the conditions of the European North. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 7 (186): 26–32. DOI: 10.32417/article_5d52af44264156.24918284. (In Russ.)
13. Rafalskiy S. V., Rafalskaya O. M., Melnikova T. V. Study of hybrid potato populations in the conditions of the Amur region. *Bulletin of KSAU*. 2021; 6: 18–24. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-6-18-24. (In Russ.)
14. Pisarev B. A., Yashina I. M., Makarov P. P., et al. *Methodological guidelines for potato breeding technology*. Moscow: Russian Agricultural Academy; VNIKH, 1994. 24 p. (In Russ.)
15. *Methodology of state variety testing of agricultural crops*. Issue 1. General part. Moscow: Ministry of Agriculture of Russia; FSBI “State Selection Commission”, 2019. 329 p. (In Russ.)
16. *CMEA international classifier of potato species of the section Tuberosum (DUM), BUK of the genus Solanum L.* Leningrad: N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, 1984. 44 p. (In Russ.)
17. Dospikhov B. A. *Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Kolos, 1979. 416 p. (In Russ.)

Authors' information:

Lyudmila A. Popova, candidate of economic sciences, leading researcher N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia; ORCID 0000-0003-3764-9017, AuthorID 684533. *E-mail: arhniish@mail.ru*

Aleksey A. Shamanin, researcher at the laboratory of crop production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia; ORCID 0000-0002-8611-8637, AuthorID 784012. *E-mail: lexxik_1@mail.ru*

Olga Yu. Pavlovskaya, junior researcher at the laboratory of crop production, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia; ORCID 0009-0008-4842-3308, AuthorID 1273484. *E-mail: arhniish@mail.ru*

Агроэкологическая адаптивность сортов твердой пшеницы на Южном Урале

Ю. П. Прядун, Н. Л. Назаренко[✉], Л. П. Шаталина

Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, п. Тимирязевский, Челябинская область, Россия

[✉]E-mail: chniisx2@mail.ru

Аннотация. Цель исследования – агроэкологическая оценка адаптивности сортов яровой твердой пшеницы на основании данных экологического испытания в условиях Южного Урала. **Методы.** Для исследований использован полевой опыт, заложенный по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур на базе опытного поля ОП «Троицкое» в южной лесостепи Челябинской области в 2022–2024 гг. По методическим рекомендациям выполнена сравнительная оценка наиболее распространенных в данном регионе сортов яровой твердой пшеницы. **Результаты.** Годы проведения исследований были контрастными, отличались засушливостью по фазам развития яровой твердой пшеницы, значения гидротермического коэффициента изменялись от 0,12 до 2,4. Неравномерность выпадения осадков во время вегетации отрицательно отразилась на продуктивности твердой пшеницы. В процессе исследований проведена оценка средней урожайности по годам, агроэкологической адаптированности сортов, относительное значение индекса урожайности сорта, индекс урожайности сортов, индекс условий года, степень отзывчивости сорта, депрессии урожайности сорта. Минимальное значение степени депрессии урожайности зерна твердой пшеницы установлено у сорта Шукшинка (25,6 %). Наибольшее значение степени депрессии установлено у сорта АТП Прима (48 %). В результате расчетов установлена группа агроэкологической приспособленности каждого сорта. Выявлены сорта с высокой степенью агроэкологической адаптивности: Жемчужина Сибири, Шукшинка и Омский циркон. По качеству зерна большое преимущество имеет сорт Лариса янтарная по стекловидности, содержанию белка и клейковины. **Научная новизна.** Впервые по данной методике проведена агроэкологическая оценка сортов яровой твердой пшеницы селекции ФГБУН «Самарский федеральный исследовательский центр РАН», ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», ФГБНУ «Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» рекомендованных для Уральского региона.

Ключевые слова: яровая твердая пшеница, урожайность, сорт, агроэкологическая адаптивность, качество зерна

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории качества зерна и особо – ведущей лабораторией Л. Д. Громовой. Работа выполнена по теме FNUM-2025-0003 Госзадания плана НИР на 2024–2030 гг. Авторы выражают благодарность рецензентам за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Прядун Ю. П., Назаренко Н. Л., Шаталина Л. П. Экологическая оценка сортов твердой пшеницы на Южном Урале // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 269–277. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-269-277>.

Дата поступления статьи: 08.07.2025, **дата рецензирования:** 22.01.2026, **дата принятия:** 23.01.2026.

Agroecological adaptability of durum wheat varieties to the Southern Urals

Yu. P. Pryadun, N. L. Nazarenko✉, L. P. Shatalina

Chelyabinsk Scientific Research Institute of Agricultural Sciences, Timiryazevskiy settlement, Russia

✉E-mail: chniisx2@mail.ru

Агротехнологии

Abstract. The purpose of the study is an agroecological assessment of the adaptability of spring durum wheat varieties based on environmental testing data in the Southern Urals. **Methods.** The research was based on a field experiment conducted according to the methodology of state variety testing of agricultural crops at the Troitskoye experimental field in the southern forest-steppe of the Chelyabinsk region in 2022–2024. A comparative assessment of the most common spring durum wheat varieties in the region was conducted using the methodological recommendations. **Results.** The years of research were contrasting, characterized by aridity in the phases of development of spring durum wheat, the values of the hydrothermal coefficient varied from 0.12 to 2.4. The uneven precipitation during the growing season had a negative impact on the productivity of durum wheat. In the course of the research, the average annual yield, agroecological adaptability of varieties, the relative value of the yield index of the variety, the yield index of varieties, the index of the conditions of the year, the degree of responsiveness of the variety, and the depression of the yield of the variety were evaluated. The minimum value of the degree of depression in the yield of durum millet grain was found in the Shukshinka variety (25.6 %). The highest degree of depression was found in the ATP Prima variety (48 %). As a result of calculations, a group of agroecological adaptability of each variety was established. Varieties with a high degree of agroecological adaptability have been identified: Zhemchuzhina Sibiri, Shukshinka and Omskiy tsirkon. In terms of grain quality, the Larisa amber variety has a great advantage in terms of vitreousness, protein and gluten content. **Scientific novelty.** For the first time, this method was used to assess the agroecological characteristics of spring durum wheat varieties developed by the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, the Omsk Agrarian Research Center, the Federal Altai Research Center for Agribiotechnologies, and the Chelyabinsk Research Institute of Agriculture, which are recommended for the Ural region.

Keywords: variety, spring durum wheat, adaptability, yield, grain quality

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the staff of the grain quality laboratory, and especially to the head of the laboratory, L. D. Gromova. This work was carried out under the topic FNUM-2025-0003 of the State Research Plan for 2024–2030. The authors also thank the reviewers for their contributions to the expert evaluation of this study.

For citation: Pryadun Yu. P., Nazarenko N. L., Shatalina L. P. Ecological assessment of durum wheat varieties in the Southern Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 269–277. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-269-277>. (In Russ.)

Date of paper submission: 08.07.2025, **date of review:** 22.01.2026, **date of acceptance:** 23.01.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Повышение эффективности производства зерна связано с обеспечением продовольственной безопасности нашей страны. Основой ее является, как известно, производство зерна. Твердая пшеница (*Triticum durum* L.) – основное сырье для производства макаронных изделий и круп. В связи с изменениями климата корректируется адаптация технологий возделывания к условиям с недостатком продуктивной влаги в почве при нарастании температурного режима воздуха. Использование в производстве новых высокоадаптивных сортов и увеличение их площадей обеспечит получение достаточных объемов качественного зерна [1]. На-

метилась тенденция к снижению продуктивности твердой пшеницы, обусловленная нарастанием засушливости периода вегетации [2].

Увеличение урожайности и качества зерна твердой пшеницы в сравнении с бессменным посевом отмечалось при возделывании в шестипольных севооборотах с применением минеральных удобрений [3]. Наибольший уровень рентабельности при возделывании твердой пшеницы выявлен при прямом посеве и внесении аммиачной селитры (282,9–286,9 %), что на 34,6–43,3 % больше, чем в вариантах с традиционной технологией [4].

В формировании урожайности твердой пшеницы в засушливых условиях степной зоны Южного

© Прыдун Ю. П., Назаренко Н. Л., Шаталина Л. П., 2026

Урала большую роль имеют биологические факторы (температура воздуха, выпадающие осадки, сушвейные дни, количественное содержание элементов питания почвы и др.) [5].

Подбор родительских сортов рекомендуют осуществлять по наличию генов, отвечающих за эластичность и прочность клейковины [6]. Прочность и кулинарные свойства макарон зависят как от количества клейковины, так и от ее качества, которое определяют такие параметры, как метеоусловия, генотип сорта, а также совместное их влияние [7–9]. До 30 % качества конечной продукции (макарон, круп), получаемой из твердой пшеницы, определяется концентрацией каротиноидных пигментов, накапливаемых в эндосперме и отвечающих за желтый цвет изделий [10].

С целью увеличения доли белка в семенах при создании нового перспективного сорта твердой пшеницы учитывается процесс накопления запасных белков в эндосперме зерновки [11; 12]. По зависимости урожая твердых сортов пшеницы от адаптивных свойств, стабильности и пластичности выявляются наиболее экологически адаптивные образцы [13–15].

Статистическая оценка на основе урожайности является распространенным методом, используемым для характеристики сортов [16–19; 21]. Уже на этапе конкурсного испытания по расчетам депрессии урожайности и относительного индекса урожайности образцов появляется возможность сделать оценку исходного материала [20].

В задачи опыта входили изучение исходного материала для отбора перспективных селекционных линий твердой пшеницы; выделение селекционных линий по показателям агроэкологической адаптивности сортов яровой твердой пшеницы на основании данных экологического испытания в условиях Южного Урала в связи с изменяющимися погодными условиями.

Методология и методы исследования (Methods)

Оценка и анализ реакции сортов яровой твердой пшеницы проведены на основании данных полевого опыта, заложенного на территории землепользования ОП «Троицкое» – филиала ФГБНУ «Челябинский НИИСХ» в 2022 году.

Опыт заложен на участке с характеристикой почвы пахотного слоя: чернозем выщелоченный, с содержанием азота нитратного 25,4 мг/кг, гумуса – 6,56 %, калия обменного – 16,7 мг/кг, фосфора подвижного – 55,8 мг/кг.

Посев проведен селекционной сеялкой СКС 6-10 в трехкратной повторности, площадь делянки – 5 м², размещение рендомизированное.

В качестве стандарта использовался районированный в Челябинской области сорт твердой пшеницы Безенчукская степная. Учет урожая проведен селекционным комбайном «Сампо-130».

Оценка, учеты и наблюдения всего имеющегося материала проводились по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур 1985 года¹ и 1989 года².

Анализ и изучение агробιοлогической адаптивности сортов яровой твердой пшеницы выполнены по методическим рекомендациям, разработанным в НИИИСС – филиале Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук и опубликованным в статьях [2; 20].

Статистическая обработка выполнена с помощью компьютерной программы Snedecor.

Результаты (Results)

Метеоусловия, как известно, являются лимитирующим фактором для формирования продуктивного агроценоза сельскохозяйственных культур. Оценку погодных условий можно отдельно характеризовать по месяцам вегетационного периода по гидротермическому коэффициенту. Гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК) рассчитан по Г. Т. Селянинову. Классификация зон увлажнения: ГТК < 0,3 – очень сухая; ГТК = 0,4...0,5 – сухая; ГТК = 0,6...0,7 – засушливая; ГТК = 0,8...1,0 – недостаточного увлажнения; ГТК = 1,0...1,5 – достаточно влажная; ГТК > 1,5 – избыточно влажная. За период исследований 2022 и 2023 годы по ГТК характеризовались за вегетацию как достаточно влажные, 2024 год – избыточно влажный (таблица 1).

Благоприятные условия для всходов твердой пшеницы сложились в мае 2022 года, превысив норму в 2,1 раза. Засушливыми условиями отличались июнь – сентябрь 2022 года, май – июль 2023 года. Особенно засушливым было начало вегетации 2023 года. Неблагоприятный режим увлажнения в начале вегетации 2023 года с осадками в 6 мм сменился в августе рекордным выпадением осадков 129 мм, что превысило метеорологическую норму в 2,7 раза. В 2024 году сложились более благоприятные условия для формирования агроценоза яровой твердой пшеницы, особенно переувлажнение отмечено в июле: на 50 мм (или в 1,8 раза) по сравнению с метеорологической нормой. В целом проведение опытов по метеоусловиям были достаточно благоприятным для формирования продуктивности твердой пшеницы.

Для проведения опытов использованы сорта яровой твердой пшеницы селекции ФГБНУ «Самарский федеральный исследовательский центр РАН», ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий», ФГБНУ «Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства» (таблица 2).

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып.: Общая часть / Под общ. ред. М. А. Федина. Москва: Б. и., 1985. 267 с.

² Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. Москва: Б. и., 1989. 194 с.

Таблица 1
Гидротермический коэффициент за май – сентябрь за 2022–2024 гг.

Месяцы	Гидротермический коэффициент по годам		
	2022	2023	2024
За май – сентябрь	1,32	1,12	1,71
В том числе за май	2,14	0,12	1,50
июнь	0,69	0,88	1,00
июль	0,54	0,69	1,79
август	0,22	2,40	1,25
сентябрь	0,33	1,28	0,14

Table 1
Hydrothermal coefficient for May – September for 2022–2024

Months	Hydrothermal coefficient by year		
	2022	2023	2024
For May – September	1.32	1.12	1.71
Including for May	2.14	0.12	1.50
June	0.69	0.88	1.00
July	0.54	0.69	1.79
August	0.22	2.40	1.25
September	0.33	1.28	0.14

Таблица 2
Урожайность сортов яровой твердой пшеницы
(ОП «Троицкое», предшественник – пар, 2022–2024 гг.), т/га

Название сорта	Год/ГТК			Среднее	Индекс урожайности сорта, т/га
	2022 1,32	2023 1,12	2024 1,71		
Безенчукская степная (ст.)	3,03	2,47	4,07	3,20	-0,06
Жемчужина Сибири	3,27	2,95	4,37	3,53	0,28
Омский циркон	3,36	2,84	4,17	3,45	0,20
Омский лазурит	3,00	3,71	2,37	3,02	-0,23
Оазис	3,13	3,75	2,39	3,08	-0,17
Памяти Янченко	3,45	2,67	3,84	3,32	0,07
Шукшинка	3,08	3,41	4,14	3,54	0,29
АТП Прима	2,82	4,48	2,33	3,21	-0,04
Лариса янтарная	2,87	2,31	3,57	2,91	-0,34
Средняя	3,11	3,17	3,47	3,25	0,0
НСР ₀₅	0,23	0,27	0,28	-	-
Индекс условий года, т/га	-0,14	-0,08	0,22	0,00	-

Table 2
Yield of spring durum wheat varieties
(Troitskoe industrial complex, predecessor of steam, 2022–2024), t/ha

Name of the variety	Year/HTC			Average	The yield index of the variety, tons per 1 ha
	2022 1,32	2023 1,12	2024 1,71		
Bezenchukskaya stepnaya (st.)	3.03	2.47	4.07	3.20	-0.06
Zhemchuzhina Sibiri	3.27	2.95	4.37	3.53	0.28
Omskiy tsirkon	3.36	2.84	4.17	3.45	0.20
Omskiy lazurit	3.00	3.71	2.37	3.02	-0.23
Oazis	3.13	3.75	2.39	3.08	-0.17
Pamyati Yanchenko	3.45	2.67	3.84	3.32	0.07
Shukshinka	3.08	3.41	4.14	3.54	0.29
ATP Prima	2.82	4.48	2.33	3.21	-0.04
Larisa yantarnaya	2.87	2.31	3.57	2.91	-0.34
Average	3.11	3.17	3.47	3.25	0.0
LCD ₀₅	0.23	0.27	0.28	-	-
Index of the conditions of the year, t/ha	-0.14	-0.08	0.22	0.00	-

Таблица 3
Параметры агроэкологической адаптированности сорта (DAA)
 (%), ранг и степень адаптивности

Название сорта	Составляющие показатели			DAA		Степень адаптированности
	I_p , %	R_p , %	D_p , %	%	Ранг	
Безенчукская степная (ст.)	-1,5	26,8	-39,3	-14,1	6	Средняя
Жемчужина Сибири	8,6	25,8	-32,5	2,0	1	Высокая
Омский циркон	6,5	21,8	-31,9	-3,6	3	Высокая
Омский лазурит	-6,8	20,9	-36,1	-22,0	8	Низкая
Оазис	-4,9	20,3	-36,3	-20,9	7	Низкая
Памяти Янченко	2,2	16,0	-30,5	-12,3	5	Средняя
Шукшинка	8,9	18,5	-25,6	1,8	2	Высокая
АТП Прима	-1,2	39,1	-48,0	-10,1	4	Средняя
Лариса янтарная	-10,2	20,0	-35,3	-25,5	9	Низкая

Примечание. I_p , % – относительный индекс урожайности сорта; R_p , % – степень отзывчивости сорта;
 D_p , % – степень депрессии урожайности сорта; DAA – степень агроэкологической адаптированности сорта.

Table 3
Parameters of agroecological adaptability of the variety (DAA) (%), rank and degree of adaptability

Name of the variety	Component indicators			DAA		Degree of adaptability
	I_p , %	R_p , %	D_p , %	%	Rank	
Bezenchukskaya stepnaya (st.)	-1.5	26.8	-39.3	-14.1	6	Average
Zhemchuzhina Sibiri	8.6	25.8	-32.5	2.0	1	High
Omskiy tsirkon	6.5	21.8	-31.9	-3.6	3	High
Omskiy lazurit	-6.8	20.9	-36.1	-22.0	8	Low
Oazis	-4.9	20.3	-36.3	-20.9	7	Low
Pamyati Yanchenko	2.2	16.0	-30.5	-12.3	5	Average
Shukshinka	8.9	18.5	-25.6	1.8	2	High
ATP Prima	-1.2	39.1	-48.0	-10.1	4	Average
Larisa yantarnaya	-10.2	20.0	-35.3	-25.5	9	Low

Note. I_p , % – the cultivar's relative yield index; R_p , % – the cultivar's responsiveness degree;
 D_p , % – the cultivar's yield depression degree; DAA – the cultivar's agroecological adaptability degree.

Средняя урожайность по годам исследований изменялась от 3,11 до 3,47 т/га. Максимальный индекс урожайности сорта показали сорта Шукшинка и Жемчужина Сибири: 0,29 и 0,28 т с 1 га, или 8,9 % и 8,6 %. Положительный индекс сорта имел сорт Омский циркон: 0,20 т с 1 га, или 6,5 %. Отрицательный индекс урожайности показал сорт Лариса янтарная (-0,34 т с 1 га, или 10,1 %) и Омский лазурит (-0,23 т с 1 га, или 6,8 %). Остальные сорта имели незначительные индексы по данному показателю. Преимущество по индексу «условия года» показал избыточно влажный 2024 год (0,22 т с 1 га, или 6,8 %), наиболее отрицательный индекс года отмечен в 2022 году (-0,14 т с 1 га, или 4,3 %), в 2023 году (-0,08 т с 1 га, или 2,5 %).

Наибольший относительный индекс урожайности сортов Шукшинка ($I_i = 8,9$ %) и Жемчужина Сибири ($I_i = 8,6$ %) также положительный, но значительно меньший индекс у сортов Омский циркон и Памяти Янченко (таблица 3). Следовательно, эти два сорта в анализируемых условиях выше среднего значения опыта. Сорта Лариса янтарная и Омский лазурит уступают среднему значению опыта на 10,2 % и 6,8 % соответственно. Низкие отрицатель-

ные относительные индексы урожайности в изучаемом наборе у сортов Безенчукская степная (-1,5 %), АТП Прима (-1,2 %), Оазис (-4,9 %). Большинство сортов из набора изучаемых находятся в интервале степени депрессивности от 30,5 до 39,3 %.

Параметр отзывчивости R_i сорта показывает адаптивность и пластичность, а также приспособленность к определенным агроэкологическим условиям среды. По степени отзывчивости на благоприятные условия индексы у сортов изменялись от самой высокой (39,1 %) у сорта АТП Прима до самой низкой у сортов Памяти Янченко (16,0 %) и Шукшинка (18,5 %). Сорт АТП Прима при улучшении погодных и агротехнологических условий способен увеличить продуктивность зерна твердой пшеницы относительно средней продуктивности всех сортов на 39,1 %, а сорта Шукшинка и Памяти Янченко – на 18 и 16,0 % соответственно.

К неблагоприятным факторам среды можно отнести степень обеспеченности вегетационного периода атмосферными осадками, проявления абиотического и биотического стресса. Одним из таких показателей стресса может быть депрессия урожайности зерна на неблагоприятные факто-

ры – как отдельные, так и во взаимодействии. По степени депрессии урожайности зерна (D_p , %) твердой пшеницы минимальное значение у сорта Шукшинка (25,6 %), наибольшее – у сорта АТП Прима (48,0 %).

Показатели степени агроэкологической адаптивности (DAA) в исследуемой группе генотипов сортов находятся в интервале значений от 25,5 % до 2,0 %. Наибольшая степень отмечена у сорта Жемчужина Сибири (2,0 %). Для ранжирования по этому показателю используем значения DAA каждого сорта по степени приспособленности к последствиям экстремальных изменений условий среды.

Оценка генотипов было выполнена распределением изучаемых форм на три группы:

- 1 – сорта с высокой степенью адаптированности к условиям среды;
- 2 – со средней степенью;
- 3 – с низкой степенью адаптированности.

Интервал для первой группы начинается с максимално полученного в исследованиях значения (+2,0), следовательно, при делении на три группы каждый интервал будет включать 9,2 единицы. Интервал для первой группы начинается с 2,0, для второй группы – с –7,2, для третьей группы – с –16,4. Выделились в первую группу с высокой степенью агроэкологической адаптивности сорта твердой пшеницы Жемчужина Сибири, Шукшинка и Омский циркон; во вторую группу со средней степенью адаптивности – Безенчукская степная, Памяти Янченко и АТП Прима. Самая низкая степень агроэкологической адаптивности установлена у сортов из изучаемого набора Омский лазурит, Оазис и Лариса янтарная.

Оценка параметров агроэкологической адаптированности сортов в контрастных условиях среды позволила выявить сорта твердой пшеницы с высокой степенью адаптированности.

Таблица 4
Результаты экологического испытания сортов яровой твердой пшеницы ОП «Троицкое», паровой предшественник, среднее за 2022–2024 гг.

Название сорта	Урожай зерна, т/га	Стекловидность, %	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Содержание белка в зерне, %	Клейковина	
						Содержание, %	Группа ИДК
Безенчукская степная (ст.)	3,19	74	44,6	772	14,87	27,47	92-II
Жемчужина Сибири	3,53	70	40,2	782	15,11	28,27	104-III
Омский циркон	3,46	71	43,4	770	13,59	27,83	104-III
Омский лазурит	3,03	75	37,6	790	12,42	23,29	93-II
Оазис	3,09	75	44,3	773	13,86	26,37	99 II
Памяти Янченко	3,32	77	43,1	776	14,28	27,87	95-II
Шукшинка	3,54	77	42,2	782	15,35	29,10	90-II
АТП Прима	3,21	75	38,8	767	14,36	26,14	95-II
Лариса янтарная	2,92	78	42,3	771	17,40	34,50	99-II

Table 4
Results of ecological testing of spring durum wheat varieties of the Troitskoe plant, steam predecessor, average 2022–2024

Name of the variety	Grain yield, t/ha	Glassiness, %	Weight of 1000 grains, g	Grain size, g/l	Protein content in grain, %	Gluten	
						Content, %	IDK group
Bezenchukskaya stepnaya (st.)	3.19	74	44.6	772	14.87	27.47	92-II
Zhemchuzhina Sibiri	3.53	70	40.2	782	15.11	28.27	104-III
Omskiy tsirkon	3.46	71	43.4	770	13.59	27.83	104-III
Omskiy lazurit	3.03	75	37.6	790	12.42	23.29	93-II
Oazis	3.09	75	44.3	773	13.86	26.37	99 II
Pamyati Yanchenko	3.32	77	43.1	776	14.28	27.87	95-II
Shukshinka	3.54	77	42.2	782	15.35	29.10	90-II
ATP Prima	3.21	75	38.8	767	14.36	26.14	95-II
Larisa yantarnaya	2.92	78	42.3	771	17.40	34.50	99-II

При создании новых сортов селекционеры, каким бы урожайным ни был сорт, стремятся к получению зерна твердой пшеницы с высоким качеством. В этой связи при экологических испытаниях проводится оценка качества зерна изучаемых сортов твердой пшеницы (таблица 4).

Из набора изучаемых сортов по максимальной агроэкологической адаптивности выделились сорта Шукшинка, Жемчужина Сибири, Омский циркон. Однако сорт твердой пшеницы Лариса янтарная селекции ФГБНУ «Челябинский НИИСХ», уступая по урожайности 0,6 т/га, имеет большое преимущество по стекловидности, содержанию белка и клейковины. Следовательно, при подборе исходного селекционного материала и отбора сортов можно учитывать положительные и отрицательные факторы на этапе конкурсного испытания.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В связи с изменяющимися климатическими условиями производство зерна требует более тщательного подхода к решению проблемы продовольственной безопасности нашей страны. Сельхозпроизводителям приходится корректировать агротехнологии возделывания культур с учетом резких

колебаний температур и выпадения осадков. Выведение новых сортов и увеличение площадей под сортами, устойчивыми к экстремальным условиям среды, способствует стабильному производству зерна твердой пшеницы. Агроэкологическая оценка сортов твердой пшеницы оптимизирует структуру сортовых посевов, дает объективную информацию о потенциальной продуктивности и адаптивности к микроклимату и почвенным условиям территории.

Метеоусловия в годы проведения исследований по экологической оценке сортов твердой пшеницы отличались по количеству выпавших атмосферных осадков, по фазам вегетации культуры, по температурному режиму в период вегетации.

Урожайность твердой пшеницы изменялась от 4,48 до 2,31 т/га, что дает основание говорить об экстремальных условиях в период вегетации в зоне возделывания.

По результатам исследований выявлены сорта твердой пшеницы с высокой степенью адаптированности Шукшинка, Жемчужина Сибири, Омский циркон, которые в дальнейшем могут быть использованы в селекции в качестве источников, приспособленных к условиям Уральского региона.

Библиографический список

1. Бесалиев И. Н. Экологическая оценка сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в зоне южных черноземов Оренбургского Предуралья // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1576–1585. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-12-1576-1585.
2. Бесалиев И. Н., Мироненко С. И. Урожайность и качество зерна яровой твердой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 324–336. DOI: 10.33284/2658-3135-107-4-324.
3. Скороходов В. Ю., Зоров А. А., Максюттов Н. А. [и др.] Возделывание яровой твердой пшеницы в условиях неустойчивого увлажнения Оренбургского Предуралья // Земледелие. 2022. № 1. С. 19–22. DOI: 10.24412/00443913-2022-1-19-22.
4. Горянин О. И., Щербинина Е. В., Джангабаев Б. Ж. Оптимизация сортовых технологий яровой твердой пшеницы в черноземной степи Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 3. С. 10–15. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_10.
5. Скороходов В. Ю., Кафтан Ю. В., Митрофанов Д. В., Максюттов Н. А. Влияние биологических факторов на продуктивность твердой пшеницы в условиях степной зоны Южного Урала // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 3. С. 239–249. DOI: 10.33284/2658-3135-106-3-239.
6. Мальчиков П. Н., Мясникова М. Г., Чахеева Т. В. Качество клейковины сортов твердой пшеницы сарматской селекции и сортов из Италии и Австралии // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 9. С. 25–30. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_9_25.
7. Koga S., Aamot H. U., Uhlen A. K., et al. Environmental factors associated with glutenin polymer assembly during grain maturation // Journal of Cereal Science. 2019. Vol. 91. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102865.
8. Gagliardi A., Carucci F., Masci S., et al. Effects of genotype, growing season and nitrogen level on gluten protein assembly of durum wheat grown under Mediterranean conditions // Agronomy. 2020. Vol. 10, No. 5. Pp. 755–766. DOI: 10.3390/agronomy10050755.
9. Мальчиков П. Н., Чахеева Т. В., Мясникова М. Г. Исходный материал яровой твердой пшеницы для селекции сортов устойчивых к патогенам, вызывающим почернение зародыша зерна // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 5. С. 13–18. DOI: 10.31857/S2500262722050039.
10. Коробкова В. А., Беспалова Л. А., Яновский А. С. [и др.] Скрининг коллекции яровой и озимой твердой пшеницы с помощью KASP-маркера на аллельное состояние гена Zds // Кормопроизводство. 2023. № 4. С. 25–31. DOI: 10.25685/krm.2023.4.2023.004.
11. Налетов И. В., Заяц В. С. Активность различных форм белка мутантных образцов яровой пшеницы твердой *Triticum durum* Desf. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3. С. 139–141.

12. Жиганова Е. С., Гапонов С. Н., Садыгова М. К. [и др.] Исследование оптимального соотношения мягкой и твердой пшеницы в рецептуре макаронных изделий // *Хлебопродукты*. 2024. № 4. С. 42–48. DOI: 10.32462/0235-2508-2024-33-4-42-48.
13. Новикова А. А., Пустовалова А. А., Емельянова А. А. [и др.] Результаты исследования свойств стабильности и пластичности твердых сортов пшеницы Оренбургской области // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105, № 4. С. 246–257. DOI: 10.33284/2658-3135-105-4-246.
14. Гречишкина О. С., Хутамбирдина Р. Д., Мордвинцев М. П. Величина и структура урожая зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях засухи разного типа // *Животноводство и кормопроизводство*. 2021. Т. 104, № 4. С. 217–232. DOI: 10.33284/2658-3135-104-4-217.
15. Мухитов Л. А., Тимошенкова Т. А. Сорта яровой твердой пшеницы, адаптированные к условиям степи Уральского региона // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021. № 3 (89). С. 15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19.
16. Li L., Wang B., Fang P., Liu D. L., Qinsi H., et al. Developing machine learning models with multi-source environmental data to predict wheat yield in China // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 194. Article number 106790. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106790.
17. Cai Y., Guan K., Lobell D., Potgieter A. B., et al. Integrating satellite and climate data to predict wheat yield in Australia using machine-learning approaches // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019. Vol. 274. Pp. 144–159. DOI: 10.1016/j.agrformet. 2019.03.010.
18. Feng P., Wang B., Liu D L., Waters C., et al. Dynamic wheat yield forecasts are improved by a hybrid approach using a biophysical model and machine learning technique // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2020. Vol. 285–286. Article number 107922. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.107922.
19. Nan Gu, Zhang J., Wang G., Liu C., Wang Z., Lü H. An atmospheric and soil thermal-based wheat crop coefficient method using additive crop growth models *Agricultural Water Management*. 2022. Vol. 269. Article number 107691. DOI: 10.1016/j.agwat.2022.107691.
20. Кинчаров А. И., Демина Е. А., Кинчарова М. Н. [и др.] Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. Т. 183, № 4. С. 39–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47.
21. Прядун Ю. П., Совков Н. Н., Лопухов П. М. [и др.] Оценка коллекции твердой пшеницы в экологическом испытании // *Вопросы степеведения*. 2022. № 4. С. 118–126. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-4-118-126.

Об авторах:

Юрий Петрович Прядун, кандидат сельскохозяйственных наук, и. о. заведующего лабораторией селекции ячменя, Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, п. Тимирязевский, Челябинская область, Россия; ORCID 0000-0003-3623-1110, AuthorID 966322. E-mail: yuriy.pryadun@mail.ru

Наталья Леонидовна Назаренко, младший научный сотрудник, лаборатории селекции ячменя, Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, п. Тимирязевский, Челябинская область, Россия; ORCID 0009-0003-6498-4774 E-mail: chniisx2@mail.ru

Любовь Петровна Шаталина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, п. Тимирязевский, Челябинская область, Россия; ORCID 0000-0002-8651-5288, AuthorID 618148. E-mail: lubashatalina@mail.ru

References

1. Besaliev I. N. Ecological assessment of spring soft and durum wheat varieties in the zone of southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1576–1585. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-12-1576-1585. (In Russ.)
2. Besaliev I. N., Mironenko S. I. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024; 107 (4): 324–336. DOI: 10.33284/2658-3135-107-4-324. (In Russ.)
3. Skorokhodov V. Yu., Zorov A. A., Maksyutov N. A., et al. Cultivation of spring durum wheat under conditions of unstable moistening of the Orenburg region. *Agriculture*. 2022; 1: 19–22. DOI: 10.24412/00443913-2022-1-19-22. (In Russ.)
4. Goryanin O. I., Shcherbinina E. V., Dzhangabaev B. Zh. Optimization of varietal technologies of spring durum wheat in the chernozem steppe of the Volga region. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2023; 37 (3): 10–15. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_3_10. (In Russ.)
5. Skorokhodov V. Yu., Kaftan Yu. V., Mitrofanov D. V., Maksyutov N. A. The influence of biological factors on the productivity of durum wheat in the conditions of the steppe zone of the Southern Urals. *Animal Husbandry and Feed Production*. 2023; 106 (3): 239–249. DOI: 10.33284/2658-3135-106-3-239. (In Russ.)

6. Mal'chikov P. N., Myasnikova M. G., Chakheeva T. V. Gluten quality in durum wheat varieties bred in the Samara region and varieties from Italy and Australia. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021; 35 (9): 25–30. DOI: 10.53859/02352451_2021_35_9_25. (In Russ.)
7. Koga S., Aamot H. U., Uhlen A. K., et al. Environmental factors associated with glutenin polymer assembly during grain maturation. *Journal of Cereal Science*. 2019; 91. DOI: 10.1016/j.jcs.2019.102865.
8. Gagliardi A., Carucci F., Masci S., et al. Effects of genotype, growing season and nitrogen level on gluten protein assembly of durum wheat grown under mediterranean conditions. *Agronomy*. 2020; 10 (5): 755–766. DOI: 10.3390/agronomy10050755.
9. Mal'chikov P. N., Chakheeva T. V., Myasnikova M. G. Source material of spring durum wheat for breeding varieties resistant to pathogens that cause blackening of the grain germ. *Russian Agricultural Science*. 2022; 5: 13–18. DOI: 10.31857/S2500262722050039. (In Russ.)
10. Korobkova V. A., Beshpalova L. A., Yanovskiy A. S., et al. Screening the collection of spring and winter durum wheat using KASP-marker specific to the Zds alleles. *Forage Production*. 2023; 4: 25–31. DOI: 10.25685/krm.2023.4.2023.004. (In Russ.)
11. Naletov I. V., Zayats V. S. Activity of various forms of protein in mutant samples of durum spring wheat *Triticum durum* desf. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2023; 3: 139–141. (In Russ.)
12. Zhiganova E. S., Gaponov S. N., Sadygova M. K., et al. Investigation of the optimal ratio of aestivum and durum wheat in the pasta recipe. *Bread Products*. 2024; 4: 42–48. DOI: 10.32462/0235-2508-2024-33-4-42-48. (In Russ.)
13. Novikova A. A., Pustovalova A. A., Emelyanova A. A., et al. The results of the properties test of stability and plasticity in durum wheat of Orenburg region. *Animal Husbandry and Feed Production*. 2022; 105 (4): 246–257. DOI: 10.33284/2658-3135-105-4-246. (In Russ.)
14. Grechishkina O. S., Khutambirdina R. D., Mordvintsev M. P. Amount and structure of grain yield of spring soft wheat varieties in various types of drought conditions. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021; 104 (4): 217–232. DOI: 10.33284/2658-3135-104-4-217. (In Russ.)
15. Mukhitov L. A., Timoshenkova T. A. Varieties of spring durum wheat adapted to the conditions of the steppe of the Ural region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 3 (89): 15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19. (In Russ.)
16. Li L., Wang B., Fang P., Liu D. L., Qinsi H., et al. Developing machine learning models with multi-source environmental data to predict wheat yield in China. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022; 194: 106790. DOI: 10.1016/j.compag.2022.106790.
17. Cai Y., Guan K., Lobell D., Potgieter A. B., et al. Integrating satellite and climate data to predict wheat yield in Australia using machine-learning approaches. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019; 274: 144–159. DOI: 10.1016/j.agrformet.2019.03.010.
18. Feng P., Wang B., Liu D. L., Waters C. et al. Dynamic wheat yield forecasts are improved by a hybrid approach using a biophysical model and machine learning technique. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2020; 285-286: 107922. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.107922.
19. Nan Gu, Zhang J., Wang G., Liu C., Wang Z., Lü H. An atmospheric and soil thermal-based wheat crop coefficient method using additive crop growth models *Agricultural Water Management*. 2022; 269: 107691. DOI: 10.1016/j.agwat.2022.107691.
20. Kincharov A. I., Demina E. A., Kincharova M. N., et al. Methodology for assessing the agroecological adaptability of genotypes under global climate warming *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022; 183 (4): 39–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47. (In Russ.)
21. Pryadun Yu. P., Sovkov N. N., Lopukhov P. M., et al. An estimation of the durum wheat collection in ecological testing. *Questions of Steppe Studies*. 2022; 4: 118–126. DOI: 10.24412/2712-8628-2022-4-118-126. (In Russ.)

Authors' information:

Yuriy P. Pryadun, candidate of agricultural sciences, deputy director for innovation, head of the laboratory of barley breeding, Chelyabinsk Scientific Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy settlement, Chelyabinsk region, Russia; ORCID 0000-0003-3623-1110, AuthorID 966322. *E-mail*: yuriy.pryadun@mail.ru

Natalya L. Nazarenko, junior researcher, laboratory of barley breeding, Chelyabinsk Scientific Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy settlement, Chelyabinsk region, Russia; ORCID 0009-0003-6498-4774, *E-mail*: chniisx2@mail.ru

Lyubov P. Shatalina, candidate of agricultural sciences, senior researcher, Federal Chelyabinsk Scientific Research Institute of Agriculture, Timiryazevskiy settlement, Chelyabinsk region, Russia; ORCID 0000-0002-8651-5288, AuthorID 618148. *E-mail*: lubashatalina@mail.ru

Реакция клубеньковых бактерий на условия засоления почв и буровых шламов

Л. Н. Скипин¹, Е. В. Захарова¹✉, С. С. Тарасова¹, Е. П. Евтушкова²

¹Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

²Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

✉E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru

Аннотация. Территории Западной Сибири подвержены как природному, так и техногенному засолению почв. Проведение биологического этапа рекультивации на засоленных почвах с использованием бобовых культур – фитомелиорантов позволит снизить применение азотных удобрений с последующей фиксацией биологического азота клубеньковыми бактериями. **Цель** исследования – выявить оптимальные и критические уровни природного и техногенного химизма засоления, влияющие на жизнедеятельность клубеньковых бактерий донника и люцерны в засоленных питательных средах. **Методы.** Исследования проводились в модельных лабораторных опытах, где химизмы и степень засоления формировались в соответствии с нейтральным, сульфатно-содовым и хлоридно-сульфатным с гипсом. Степень засоления бобового агара создавалась от незасоленного уровня до солончака. По каждому варианту проводился подсчет количества колоний и определялись культуральные признаки. **Научная новизна.** Впервые были определены параметры жизнедеятельности клубеньковых бактерий в засоленных питательных средах, характерных по химизму и степени засоления для солонцов Западной Сибири. Установлено влияние мелиоранта-каогулянта на активность ризобий. **Результаты.** Модельные опыты позволили установить, что в условиях природного и техногенного засоления с нейтральным и сульфатно-содовым химизмом клубеньковые бактерии испытывают острую потребность в кальции, это позволяет снизить показатели ($СД_{50}$ и $СД_{99}$) для ризобий. Внешение гипса в качестве мелиоранта на солонцах и буровых шламах позволяет устранить дефицит кальция в условиях засоления, снизить солонцеватость и токсичность для бобовых культур-фитомелиорантов, а также улучшить физические свойства данных объектов, в частности водопроницаемость, пористость, аэрацию, структурность и другие показатели. Указанный мелиоративный прием должен быть обязательным как для рекультивации солонцов, так и для шламовых амбаров.

Ключевые слова: клубеньковые бактерии, химизм, степень засоления, бобовый агар, осмотическое давление, реакция среды, фитомелиоранты

Для цитирования: Скипин Л. Н., Захарова Е. В., Тарасова С. С., Евтушкова Е. П. Реакция клубеньковых бактерий на условия засоления почв и буровых шламов // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 278–288. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-278-288>.

Дата поступления статьи: 22.03.2025, **дата рецензирования:** 13.07.2025, **дата принятия:** 10.10.2025.

The reaction of nodule bacteria to the salinization conditions of soils and drilling mud

L. N. Skipin¹, E. V. Zakharova¹, S. S. Tarasova^{1✉}, E. P. Evtushkova²

¹Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

²State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia

✉E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru

Abstract. The territories of Western Siberia are subject to both natural and anthropogenic salinization of soils. The implementation of the biological stage of reclamation on saline soils using legume crops as phytomeliors will reduce the use of nitrogen fertilizers, followed by the fixation of biological nitrogen by nodule bacteria. **The purpose** of the study is to identify the optimal and critical levels of natural and technogenic salinity chemistry that affect the vital activity of nodule bacteria in sweet clover and alfalfa in saline nutrient media. **Methods.** The studies were conducted in model laboratory experiments, where the chemisms and degree of salinity were formed according to neutral, sulfate-soda, and chloride-sulfate with gypsum. The degree of salinity of the bean agar was created from an unsalinated level to a salt marsh. For each variant, the number of colonies was counted and cultural characteristics were determined. **Scientific novelty.** For the first time, the parameters of nodule bacteria's vital activity in saline nutrient media, which are characteristic in terms of chemistry and degree of salinity for the saline soils of Western Siberia, have been determined. The influence of the reclamation agent-coagulant on the activity of rhizobia has been established. **Results.** Model experiments have shown that nodule bacteria have an acute need for calcium in conditions of natural and man-made salinization with neutral and sulfate-soda chemistry, which reduces the indicators (LD_{50} and LD_{99}) for rhizobia. The application of gypsum as a reclamation agent on saline soils and drilling sludge allows to eliminate the calcium deficiency in the conditions of salinization, to reduce the salinity and toxicity for legume crops-phytomeliors, and also to improve the physical properties of these objects, in particular, water permeability, porosity, aeration, structure and other indicators. The specified reclamation technique should be mandatory both for the reclamation of saline soils and for sludge ambar.

For citation: Skipin L. N., Zakharova E. V., Tarasova S. S., Evtushkova E. P. The reaction of nodule bacteria to the salinization conditions of soils and drilling mud. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 278–288. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-278-288>. (In Russ.)

Date of paper submission: 22.03.2025, **date of review:** 13.07.2025, **date of acceptance:** 10.10.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Сложности рекультивации засоленных почв и буровых шламов вызваны крайне отрицательными их свойствами, а также климатическими условиями. Большое значение имеет использование на биологическом этапе рекультивации перспективных компонентов в составе травосмеси [1]. Наиболее перспективны в этом отношении травы из семейства бобовых, к которым относятся люцерна посевная и донник желтый. Они достаточно морозостойчивы и солеустойчивы, при этом способны усваивать биологический азот за счет симбиоза с клубеньковыми бактериями. Это приводит к снижению энергозатрат до 35 %. Засоленные почвы и буровые шламы обладают разным химизмом и степенью засоления. В настоящее время параметры жизнедеятельности клубеньковых бактерий в засоленных средах очень мало изучены. Не выявлена сравнительная реакция клубеньковых бактерий на нейтральный, сульфатно-содовый и хлоридно-сульфатный с гипсом химизмы засоления, не установлены оптимальные режимы засоления, половинная (CD_{50}) и полная их гибель (CD_{99}) [2; 3].

Не установлены также параметры pH среды, осмотического давления и токсичности ионов, соответствующих CD_{50} и CD_{99} . Рабочая гипотеза предполагает установление указанных параметров для повышения активности симбиоза с использованием наиболее солеустойчивых штаммов клубеньковых бактерий культур-фитомелиорантов. На средах с полной гибелью ризобий должны быть предусмотрены нейтрализация и рассоление с применением коагулянтов-мелиорантов [4; 5].

При показателе CD_{50} восстановление численности штаммов клубеньковых бактерий можно увеличить обработкой семян культур-фитомелиорантов ризоторфином с повышенным титром. При полной гибели ризобий буровые шламы и солонцовые почвы подлежат обязательной химической мелиорации. В качестве мелиоранта могут использоваться гипс, фосфогипс, карналит, сернокислое железо и алюминий [6; 7].

В процессе производства одной тонны азотных удобрений необходимо на предприятии израсходовать тонну горючего. Применение азотных удобрений в процессе фитомелиорации при освоении

и рекультивации буровых шламов и территорий засоленных почв является обязательным условием. Участие бобовых растений способно вступать в симбиоз с клубеньковыми бактериями и решать данную проблему.

Бобовые культуры-фитомелиораторы способны обеспечивать себя азотом и накапливать его в почве в форме экологически безопасных соединений. Внесение в качестве удобрения ризоторфина способствует как снижению загрязнения окружающей среды, так и экономии материальных ресурсов предприятия.

Использование на засоленных почвах многолетних бобовых трав является весьма актуальным для территорий Западной Сибири, где почвы наименее обеспечены азотом. Такую технологию можно использовать при проведении рекультивации буровых шламов и солонцов [10; 11].

Недостаток азотного питания на исследуемых почвах связан с отсутствием азотобактера и очень низкой концентрацией нитрифицирующих бактерий в верхних слоях почвы. При этом в солонцовых и подсолонцовых горизонтах нитрификаторы способны практически полностью отсутствовать. Учитывая данные особенности, ряд ученых отдает предпочтение в решении данного вопроса клубеньковым бактериям [12].

В современных условиях жизнедеятельность ризобий в условиях засоления очень мало изучена в сравнении с другими группами микроорганизмов. В настоящее время факторы среды, определяющие активность симбиоза, изучены в большей степени для условий зональных почв. При этом огромные площади сенокосов и пастбищ на солонцах требуют своевременного залужения с максимальным насыщением в травосмеси бобовыми солеустойчивыми и солонцеустойчивыми компонентами. Важно отметить, что в условиях Западной Сибири увеличиваются площади буровых амбаров, которые также требуют обязательной рекультивации с использованием культур-фитомелиорантов [13; 14].

На необходимость проведения работ по повышению активности биологической азотфиксации направлены труды ряда современных ученых [7; 11; 12; 14].

Методология и методы исследования (Methods)

Изучение жизнедеятельности клубеньковых бактерий при воздействии на них разных по качественному и количественному составу солей проводилось в лабораторных условиях с использованием питательных сред в чашках Петри. Исходный материал клубеньковых бактерий донника и люцерны использовался из ризоторфина (штаммы 282 и 4236) с последующим пятикратным разведением до одинакового титра по каждой культуре. Питательная смесь представлена бобовым агаром, который готовится в следующей последовательности: навеска

гороха 50 г заливается водопроводной водой в объеме 1 л с последующим добавлением навески сахарозы (10 г), 20 г агара и 0,5 г K_2PO_4 . К исходной питательной смеси добавляются легкорастворимые соли (Na_2SO_4 , NaCl, $NaHCO_3$, Na_2CO_3 , $MgSO_4$) в соответствующих грациях согласно схеме опытов. Приготовленные среды с учетом каждого химизма стерилизуют в автоклаве при 120 °С. Посев клубеньковых бактерий проводился в чашках Петри на агаровой питательной среде с последующей выдержкой ее в термостате. В случае появления колоний на питательной среде проводится их дальнейший подсчет с описанием культуральных особенностей.

В питательной смеси на бобовом агаре нами создавались модельные варианты согласно химизму и концентрации солей. Численность появившихся колоний на вариантах с разным количественным и качественным составом солей, характерных для засоленных почв и буровых шламов, позволила установить ограничивающие факторы жизнестойкости клубеньковых бактерий люцерны и донника. Результаты исследований обрабатывались методом пробит- и корреляционного анализа.

Результаты (Results)

Установлено, что солонцы нейтрального сульфатно-хлоридного типа засоления характерны для условий южной лесостепи Западной Сибири [15]. Создание модельных вариантов данного химизма с разной концентрацией солей бобового агара в чашках Петри показало, что полная гибель (CD_{99}) клубеньковых бактерий донника и люцерны здесь проявлялась при концентрации солей близкой к 1,4 %, а половинная гибель (CD_{50}) ризобий данных культур отмечалась на рис. 1 в пределах 0,6–0,9 %.

Реакция среды при показателе (CD_{99}) соответствовала $pH = 9,0$, а при (CD_{50}) она находилась в пределах 7,0–8,1. Величина осмотического давления при заданных уровнях полной и половинной гибели ризобий составила 9,4 и 4,0–5,4 атм соответственно.

Так как различные ионы обладают разной степенью токсичности, суммарный эффект токсичных ионов рекомендуется выражать в эквивалентах хлора. При этом эквивалент Cl принимается за единицу, а эквивалент SO_4 соответствует 5–6. В наших исследованиях по отношению к клубеньковым бактериям токсичность Cl в сравнении с сульфатно-хлоридным засолением была ниже, при этом данный эквивалент можно представить как 1 : 1,4. Полученный результат свидетельствует об ослаблении токсичности сульфатов в составе сульфатно-хлоридного засоления.

Исследование реакции клубеньковых бактерий на степень засоления данного химизма показало, что она была отрицательной. При этом коэффициент корреляции для люцерны и донника соста-

вил $-0,95$ и $-0,98$ соответственно. Коэффициент детерминации (R^2) указывает, что жизнедеятельность клубеньковых бактерий данных культур на 91–98 % зависит от концентрации солевого состава. Величина этого показателя свидетельствует о модели хорошего качества.

Основные площади солонцов сульфатно-содового засоления приурочены к территории северной лесостепи Западной Сибири. Наличие соды в составе солей придает данным почвам щелочности и усиливает отрицательные химические, а также физические свойства. Это явление крайне неблагоприятно сказывается на жизнедеятельности клубеньковых бактерий.

Исследования показали, что полная гибель ($СД_{99}$) ризобий люцерны и донника в солевых средах с бобовым агаром наступала при концентрации $0,5-0,8$ % (рис. 2). Этому уровню засоления соответствует $pH = 9,4...9,6$, осмотическое давление здесь варьирует в пределах $2,3-4,5$ атм.

Сравнение токсического уровня засоления при нейтральном и сульфатно-содовом химизме свидетельствует о том, что присутствие соды определяет высокий уровень pH при относительно низком осмотическом давлении (в 2 раза ниже, чем при нейтральном химизме).

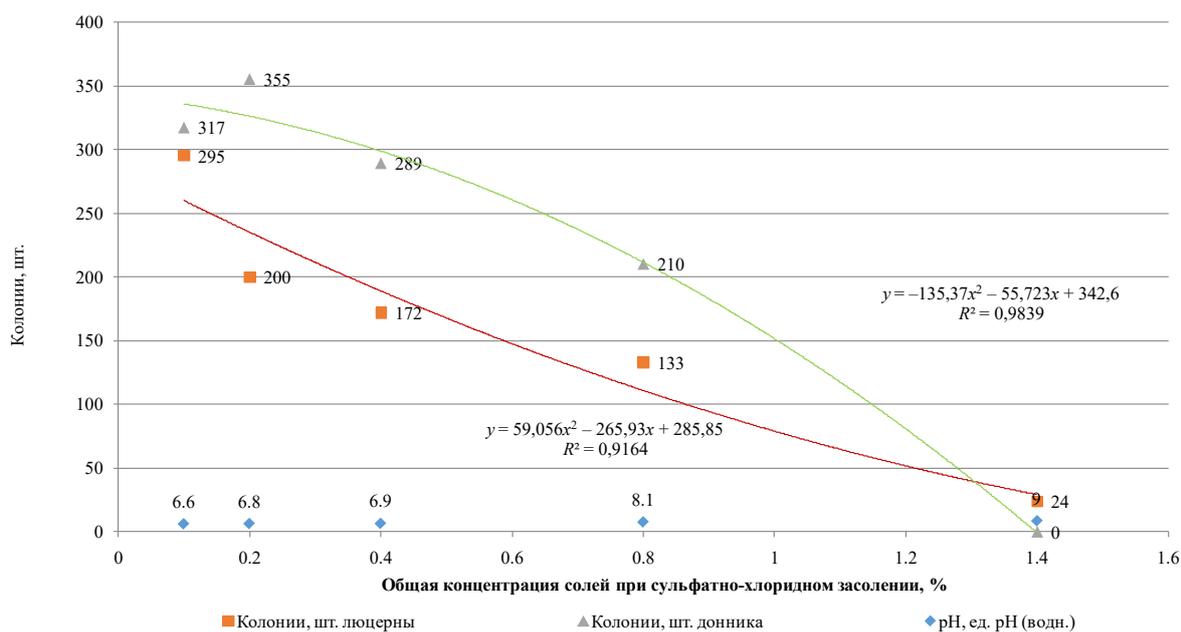


Рис. 1. Реакция клубеньковых бактерий донника и люцерны на сульфатно-хлоридный химизм засоления

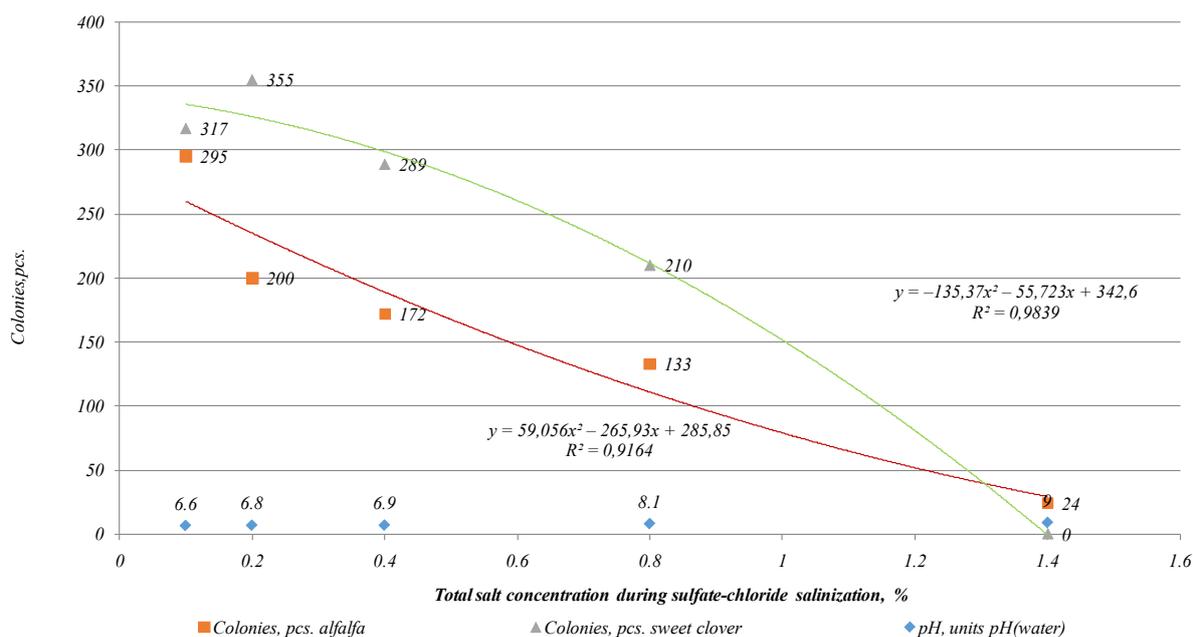


Fig. 1. Reaction of nodule bacteria of sweet clover and alfalfa to sulfate-chloride chemistry of salinization

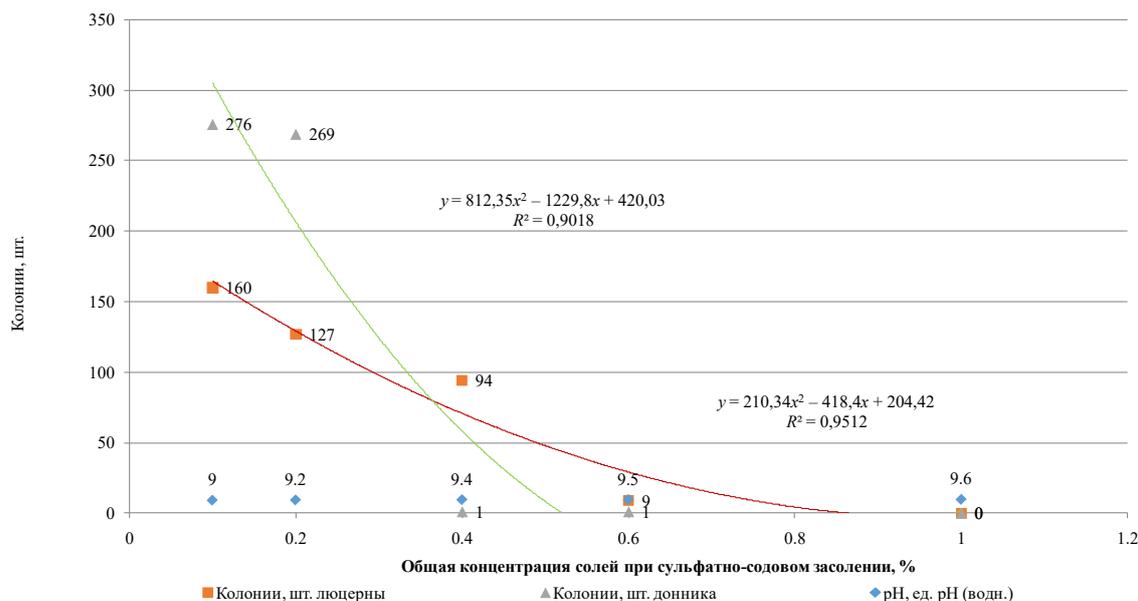


Рис. 2. Влияние сульфатно-содового засоления на численность клубеньковых бактерий донника и люцерны

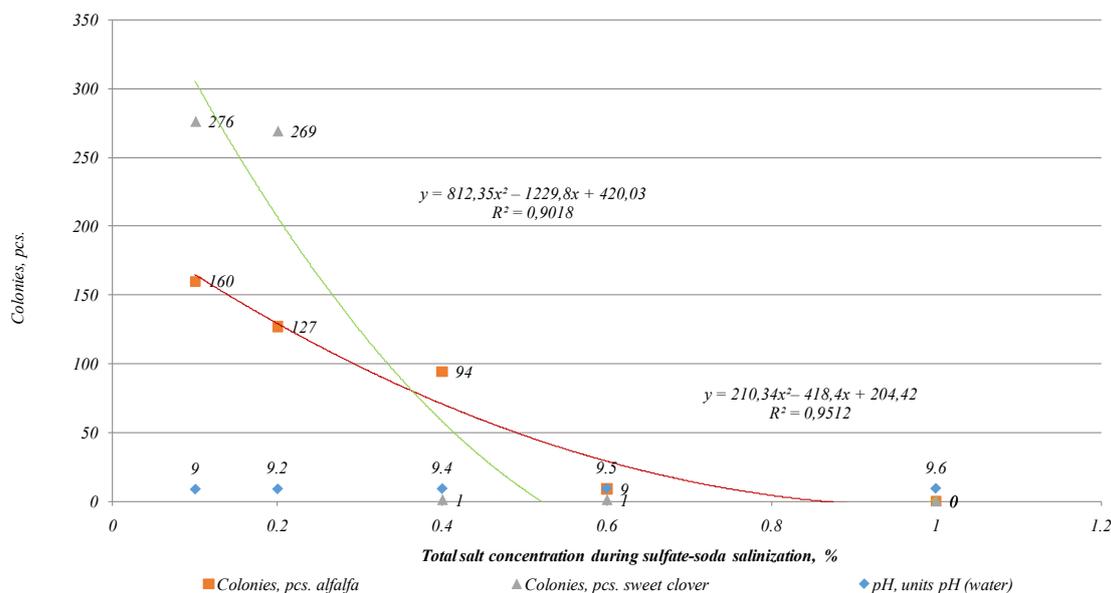


Fig. 2. Effect of sulfate-soda salinization on the abundance of nodule bacteria of sweet clover and alfalfa

Для корковых луговых солонцов сульфатно-содового засоления указанная щелочность является характерной особенностью. При таких условиях не следует ожидать активного симбиоза – напротив, здесь проявляется полное отсутствие ризобий. В естественных условиях на таких солонцах бобовый компонент в составе травостоя полностью отсутствует [16–18].

Половинная гибель (CD_{50}) колоний клубеньковых бактерий донника и люцерны на засоленных средах с участием соды наступает при 0,3–0,4 %. Этой степени сульфатно-содового засоления соответствуют $pH = 9,3$ и осмотическое давление близкое к 1,7 атм. Данный уровень засоления сохраняет высокую щелочность, при близком уровне залегания грунтовых вод этот показатель может посто-

янно усиливаться в течение летнего периода. Принимая за единицу эквивалент токсичности хлора, соотношение его к сульфатно-содовому засолению следует представить как 1 : 0,3. Оно свидетельствует о том, что полная гибель колоний клубеньковых бактерий при сульфатно-содовом засолении наступает при концентрации в 3 раза меньшей, чем при хлоридном химизме.

Степень влияния концентрации солей сульфатно-содового засоления на численность колоний ризобий сильная ($R = -0,8...-0,9$) и близкая к функциональной. Коэффициент детерминации ($R^2 = 0,90...0,95$) показывает, что жизнедеятельность клубеньковых бактерий на 90–95 % зависит от данного химизма и степени засоления. Значение R^2 указывает на модель хорошего качества.

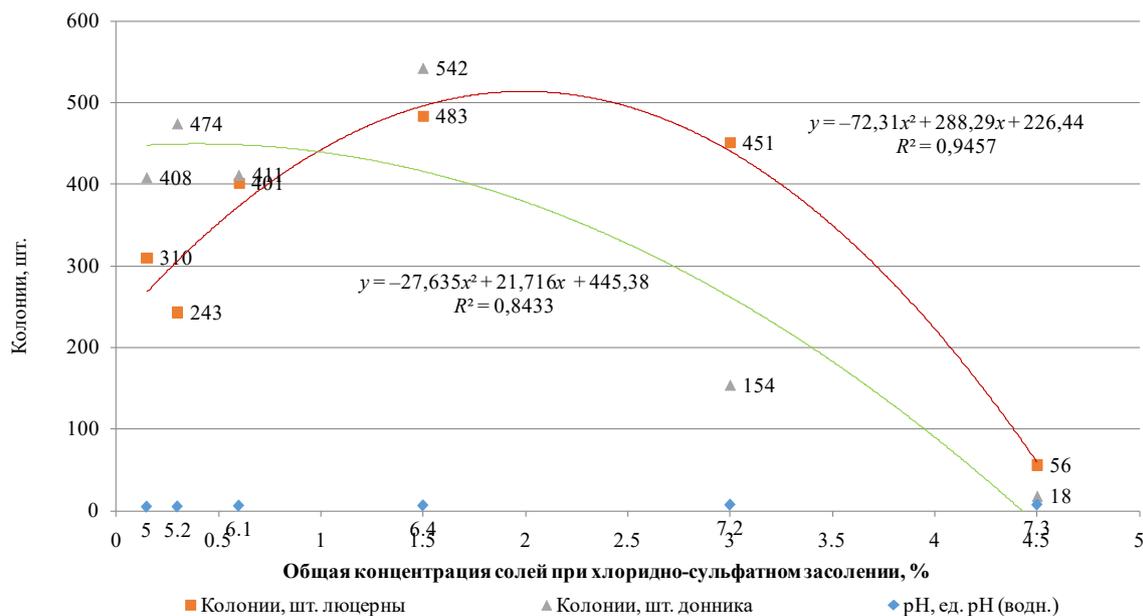


Рис. 3. Влияние хлоридно-сульфатного засоления на жизнедеятельность колоний клубеньковых бактерий донника и люцерны

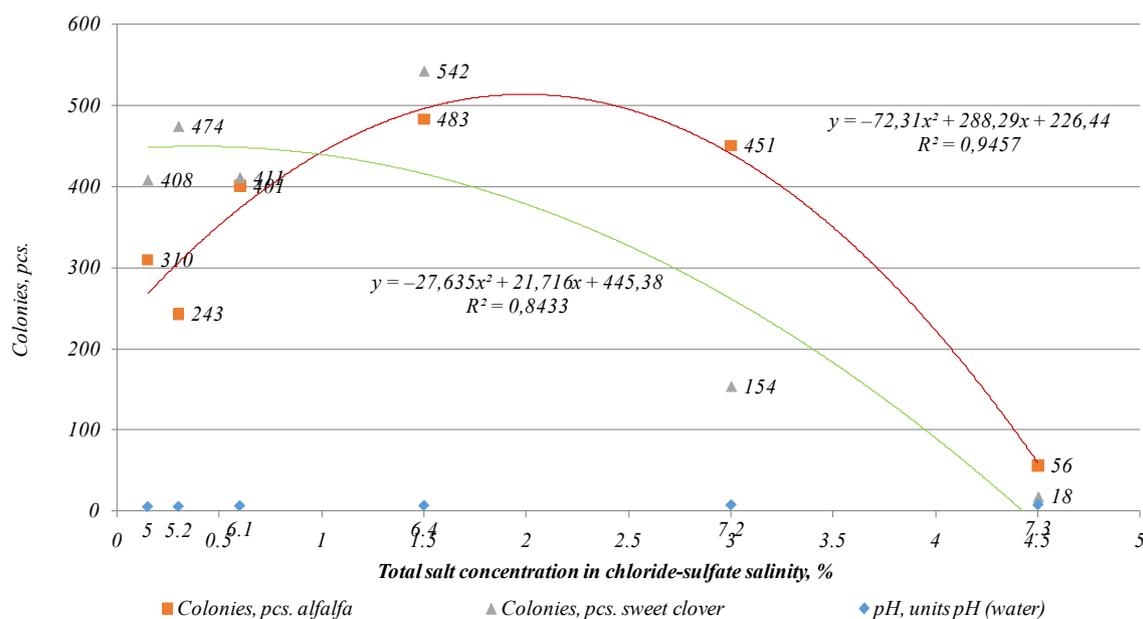


Fig. 3. The effect of chloride-sulfate salinization on the vital activity of colonies of nodule bacteria of sweet clover and alfalfa

Присутствие гипса в составе легкорастворимых солей на солонцовых почвах Западной Сибири практически исключено, это явление характерно и для буровых шламов. Хлоридно-сульфатное засоление с гипсом, как правило, является результатом химической мелиорации, где в качестве мелиоранта используется природный гипс или фосфогипс – отход химического производства фосфорной кислоты или фосфорных удобрений.

Посев клубеньковых бактерий донника и люцерны на питательные смеси бобового агара с разной концентрацией солей данного химизма (рис. 3) показал, что полная гибель колоний наступала при концентрации 4,5–4,7 %.

Такому критическому уровню соответствует $pH = 7,3$ и осмотическое давление 24,8 атм. Из этого следует, что основной причиной гибели колоний ризобий является не реакция среды, а высокое осмотическое давление. При сравнении с критическими природными уровнями и химизмами засоления видно, что присутствие кальция гипса даже в небольших количествах позволяет снизить токсичность состава солей в 5,6–9,4 раза относительно сульфатно-содового засоления и в 3,2–3,4 раза в сравнении с сульфатно-хлоридным (нейтральным) типом засоления. Это свидетельствует о необходимости обязательного гипсования при использовании бобового компонента в качестве культур-фи-

томелиорантов, особенно на солонцах с участием соды в составе солей. Важно отметить, что каустическая или кальцинированная сода является обязательным компонентом в составе бурового раствора, ее присутствие облегчает процесс бурения. Проведенные опыты показывают, что концентрация солей до 2 % при наличии гипса может быть оптимальной для жизнедеятельности клубеньковых бактерий данных культур.

Показатель концентрации половинной гибели ($СД_{50}$) колоний клубеньковых бактерий донника и люцерны при хлоридно-сульфатном с гипсом засолении соответствовал уровню 3,3–3,8 %. Реакция питательной среды бобового агара соответствовала 7,2–7,3, а осмотическое давление – 16,5–20,7 атм. Это свидетельствует о том, что переход от показателя $СД_{50}$ до $СД_{99}$ происходит при незначительном увеличении концентрации солей при всех химизмах засоления. Коэффициент детерминации ($R^2 = 0,84$ и $0,94$) характеризует модель хорошего качества.

Соотношение токсичности эквивалента хлора, принятого за единицу, по отношению к хлоридно-сульфатному с гипсом засолению будет 1 : 3. Это еще раз характеризует, что участие гипса в составе легкорастворимых солей сильно ослабляет их вредоносность по отношению к клубеньковым бактериям.

Знание критических уровней засоления для клубеньковых бактерий послужило основой для выявления наиболее солеустойчивых штаммов применительно к бобовым травам донника желтого и люцерны синегибридной. Питательные среды на бобовом агаре по каждому типу химизма засоления доводились до критического уровня. В качестве испытуемых вариантов использовались три штамма клубеньковых бактерий донника и шесть штаммов люцерны.

Таблица 1
Влияние вариантов рекультивации бурового шлама на урожай зеленой массы донника желтого и люцерны синегибридной, г/сосуд

№ п/п	Варианты	Донник желтый		Люцерна синегибридная	
		Среднее за 2 года	± к контролю	Среднее за 2 года	± к контролю
1	БШ (контроль)	73,11	–	95,18	–
2	БШ + ризоторфин	87,12	+14,02	165,65	+70,46
3	БШ + ризоторфин + нефтеструктор	89,60	+16,50	188,43	+93,24
4	БШ + фосфогипс	130,22	+57,12	201,20	+106,01
5	БШ + фосфогипс + ризоторфин	162,12	+89,02	229,05	+133,86
6	БШ + фосфогипс + ризоторфин + нефтеструктор	203,46	+130,36	232,56	+137,87
7	БШ + фосфогипс + ризоторфин + нефтеструктор + торф	224,53	+151,43	249,27	+154,08
8	БШ + ризоторфин + нефтеструктор + торф	103,67	+30,57	189,69	+94,49
	НСР ₀₅		6,7		7,1

Table 1
Effect of drilling mud reclamation options on the yield of green mass of yellow sweet clover and blue hybrid alfalfa, g/vessel

No.	Variants	Sweet clover yellow		Alfalfa blue hybrid	
		Average for 2 years	± to control	Average for 2 years	± to control
1	BS (control)	73.11	–	95.18	–
2	BS + risotorphin	87.12	+14.02	165.65	+70.46
3	BS + rizotorfin + petrodestructor	89.60	+16.50	188.43	+93.24
4	BS + phosphogypsum	130.22	+57.12	201.20	+106.01
5	BS + phosphogypsum + rhizotorphin	162.12	+89.02	229.05	+133.86
6	BS + phosphogypsum + rhizotorphin + petrodestructor	203.46	+130.36	232.56	+137.87
7	BS + phosphogypsum + rhizotorphin + petrodestructor + peat	224.53	+151.43	249.27	+154.08
8	BS + rizotorfin + petrodestructor + peat	103.67	+30.57	189.69	+94.49
	LSD ₀₅		6.7		7.1

Наблюдение за численностью колоний ризобий на предельно засоленных средах показали, что самая высокая численность их в чашках Петри была у штамма под номером 282. Эта закономерность проявлялась по всем критическим химизмам засоления. Существенное преобладание колоний данного штамма на засоленных питательных средах в сравнении с другими штаммами (291 и 292) указывает на относительно высокую его солевыносливость. На некоторых критических по засолённости питательных средах у представленных штаммов колонии не появлялись или по культуральным признакам они были очень мелкими. Это дает основание утверждать, что в полевых условиях штаммы 291 и 292 будут проявлять слабую азотфиксирующую активность. Данное явление усиливается наложением на отрицательные химические свойства ряда физических показателей (бесструктурность, низкая аэрация, высокая дисперсность, плотность и влажность устойчивого завядания). Следует предполагать, что штамм 282 в данных условиях будет обладать большей экологической адаптивностью.

Изучение шести штаммов клубеньковых бактерий люцерны на критически засоленных питательных средах, представленных бобовым агаром, показало, что наибольшей солеустойчивостью здесь характеризовался штамм 423б. Все другие опытные штаммы чаще всего находились в состоянии полного плазмолиза (колонии не появлялись) или размер их был очень мелкий в отличие от контрольных вариантов на незасоленных средах. Аналогичные результаты были получены и в микровегетационных опытах. Здесь растения донника и люцерны выращивались на критически засоленном бобовом агаре в пробирках, при этом проростки семян донника и люцерны инокулировались разными штаммами ризобий. Наибольшей устойчивостью к засолению характеризовались растения донника и люцерны, обработанные штаммами 282 и 423б соответственно.

Проведенные исследования по выявлению критической концентрации солей по разным химизмам позволили тестировать штаммы клубеньковых бактерий в лабораторных и микровегетационных опытах к условиям засоления.

Изучение эффективности действия инокуляции клубеньковыми бактериями семян донника и люцерны на буровом шламе сульфатно-содового засоления проводилось в вегетационно-полевом опыте в сосудах Митчерлиха (таблица 1).

Результаты вегетационно-полевого опыта свидетельствуют о том, что применение ризоторфина на культуре донника желтого без внесения фосфогипса обеспечивало слабое проявление фитомелиоративного процесса. Так, продуктивность зеленой массы этой культуры составила на контроле 73,1 г/сосуд, а на варианте с обработкой семян ризоторфином – 87,1 г/сосуд.

Сочетание ризоторфина с нефтеструктуратором способствовало низкой результативности (89,6 г/сосуд), это указывает на слабую активность нефтеструктуратора в условиях засоления исходного объекта при наличии ряда отрицательных водно-физических свойств. Использование мелиоранта фосфогипса коренным образом улучшает химические и физические свойства бурового шлама, что привело к увеличению урожайности зеленой массы донника желтого в 1,7 раза в сравнении с контролем. Сочетание фосфогипса с ризоторфином обеспечивало увеличение урожайности в сравнении с исходным состоянием в 2,2 раза. Данное явление подтверждается результатами исследований лабораторных опытов.

Варианты опыта закладывались с учетом действия каждого фактора в отдельности (ризоторфин, нефтеструктуратор, фосфогипс) и в комплексе. Исследования показали высокую результативность совместного действия всех факторов на культурах донника желтого и люцерны синегибридной. Прибавка урожая зеленой массы донника желтого составила здесь 130,36 г/сосуд при 73,11 г/сосуд на контроле, аналогичная закономерность проявлялась на культуре люцерны синегибридной. Добавление торфа к указанному варианту усиливало мелиоративный эффект при рекультивации буровых шламов.

Проведенные исследования показывают, что более 2500 буровых амбаров в ХМАО и такое же их количество в ЯНАО могут быть рекультивированы с использованием комплексных методов рекультивации. Количество буровых амбаров увеличивается при разработке нефтяных месторождений на юге Тюменской области (Уватский район).

На юге Тюменской области только из пашни выделено более 500 тыс. га. Указанные площади могут быть компенсированы за счет мелиоративного фонда, представленного солонцовыми почвами. Освоение залежных почв, где в результате ряда успешных сформировались экосистемы, представленные лесными массивами, требует еще больших затрат, чем на мелиоративное освоение солонцов. Химическая мелиорация солонцов позволит утилизировать большие объемы фосфогипса, которые находятся в отвалах промышленных предприятий Урала.

Следует отметить, что осушение заболоченных земель и последующее их содержание с учетом проведения всех культурно-технических мероприятий также потребует больших капитальных затрат. Гипсованные солонцы могут использоваться как в кормовых севооборотах, так и в полевых с участием бобовых компонентов.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, модельные опыты с использованием питательных засоленных сред на бобовом агаре позволили установить, что полная гибель (СД₉₉)

при хлоридно-сульфатном засолении для клубеньковых бактерий наступала при концентрации 4,5–4,7 %, осмотическое давление при этом составило 24,8 атм, рН = 7,3. Внесение гипса позволило снизить токсичность природных и техногенных засоленных в 5,6–9,4 раза относительно сульфатно-содового и в 3,2–4 раза сульфатно-хлоридного состава солей.

Исследования показали, что рекультивация засоленных почв и буровых шламов с использованием бобовых культур фитомелиорантов требует обязательного использования гипса как мелиоранта и источника кальция для активации клубеньковых бактерий. При сравнении воздействия эквивалента иона хлора, принятого за единицу токсичности, установлено, что сульфатно-содовое засоление в

0,3 раза ниже по токсическому действию, а сульфатно-хлоридное и хлоридно-сульфатное выше в 1,4 и 3 раза соответственно. Наибольшую токсичность в составе солей вносила сода при сульфатно-содовом засолении почв. При сульфатно-содовом засолении явление токсичности проявляется за счет повышенной щелочности, а при нейтральном – за счет высокого осмотического давления и токсичности ионов солей.

Представленные исследования указывают на необходимость активного освоения солонцовых почв, особенно ряда южных административных районов, где их площади составляют 40–50 %. Активной рекультивации требуют и буровые амбары в районах добычи углеводородов.

Библиографический список

1. Гаевая Е. В., Боровская А. С. Особенности биологической рекультивации нарушенных земель // Антропогенная трансформация геопространства: меняющийся мир – штрихи к портрету: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Волгоград, 2024. С. 265–268.
2. Скипин Л. Н., Дюкова Н. Н., Логинов Ю. П. Численность клубеньковых бактерий люцерны при различной степени засоления питательной среды // АгроЭкоИнфо. 2022. № 6 (54). DOI: 10.51419/202126627.
3. Гутрова Т. О., Дюкова Н. Н. Изучение симбиоза бобовых растений и клубеньковых бактерий // Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: сборник трудов LVII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень, 2023. С. 29–35.
4. Скипин Л. Н., Захарова Е. В., Дюкова Н. Н. Влияние основных типов химизма степени засоления почв и техногенных грунтов на всхожесть семян фитомелиорантов // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 7. С. 46–56. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-46-56.
5. Laktionov Yu. V. Comparison of resistance of soybean nodule bacteria strains to pesticide and osmotic stresses // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference “Environmental Problems of Food Security”. 2022. Vol. 1043. Article number 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/1043/1/012030.
6. Скипин Л. Н., Дюкова Н. Н. Сравнительное испытание штаммов клубеньковых бактерий люцерны на солонцовых почвах Западной Сибири // Проблемы агроэкологии АПК Сибири: сборник трудов Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвященной 50-летию научной деятельности доктора сельскохозяйственных наук, профессора А. С. Моторина и 25-летию кафедры экологии и рационального природопользования. Тюмень, 2023. С. 58–64.
7. Семендяева Н. В., Морозова А. А., Елизаров Н. В. Умеренно опасные микроэлементы в почвах засоленных агроландшафтов Барабинской равнины // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52, № 1. С. 5–15. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-1-1.
8. Семендяева Н. В., Морозова А. А., Добротворская Н. И. [и др.] Микроэлементы первого класса опасности в почвах засоленных агроландшафтов северо-восточной части Барабинской равнины // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 1 (35). С. 56–65. DOI: 10.31677/2311-0651-2022-35-1-56-65.
9. Elizarov N. V. Salinization and solonchization of soils in river valleys of the Kulunda plain // Eurasian Soil Science. 2023. Vol. 56, No. 10. Pp. 1381–1393. DOI: 10.1134/s1064229323601439.
10. Зимнухова А. Е., Гаевая Е. В., Тарасова С. С. Экологическая оценка буровых шламов и разработка способа их биоремедиации в условиях Западной Сибири // Вестник Нижневартского государственного университета. 2023. № 3 (63). С. 90–100. DOI: 10.36906/2311-4444/23-3/08.
11. Боровская А. С., Гаевая Е. В. Исследование микробиологических свойств нефтезагрязненных торфяно-болотных почв при применении нефтеструктуров // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие^ сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. Новокузнецк, 2024. С. 7–12.
12. Lyubimova I. N. Possible changes in soils of the dry steppe zone under the global climate change // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55, No. 10. Pp. 1482–1489. DOI: 10.1134/s1064229322100118.

13. Гаевая Е. В., Рудакова Л. В. Исследование закономерностей изменения солевого состава буровых шламов в процессе их утилизации // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 2. С. 125–134. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-125-134.

14. Дюкова Н. Н., Харалгин А. С. Приемы возделывания люцерны изменчивой в лесостепи Западной Сибири // Агропродовольственная политика России. 2024. № 2-3 (110). С. 63–69. DOI: 10.35524/2227-0280_2024_02-03_63.

15. Дюкова Н. Н., Харалгин А. С., Рыжук Н. В. [и др.] Элементы технологии возделывания люцерны изменчивой (*Medicago varia* L.) в адаптивном земледелии Западной Сибири // Селекция и технологии производства экологически безопасной продукции растениеводства в условиях меняющегося климата: сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием посвящённая 80-летию со дня рождения заслуженного агронома РФ профессора, доктора сельскохозяйственных наук Ю. П. Логинова. Тюмень, 2022. С. 232–240.

16. Гаевая Е. В. Влияние мелиорантов на изменение водно-физических свойств бурового шлама // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 9-й Международной научно-практической конференции. Донецк, 2023. С. 35–38.

17. Puhalsky Ya. V. Impact of heavy metals on changes in the biochemical profile of pea root exometabolites // Russian Agricultural Sciences. 2023. Vol. 49, No. 2. Pp. 189–201. DOI: 10.3103/s106836742302009x.

18. Shaposhnikov A. I. The relationship between the composition of root exudates and the efficiency of interaction of wheat plants with microorganisms // Applied Biochemistry and Microbiology. 2023. Vol. 59, No. 3. Pp. 330–343. DOI: 10.1134/s000368382303016x.

Об авторах:

Леонид Николаевич Скипин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия;

ORCID 0000-0001-5778-9872, AuthorID 436872. E-mail: skipinln@tyuiu.ru

Елена Викторовна Захарова, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0001-5874-2726, AuthorID 822843. E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru

Светлана Сергеевна Тарасова, кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0002-5684-2819, AuthorID 933439. E-mail: tarasovass@tyuiu.ru

Елена Павловна Евтушкова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой землеустройства и кадастров, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0002-7352-0248, AuthorID 67200634. E-mail: evtushkovaep@gausz.ru

References

1. Gaevaya E. V., Borovskaya A. S. Features of biological reclamation of disturbed lands. *Anthropogenic transformation of geospatial: the changing world – the strokes to the portrait: materials of the VI All-Russian scientific and practical conference*. Volgograd, 2024. Pp. 265–268. (In Russ.)

2. Skipin L. N., Dyukova N. N., Loginov Yu. P. The number of nodule bacteria of alfalfa at various degrees of salinity of the nutrient medium. *AgroEcoInfo*. 2022; 6 (54). DOI: 10.51419/202126627. (In Russ.)

3. Gutrova T. O., Dyukova N. N. Study of symbiosis of leguminous plants and nodule bacteria. *Achievements of youth science for the agro-industrial complex. Proceedings of the LVII scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists*. Tyumen, 2023. Pp. 29–35. (In Russ.)

4. Skipin L. N., Zakharova E. V., Dyukova N. N. The influence of the main types of chemistry of the degree of salinity of soils and man-made soils on the germination of phytomeliorent seeds. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (07): 46–56. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-46-56. (In Russ.)

5. Laktionov Yu. V. Comparison of resistance of soybean nodule bacteria strains to pesticide and osmotic stresses. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference “Environmental Problems of Food Security”*. 2022; 1043: 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/1043/1/012030.

6. Skipin L. N., Dyukova N. N. Comparative testing of alfalfa nodule bacteria strains on saline soils of Western Siberia. *Problems of agroecology of the agroindustrial complex of Siberia: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 50th anniversary of the scientific activity of doctor of agricultural sciences, professor A. S. Motorin and the 25th anniversary of the department of ecology and rational use of natural resources*. Tyumen, 2023. Pp. 58–64. (In Russ.)

7. Semendyaeva N. V., Morozova A. A., Elizarov N. V. Moderately dangerous trace elements in the soils of saline agricultural landscapes of the Barabinsk plain. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*. 2022; 52 (1): 5–15. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-1-1. (In Russ.)
8. Semendyaeva N. V., Morozova A. A., Dobrotvorskaya N. I., et al. Microelements of the first hazard class in soils of saline agricultural landscapes of the northeastern part of the Barabinsk plain. *Innovations and food safety*. 2022; 1 (35): 56–65. DOI: 10.31677/2311-0651-2022-35-1-56-65. (In Russ.)
9. Elizarov N. V. Salinization and solonchization of soils in river valleys of the kulunda plain. *Eurasian Soil Science*. 2023; 56 (10): 1381–1393. DOI: 10.1134/s1064229323601439.
10. Zimmukhova A. E., Gayeva E. V., Tarasova S. S. Ecological assessment of drilling slurries and development of a method for their bioremediation in Western Siberia. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. 2023; 3 (63): 90–100. DOI: 10.36906/2311-4444/23-3/08. (In Russ.)
11. Borovskaya A. S., Gaevaya E. V. Investigation of the microbiological properties of oil-contaminated peat-bog soils when using oil destructors. *Recultivation of disturbed lands: technologies, efficiency and biodiversity: collection of scientific papers of the All-Russian scientific and practical conference*. Novokuznetsk, 2024. Pp. 7–12. (In Russ.)
12. Lyubimova I. N. Possible changes in soils of the dry steppe zone under the global climate change. *Eurasian Soil Science*. 2022; 55 (10): 1482–1489. DOI: 10.1134/s1064229322100118.
13. Gaevaya E. V., Rudakova L. V. Investigation of patterns of changes in the salt composition of drilling mud during their disposal. *Theoretical and Applied Ecology*. 2024; 2: 125–134. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-2-125-134. (In Russ.)
14. Dyukova N. N., Kharalgin A. S. Methods of cultivation of alfalfa in the forest-steppe of Western Siberia. *Agro-Food Policy of Russia*. 2024; 2-3 (110): 63–69. DOI: 10.35524/2227-0280_2024_02-03_63. (In Russ.)
15. Dyukova N. N., Kharalgin A. S., Ryzhuk N. V., et al. Elements of alfalfa cultivation technology (*Medicago varia* L.) in adaptive agriculture in Western Siberia. *Breeding and production technologies of environmentally safe crop production in a changing climate: collection of materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference with international participation dedicated to the 80th anniversary of the birth of the Honored agronomist of the Russian Federation, professor, doctor of agricultural sciences Yu. P. Loginov*. Tyumen, 2022. Pp. 232–240. (In Russ.)
16. Gaevaya E. V. The influence of meliorants on changes in the water-physical properties of drilling mud. *Innovative perspectives of Donbass: proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference*. Donetsk, 2023. Pp. 35–38. (In Russ.)
17. Puhalsky Ya. V. Impact of heavy metals on changes in the biochemical profile of pea root exometabolites. *Russian Agricultural Sciences*. 2023; 49 (2): 189–201. DOI: 10.3103/s106836742302009x.
18. Shaposhnikov A. I. The relationship between the composition of root exudates and the efficiency of interaction of wheat plants with microorganisms. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2023; 59 (3): 330–343. DOI: 10.1134/s000368382303016x.

Authors' information:

Leonid N. Skipin, doctor of agricultural sciences, professor, professor of the department of technosphere safety, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0001-5778-9872, AuthorID 436872.

E-mail: skipinln@tyuiu.ru

Elena V. Zakharova, candidate of biological sciences, associate professor, associate professor of the department of technosphere safety, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0001-5874-2726, AuthorID 822843. *E-mail: zaharovaev@tyuiu.ru*

Svetlana S. Tarasova, candidate of biological sciences, associate professor of the department of technosphere safety, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0002-5684-2819, AuthorID 933439.

E-mail: tarasovass@tyuiu.ru

Elena P. Evtushkova, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the department of land management and cadastres, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0002-7352-0248, AuthorID 67200634. *E-mail: evtushkovaep@gausz.ru*

Применение технологических методов обработки люпина узколистного для оптимизации питательности полнорационных комбикормов

Н. В. Гапонов

Всероссийский НИИ люпина – филиала ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», п. Мичуринский, Брянская область, Россия

E-mail: nv.1000@bk.ru

Аннотация. Цель – улучшить структуру узколистного люпина методом экструзионной биотрансформации и разработать на его основе оптимально сбалансированные рецептуры полнорационных комбикормов для радужной форели. **Научная новизна** заключается в том, что питательные вещества узколистного люпина в сочетании с другими компонентами комбикорма, прошедшими экструзионную обработку, обеспечивают высокое качество корма и эффективную биоконверсию питательных веществ, что способствует здоровью и повышению продуктивности радужной форели. **Методы исследования.** Для анализа экструдированных полнорационных комбикормов и их составляющих были использованы биохимические методы исследования. **Результаты.** Изучено влияние процесса экструзии узколистного люпина (*Lupinus angustifolius* L.) (как нативного, так и без оболочки с алкалоидностью 0,02 %) на уровень модификации биополимеров и питательность полнорационных комбикормов для радужной форели. В ходе экструзии происходит денатурация белков и расщепление углеводов, что значительно улучшает усвоение корма рыбой. Высокая температура и давление способствуют снижению содержания антинутриентов, негативно влияющих на усвоение белка. Замена более дорогих источников животного белка, таких как соя и рыбная мука, более доступным растительным протеином узколистного люпина позволяет компенсировать недостаток некоторых аминокислот в растительных кормах. Содержание сырого протеина в экструдированном безоболочном люпине увеличилось на 41,47 % по сравнению с нативным, в то время как в экструдированном люпине с оболочкой уровень сырого протеина приблизился к нативному. Процесс экструзии приводит к преобразованию физико-химических свойств крахмала: сложные углеводы распадаются на простые сахара. Содержание сахара в люпине без оболочки и с оболочкой увеличилось на 37,82 % и 24,05 % соответственно. Также наблюдается увеличение содержания сырого жира: в экструдированном безоболочном люпине – на 15,36 %, в экструдированном с оболочкой – на 1,55 %. Показатели неорганической части экструдированного узколистного люпина (Са и Р) находились примерно на том же уровне, что у нативного люпина.

Ключевые слова: форель, рецепт, люпин, комбикорм, протеин

Для цитирования: Гапонов Н. В. Применение технологических методов обработки люпина узколистного для оптимизации питательности полнорационных комбикормов // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 289–296. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-289-296>.

Дата поступления статьи: 07.05.2025, **дата рецензирования:** 07.06.2025, **дата принятия:** 22.12.2025.

The use of technological methods for processing narrow-leaved lupine to optimize the nutritional value of complete feed

N. V. Gaponov

All-Russian Lupine Scientific Research Institute – Branch of Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Michurinskiy settlement, Bryansk region, Russia

E-mail: nv.1000@bk.ru

Abstract. The purpose is to improve the structure of narrow-leaved lupine by extrusion biotransformation and to develop optimally balanced formulations of complete compound feeds for rainbow trout based on it. **Scientific novelty** lies that the nutrients of narrow-leaved lupine, combined with other components of the compound feed that have undergone extrusion processing, provide high-quality feed and effective bioconversion of nutrients, which contributes to the health and productivity of rainbow trout. **Research methods.** Biochemical methods of investigation of extruded complete feeds and their components were used. **Results.** The effect of the extrusion process of narrow-leaved lupine (*Lupinus angustifolius* L.) (both native and shell-less with an alkalinity of 0.02 %) on the level of modification of biopolymers and the nutritional value of complete compound feeds for rainbow trout was studied. During extrusion, proteins are denatured and carbohydrates are broken down, which significantly improves the absorption of fish feed. High temperature and pressure contribute to a decrease in the content of antinutrients that negatively affect protein absorption. Replacing more expensive animal protein sources such as soy and fish meal with more affordable plant protein from narrow-leaved lupine makes it possible to compensate for the lack of certain amino acids in plant feeds. The crude protein content in the extruded shell-free lupine increased by 41.47 % compared to the native, while the crude protein level in the extruded coated lupine approached the native. The extrusion process leads to the transformation of the physico-chemical properties of starch: complex carbohydrates break down into simple sugars. The sugar content in lupine without shell and with shell increased by 37.82 % and 24.05 %, respectively. There is also an increase in the crude fat content: in extruded shell-free lupine – by 15.36 %, in extruded with a shell – by 1.55 %. The indicators of the inorganic part of the extruded narrow-leaved lupine (Ca and P) were approximately at the same level as native lupine.

Keywords: trout, recipe, lupin, compound feed, protein

For citation: Gaponov N. V. The use of technological methods for processing narrow-leaved lupine to optimize the nutritional value of complete feed. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 289–296. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-289-296>. (In Russ.)

Date of paper submission: 07.05.2025, **date of review:** 07.06.2025, **date of acceptance:** 22.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Люпин узколистный выделяется среди культивируемых видов своей скороспелостью и адаптивностью, будучи единственным, приспособленным к условиям северных широт. Российскими селекционерами выведены новые сорта узколистного люпина, отличающиеся быстрым созреванием, высокой продуктивностью и устойчивостью к вредителям, болезням и неблагоприятным условиям окружающей среды. Эти сорта обогатили генетическое разнообразие культуры и значительно улучшили ее характеристики [1].

Люпин находит применение в качестве зеленого корма, силоса, сидерального удобрения и источника семян. Его высокая кормовая ценность обусловлена богатым содержанием белка. Зерно люпина служит ценной протеиновой добавкой при составлении ра-

ционов для сельскохозяйственных животных, птиц и рыбы [2].

Важным условием качества зернофуража и комбикормов является предварительная тепловая обработка. Исследования, проведенные на разных видах животных, показали, что, например, комбикорма с предварительно экструдированными компонентами позволяют увеличить среднесуточный прирост на 18,6 % [3–6].

Под воздействием давления и температур в перерабатываемом сырье происходят изменения структуры белка, расщепление крахмала до декстринов и полная дезинфекция корма. Экструдированные корма обладают повышенной прочностью по сравнению с гранулированными, что обуславливает их низкую крошимость (менее 1 %), в то время как у гранулированных этот показатель достигает 5–8 %. В российских кормах крошимость может

составлять 10 % и выше. Благодаря этому использование экструдированных кормов сокращает попадание пыли в воду на 75 %, снижая загрязнение водоема. Они отличаются высокой водостойкостью, сохраняя форму и структуру в воде в течение суток, в отличие от гранулированных, которые сохраняют свои свойства не более 4 часов. Это преимущество особенно важно в форелеводстве, где ключевыми являются быстрый рост рыбы и минимизация затрат. Полноценное и сбалансированное питание – важный фактор интенсивного выращивания рыбы. Радужная форель хорошо адаптируется к искусственному содержанию и усвоению гранул. Эффективной заменой животного белка являются продукты переработки и зернобобовых культур [7–9]. Поэтому было решено в качестве растительного белка в комбикорме для радужной форели использовать узколистый люпин, подвергнутый разными видами технологических обработок.

Цель работы – улучшить структуру узколистного люпина методом экструзионной биотрансформации и разработать на его основе оптимально сбалансированные рецепты полнорационных комбикормов для радужной форели.

Методология и методы исследования (Methods)

Материалом исследования в эксперименте служил узколистый люпин сорта Витязь с оболочкой и без оболочки, а также разработанные на их основе 15 вариантов рецептов полнорационных комбикормов для форели, из которых по питательности были выделены для дальнейших исследований на

радужной форели 3 оптимально сбалансированных опытных рецепта.

Для разработки полнорационных рецептов комбикормов использовались следующие компоненты: экструдированный люпин узколистый в оболочке и без оболочки, пшеница, жмых соевый, жмых подсолнечника, кукуруза, рыбная мука, премикс П-5-1, трикальцийфосфат.

Для более корректного сравнительного анализа опытных рационов был разработан контрольный полнорационный комбикорм для форели из тех же компонентов, что и опытные. В его структуре в качестве источника растительного протеина используются соя или продукты ее переработки (жмыхи, шроты). В качестве источника животного протеина была применена рыбная мука (60–65 %).

Определение химического состава узколистного люпина, компонентов комбикорма и разработанных на их основе полнорационных комбикормов проводилось согласно стандартным методикам зооанализа.

Первоначальную влагу определяли в соответствии с ГОСТ Р 57059-2016 «Корма комбикорма, комбикормовое сырье. Экспресс-метод определения влаги».

Клетчатку определяли по ГОСТ 31675-2012 «Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки по Геннебергу и Штоману».

Определение сырой золы проводилось согласно ГОСТ 26226-95 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы».

Таблица 1
Биохимический состав люпина узколистного, %

Показатели	Люпин узколистый нативный, сорт Витязь	Экструдированный с оболочкой	Экструдированный без оболочки
Сухое вещество	87,00	91,10	90,10
Сырой протеин	28,98	28,39	41,00
Сырой жир	6,98	7,12	8,36
Сырая клетчатка	13,02	13,00	5,12
Сырая зола	3,93	4,10	4,00
Крахмал	10,77	7,51	8,00
Сахар	6,61	8,20	9,11
Кальций	0,22	0,21	0,22
Фосфор	0,35	0,37	0,36

Table 1
Biochemical composition of narrow-leaved lupine, %

Indicators	Lupine is a narrow-leaved native variety of Vityaz	Extruded with shell	Extruded without shell
Dry matter	87.00	91.10	90.10
Crude protein	28.98	28.39	41.00
Raw fat	6.98	7.12	8.36
Raw fiber	13.02	13.00	5.12
Raw ash	3.93	4.10	4.00
Starch	10.77	7.51	8.00
Sugar	6.61	8.20	9.11
Calcium	0.22	0.21	0.22
Phosphorus	0.35	0.37	0.36

Определение жира проводилось по обезжиренному остатку согласно ГОСТ 13496.15-97 «Корма. Комбикорма. Кормовое сырье».

Определение протеина проводилось согласно ГОСТ 13496.4-93 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина».

Для определения содержания кальция использовался оскалатный метод согласно ГОСТ 26570-95 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения кальция».

Для определения содержания фосфора применялся колориметрический метод согласно ГОСТ 26657-97 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора».

Безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) определялись расчетным методом.

Для технологической обработки люпина нативного и люпина без оболочки, а также полученных на их основе комбикормов применяли экструзионную обработку на кормовом экструдере TSE-85.

Результаты (Results)

Главным направлением в исследовании полнорационных кормов в форелеводстве является поиск замены рыбной муки как самого дорогостоящего компонента рационов альтернативными источниками белка. В качестве такого источника был предложен протеин растительного происхождения – узколистый люпин нативный и узколистый люпин без оболочки, подвергнутый экструзионной биотрансформации (таблица 1). Благодаря проведенным работам стали возможными исследование и создание уникальных комбикормов для радужной форели с применением альтернативы рыбной муке, включая соевые компоненты.

Рецептуры полнорационных комбикормов разработали на базе точных норм поступления необходимых питательных веществ, составленных посредством тщательного анализа научных публикаций, исследований и опыта практического внедрения в производстве сбалансированного кормления радужной форели при использовании узколистого люпина [10–20].

Изучая данные биохимического анализа люпина узколистого нативного и экструдированного (таблица 2), можно заключить, что уровень сырого протеина в зерне узколистого люпина без оболочки, прошедшего экструзию, существенно превышает аналогичный показатель у нативного люпина, увеличившись на 41,47 %. В то же время содержание протеина в экструдированном люпине с оболочкой находилось близко к показателю исходного (нативного) люпина. Уровень клетчатки в экструдированном люпине без оболочки был значительно ниже, составив 60,67 % от нативного сортового значения; при этом у экструдированного с оболочкой этот показатель снизился лишь незначительно – на 0,15 %. Также произошли изменения по содержа-

нию сырого жира: в экструдированном люпине без оболочки его уровень был выше на 15,36 %, тогда как у экструдированного с оболочкой этот показатель увеличился всего лишь на 1,55 %.

В процессе экструзии узколистого люпина наблюдались изменения в содержании сахара и крахмала. Крахмал под воздействием экструзии подвергается сложным превращениям, что приводит к изменению его физико-химических свойств. Структура сложных углеводов, полисахаридов (крахмала) распадается до простых моносахаров и переходит в водорастворимую форму, улучшая доступность обменной энергии для форели из рациона. Поэтому содержание крахмала в узколистом люпине без оболочки после экструзии снизилось по отношению к нативному люпину на 25,71 %, в экструзионном люпине с оболочкой – на 30,26 %. При этом содержание сахара в экструзионном люпине без оболочки и с оболочкой увеличилось на 37,82 % и 24,05 % соответственно. Содержание сырой золы увеличилось в экструдированном люпине с оболочкой на 4,32 %, в экструдированном люпине без оболочки – на 1,78 %. Показатели неорганической части экструдированного узколистого люпина (Ca и P), находились примерно на одинаковом уровне с нативным люпином.

При разработке рецептов полнорационных комбикормов, сбалансированных по основным питательным веществам, были выполнены и соблюдены требования физиолого-биохимических исследований, необходимых для корректных расчетов питательности данных рецептов. Которые направлены на изучение питательной ценности кормовых компонентов комбикормов, позволяющие удовлетворять потребности организма форели в необходимых питательных веществах. Тем самым исключили пищевую недостаточность отдельных питательных веществ и создали корм более сбалансированный и питательно-полезный. Питательность наиболее предпочтительных полнорационных комбикормов для радужной форели представлена в таблице 2.

Для создания контрольного комбикорма за основу был взят используемый полнорационный комбикорм хозяйства АО «Племенной форелеводческий завод „Адлер“». В разработке опытных полнорационных комбикормов с узколистым люпином использовались компоненты, которые применялись в структуре контрольного комбикорма: жмых соевый, жмых подсолнечника, кукуруза, пшеница, мука рыбная 60–65 %, премикс П-5-1, трикальцийфосфат.

Рецепты опытных комбикормов и контрольного сбалансированы по основным питательным веществам. Балансировали корма по уровню общей питательности, содержанию минеральных веществ, протеина и обменной энергии. Также принимали во внимание аминокислотный состав кормов. Для балансирования рецептов по макро- и микроэлементам, а также витаминам применяли премикс П-5-1 и трикальцийфосфат.

Питательность полнораціонных комбикормов для форели

Показатели	Контрольный Полнораціонный корм, ПК	ПК Люпин с оболочкой – 9 %	ПК Люпин без оболочки – 21 %	ПК Люпин без оболочки – 26 %
ЭЖЕ	1,33	1,32	1,32	1,31
ОЭ, МДж	13,32	13,20	13,27	13,14
Сухое вещество, г	869,50	871,00	871,50	870,0
Сырой протеин, г	418,53	408,01	420,54	413,53
ПП, г	379,63	374,75	362,84	342,61
Лизин, г	42,42	37,73	25,17	22,82
Метионин + цистин, г	15,84	14,30	15,27	14,40
Триптофан, г	5,27	4,90	4,90	4,72
Сырой жир, г	38,24	36,22	34,71	32,90
Сырая клетчатка, г	34,69	32,15	28,17	27,94
Крахмал, г	158,82	160,98	214,42	250,06
Сахар, г	89,16	78,79	89,21	109,01
Кальций, г	32,79	28,99	26,68	24,12
Фосфор, г	19,28	17,24	15,98	14,20
Магний, г	3,70	3,71	3,24	3,15
Калий, г	11,85	11,10	11,38	10,64
Сера, г	3,69	3,42	3,03	2,89
Железо, мг	118,78	111,16	102,50	94,56
Медь, мг	17,20	15,41	15,05	15,66
Цинк, мг	61,39	57,72	56,58	52,17
Марганец, мг	24,92	25,49	21,86	21,27
Кобальт, мг	5,67	5,30	5,67	7,52
Йод, мг	1,25	1,12	1,03	0,90
Каротин, мг	0,66	0,64	0,70	0,70
Витамин А, МЕ	0,13	0,11	0,13	0,17
Витамин D, МЕ	34,47	30,76	27,14	23,20
Витамин E, мг	13,55	12,33	15,59	15,25
Витамин B1, мг	4,21	3,82	4,50	4,96
Витамин B2, мг	4,06	3,64	3,78	3,71
Витамин B3, мг	11,47	10,49	11,64	11,17
Витамин B4, мг	502,44	442,07	740,11	793,31
Витамин B5, мг	185,99	156,53	173,85	209,17
Витамин B12, мкг	118,10	104,05	94,70	83,80

Table 2
Nutritional value of complete feed for trout

Indicators	Control Complete food (CF)	CF Lupin with shell – 9 %	CF Lupin without shell – 21 %	CF Lupin without shell – 26 %
EFU	1.33	1.32	1.32	1.31
ME, MJ	13.32	13.20	13.27	13.14
Dry matter, g	869.50	871.00	871.50	870.0
Crude protein, g	418.53	408.01	420.54	413.53
Dp, g	379.63	374.75	362.84	342.61
Lysine, g	42.42	37.73	25.17	22.82
Methionine + cystine, g	15.84	14.30	15.27	14.40
Tryptophan, g	5.27	4.90	4.90	4.72
Raw fat, g	38.24	36.22	34.71	32.90
Crude fiber, g	34.69	32.15	28.17	27.94
Starch, g	158.82	160.98	214.42	250.06
Sugar, g	89.16	78.79	89.21	109.01
Calcium, g	32.79	28.99	26.68	24.12
Phosphorus, g	19.28	17.24	15.98	14.20
Magnesium, g	3.70	3.71	3.24	3.15
Potassium, g	11.85	11.10	11.38	10.64

<i>Sulfur, g</i>	3.69	3.42	3.03	2.89
<i>Iron, mg</i>	118.78	111.16	102.50	94.56
<i>Copper, mg</i>	17.20	15.41	15.05	15.66
<i>Zinc, mg</i>	61.39	57.72	56.58	52.17
<i>Manganese, mg</i>	24.92	25.49	21.86	21.27
<i>Cobalt, mg</i>	5.67	5.30	5.67	7.52
<i>Iodine, mg</i>	1.25	1.12	1.03	0.90
<i>Carotene, mg</i>	0.66	0.64	0.70	0.70
<i>Vitamin A, IU</i>	0.13	0.11	0.13	0.17
<i>Vitamin D, IU</i>	34.47	30.76	27.14	23.20
<i>Vitamin E, mg</i>	13.55	12.33	15.59	15.25
<i>Vitamin B1, mg</i>	4.21	3.82	4.50	4.96
<i>Vitamin B2, mg</i>	4.06	3.64	3.78	3.71
<i>Vitamin B3, mg</i>	11.47	10.49	11.64	11.17
<i>Vitamin B4, mg</i>	502.44	442.07	740.11	793.31
<i>Vitamin B5, mg</i>	185.99	156.53	173.85	209.17
<i>Vitamin B12, mcg</i>	118.10	104.05	94.70	83.80

Основной комбикорм (контрольный) и опытные полнорационные комбикорма изготавливали на заводе производителя премиксов, БВМК и комбикормов ЗАО «Премикс» (г. Тимашевск, Краснодарский край).

Основной полнорационный комбикорм предприятия (контрольный) содержит в своей структуре высокопротеиновые корма растительного и животного происхождения: жмыха соевого содержалось 18 %, жмыха подсолнечника – 12 %, кукурузы – 13 %, пшеницы – 12 %. В качестве источника белка животного происхождения применялась рыбная мука (60–65 %) в количестве 43 %. Согласно рекомендациям, содержание витаминов, микро- и макроэлементов, кальция и фосфора балансировали за счет введения по 1 % трикальцийфосфата и премикса П-5-1 1.

В рамках экспериментальных разработок по созданию полнорационных комбикормов исследование было направлено на частичное замещение дорогостоящих высокопротеиновых компонентов, таких как рыбная мука и соевый жмых, узколиственным люпином.

В первом экспериментальном варианте для форели люпин составил 9 %, рыбная мука (60–65 %) – 38 %, соевый жмых – 16 %, подсолнечниковый жмых – 11 %, кукуруза – 12 %, пшеница – 12 %, трикальцийфосфат – 1 %, премикс – 1 %. Включение экструдированного люпина с оболочкой привело к снижению содержания рыбной муки на 5 %, соевого жмыха – на 2 %, подсолнечникового жмыха – на 1 %, кукурузы – на 1 %, что позволило оптимизировать состав без значительного увеличения клетчатки, которая осталась в пределах допустимых норм.

Во втором экспериментальном рецепте использовали экструдированный люпин без оболочки в количестве 21 %. Состав включал 34 % рыбной муки (60–65%), 12 % соевого жмыха, 10 % подсолнечникового жмыха, 9 % кукурузы, 12 % пшеницы, 1 % трикальцийфосфата и 1 % премикса. Применение люпина без оболочки снизило долю рыбной муки

на 9 %, соевого жмыха – на 6 %, кукурузы – на 4 %, подсолнечникового жмыха – на 2 %, при этом уровень клетчатки оставался в норме.

В третьем экспериментальном варианте доля экструдированного люпина без оболочки составила 26 %. Компоненты включали 29 % рыбной муки (60–65 %), 10 % соевого жмыха, 10 % подсолнечникового жмыха, 8 % кукурузы, 16 % пшеницы, 1 % трикальцийфосфата и 1 % премикса. Благодаря увеличению доли люпина без оболочки удалось снизить содержание рыбной муки на 14 %, соевого жмыха – на 8 %, подсолнечникового жмыха – на 2 %, кукурузы – на 5 %, что позволило существенно увеличить долю более дешевой пшеницы, снижая тем самым себестоимость производства комбикорма без ущерба для его питательной ценности.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе научного эксперимента было установлено, что технологии экструдирования узколистного люпина (как нативного, так и без оболочки) обеспечивают высокое качество полнорационных комбикормов для радужной форели. Это позволяет уменьшить долю дорогих источников животного белка и соевых продуктов в комбикормах. Анализ полученных данных позволяет с уверенностью утверждать, что использование экструдированных полнорационных комбикормов с узколиственным люпином увеличивает их питательную ценность. В результате экструзии содержание крахмала в узколистном люпине без оболочки уменьшилось на 25,71 %, а в экструзионном люпине с оболочкой – на 30,26 %. При этом уровень сахара в экструзионном люпине без оболочки увеличился на 37,82 %, а в люпине с оболочкой – на 24,05 %. Процессы гидролиза, возникающие в ходе экструзии, способствуют преобразованию белков в более доступные для пищеварительных ферментов формы, а крахмал трансформируется в углеводы, которые легко усваиваются организмом радужной форели. Сравнительный анализ биохимического состава нативного люпи-

на и люпина без оболочки показывает, что уровень протеина и других питательных веществ в обработанном люпине значительно превышает таковой в нативном. Эта особенность делает люпин незаменимым компонентом для использования в составе полнорационных комбикормов, способным обеспечивать до 90 % общей потребности форели в качественном растительном протеине. Использование экструдированного узколистного люпина в составе комбикормов не только улучшает биодоступность

незаменимых аминокислот, но и повышает качество комбикорма с точки зрения потребительских характеристик, что в итоге поддерживает здоровый рост и развитие рыбы. Таким образом, экструзионные технологии производства полнорационных комбикормов с узколистным люпином создают отличные возможности для аквакультуры, способствуя формированию устойчивой и продуктивной кормовой базы для разведения радужной форели.

Библиографический список

1. Слесарева Т. Н. Технология производства кормов на основе смешанных посевов люпина желтого со злаковыми культурами // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов. Ярославль. 2024. Т. 27 (75). С. 60–64. DOI: 10.33814/МАК-2022-27-75-60-64.
2. Слесарева Т. Н., Трошина Л. В. Почвенные гербициды в посевах люпина белого // Научные основы устойчивого развития сельскохозяйственного производства в современных условиях: сборник научных трудов по материалам XVII научно-практической конференции. Калуга. 2024. С. 39–43.
3. Гапонов Н. В., Анишко М. Ю., Мисникова Н. В. Нутритивные свойства полнорационных комбикормов на основе люпина узколистного и экономическая эффективность их производства // Кормопроизводство. 2025. № 6. С. 30–34. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-6-30-34.
3. Гапонов Н. В., Анишко М. Ю., Мисникова Н. В. Питательность зерносеменной массы бинарных ценозов узколистного люпина с овсом // Кормопроизводство. 2025. № 3. С. 17–21. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-3-17-21.
4. Гапонов Н. В. Гематологические показатели радужной форели при включении люпина белого в структуру рационов // Сельскохозяйственный журнал. 2025. № 3 (18). С. 89–99. DOI: 10.48612/FARC/2687-1254/009.3.18.2025.
5. Гапонов Н. В. Физиологический статус и биолого-продуктивные показатели радужной форели при корректировке рационов люпином узколистным. // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108, № 4. С. 292–309. DOI: 10.33284/2658-3135-108-4-292.
6. Егги Э. Э., Вишневецкая М. С., Агеева П. А. [и др.] Использование полиморфизма белков семян для сортовой идентификации люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) // Аграрная Россия. 2012. № 4. С. 2–8.
7. Остроумова И. Н. Высококачественные корма условие эффективного воспроизводства // Рыбовод и рыболов. 1996. № 2. С. 22–23.
8. Щербина М. А., Гамыгин Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. Москва: Изд-во ВНИРО, 2006. 360 с.
9. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. Изд. 4-е, перераб. и доп. Москва: Пищевая промышленность, 1966. 302 с.
10. Остроумова И. Н. Биологические основы кормления рыб. Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 2012. 564 с.
11. Скляр В. Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре. Москва: Изд-во ВНИРО, 2008. 150 с.
12. Скляр В. Я., Студенцова Н. А. Биологические основы рационального использования кормов в аквакультуре. Москва: Росинфорагротех, 2001. 56 с.
13. Власов В. А. Нормирование суточного количества корма для выращиваемой в садках на теплых водах радужной форели в зависимости от скорости роста рыб // Тепловодная аквакультура и биологическая продуктивность водоемов аридного климата: материалы и доклады международного симпозиума. Астрахань, 2007. С. 397–399.
14. Власов В. А., Елышов А. В., Кулькова И. С. Использование биологически активных добавок в кормлении рыб // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2018. № 3. С. 68–76.
15. Cincotti A., Lai N., Orrù R. Sardinian natural clinoptilolites for heavy metals and ammonium removal: experimental and modeling // Chemical Engineering Journal. 2001. No. 84. Pp. 275–282.
16. Pizzagalli M. D., Bensimon A. D., Superti-Furga G. A. Guide to plasma membrane solute carrier proteins // The FEBS Journal. 2021. Vol. 288. Pp. 2784–2835. DOI: 10.1111/febs.15531.
17. Henryon M., et al. Genetic variation for growth rate, feed conversion efficiency, and disease resistance exists within farmed populations of rainbow trout // Aquaculture. 2002. Vol. 209, No. 1–4. Pp. 59–76.
18. Bruun M. S., et al. The fate of chemical additives and antimicrobial agents applied in Danish freshwater fish farms // World Aquaculture. 2007. Vol. 2. Pp. 57–61.
19. Гапонов Н. В. Физиолого-биохимические и гистологические параметры мышц форели при включении белого люпина в структуру рациона // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2025. № 118. С. 269–276. DOI: 10.21515/1999-1703-118-269-276.

Об авторе:

Николай Васильевич Гапонов, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский НИИ люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», п. Мичуринский, Брянская область, Россия; ORCID 0000-0002-5086-7943, AuthorID 1038189. E-mail: nv.1000@bk.ru

References

1. Slesareva T. N. Technology of feed production based on mixed crops of yellow lupine with cereals. *Multi-functional adaptive feed production: collection of scientific papers*. Yaroslavl, 2024. Vol. 27 (75). Pp. 60–64. DOI: 10.33814/МАК-2022-27-75-60-64. (In Russ.)
2. Slesareva T. N., Troshina L. V. Soil herbicides in crops of white lupine. *Scientific foundations of sustainable development of agricultural production in modern conditions: collection of scientific papers on the materials of the XVII scientific and practical conference*. Kaluga, 2024. Pp. 39–43. (In Russ.)
3. Gaponov N. V., Anishko M. Yu., Misnikova N. V. Nutritional properties of full-fledged compound feeds based on *Lupinus angustifolius* and the economic efficiency of their production. *Feed Production*. 2025; 6: 30–34. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-6-30-34. (In Russ.)
4. Gaponov N. V., Anishko M. Yu., Misnikova N. V. Nutritional value of grain-and-haylage mass of binary coenosis of *Lupinus angustifolius* L. with *Avena sativa* L. *Feed Production*. 2025; 3: 17–21. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-3-17-21. (In Russ.)
5. Gaponov N. V. Hematological parameters of rainbow trout when white lupine is included in the diet structure. *Agricultural Journal*. 2025; 3 (18): 89–99. DOI: 10.48612/FARC/2687-1254/009.3.18.2025. (In Russ.)
6. Gaponov N. V. Physiological status and biological and productive indicators of rainbow trout when adjusting diets with narrow-leaved lupine. *Animal Husbandry and Feed Production*. 2025; 108 (4): 292–309. DOI: 10.33284/2658-3135-108-4-292. (In Russ.)
7. Eggi E. E., Vishnevskaya M. S., Ageeva P. A., et al. Using of seed protein polymorphism for cultivar identification of narrow-leaved Lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Agrarian Russia*. 2012; 4: 2–8. (In Russ.)
8. Ostroumova I. N. High-quality feed is a condition for effective re-production. *Fish Farmer, and Angler*. 1996; 2: 22–23. (In Russ.)
9. Shcherbina M. A., Gamygin E. A. *Fish feeding in freshwater aquaculture*. Moscow: VNIRO Publishing House, 2006. 360 p. (In Russ.)
10. Pravdin I. F. *Guide to the study of fish, Fourth edition revised and supplemented*. Moscow: Food industry, 1966. 302 p. (In Russ.)
11. Ostroumova I. N. Biological bases of fish feeding. Saint Petersburg: GOSNIORH, 2012. 564 p. (In Russ.)
12. Sklyarov V. Ya. *Feed and feeding of fish in aquaculture*. Moscow: VNIRO Publishing House, 2008. 150 p. (In Russ.)
13. Sklyarov V. Ya., Studentsova N. A. *Biological foundations of rational use of feed in aquaculture*. Moscow: Rosinformagrotech, 2001. 56 p. (In Russ.)
14. Vlasov V. A. Rationing of the daily amount of feed for rainbow trout grown in cages in warm waters, depending on the growth rate of fish. *Warm-water aquaculture and biological productivity of arid climate reservoirs: proceedings and reports of the international symposium*. Astrakhan, 2007. Pp. 397–399. (In Russ.)
15. Vlasov V. A., Elshov A. V., Kulkova I. S. Use of biologically active additives in feeding fish. *Fish Farming and Fisheries*. 2018; 3: 68–76. (In Russ.)
16. Cincotti A., Lai N., Orrù R. Sardinian natural clinoptilolites for heavy metals and ammonium removal: experimental and modeling. *Chemical Engineering Journal*. 2001; 84: 275–282.
17. Pizzagalli M. D., Bensimon A. D., Superti-Furga G. A. Guide to plasma membrane solute carrier proteins. *The FEBS Journal*. 2021; 288: 2784–2835. DOI: 10.1111/febs.15531.
18. Henryon M., et al. Genetic variation for growth rate, feed conversion efficiency, and disease resistance exists within farmed populations of rainbow trout. *Aquaculture*. 2002; 209 (1–4): 59–76.
19. Bruun M. S., et al. The fate of chemical additives and antimicrobial agents applied in Danish freshwater fish farms. *World Aquaculture*. 2007; 2: 57–61.
20. Gaponov N. V. Changes in physiological, biochemical and histological parameters in trout muscles when white lupine is included in the diet structure. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2025; 118: 269–276. DOI: 10.21515/1999-1703-118-269-276. (In Russ.)

Author's information:

Nikolay V. Gaponov, candidate of biological sciences, senior researcher, All-Russian Lupine Scientific Research Institute – branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Michurinskiiy settlement, Bryansk region, Russia; ORCID 0000-0002-5086-7943, AuthorID 1038189. E-mail: nv.1000@bk.ru

Влияние качества молока на продуктивности ремонтных телок в молочный период выращивания

А. Ю. Лаврентьев¹✉, М. С. Упинин², М. С. Упинин¹, Р. Н. Иванова¹

¹ Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия

² ООО «Мустанг Технологии Кормления», Москва, Россия

✉ E-mail: lavrentev65@list.ru

Аннотация. В нынешних условиях разведения крупного рогатого скота первое осеменение телок проводят в возрасте 13–14 месяцев. При этом их отел и ввод в основное стадо происходит в возрасте 22–23 месяцев. Все это совершается только при соблюдении детализированных норм кормления, использования комбикормов и биологически активных веществ. При этом большое значение имеют их рост и развитие при выращивании. Особое внимание уделяют молочному периоду их выращивания, когда большое значение имеет качество молозива и молока. **Целью** наших исследований является влияние состава и качества молока коров в период раздоя и спада лактации на рост ремонтных телок в молочный период выращивания. **Методы исследования.** Для исследований было образовано 2 группы животных по 10 телят в каждой. Выпойка телят производилась 2 раза в сутки. Во время всего опыта телята имели постоянный доступ к воде и комбикорму. **Научная новизна.** Впервые изучены рост и развитие телят ремонтной группы в период выращивания при использовании молока коров разных физиологических групп, в частности от группы коров при раздое и группы коров при спаде лактации. Выявлено, что использование молока коров из группы спада лактации способствовало лучшему росту и развитию ремонтных телок. **Результаты.** Опыт позволил выявить закономерности и сделать соответствующие выводы, что, используя молоко от коров, содержащихся в группе спада лактации, возможно получить абсолютный прирост живой массы за молочный период в 875 г за счет того, что по сравнению с молоком, полученным от раздойных коров, в нем отмечается большее количество жира и белка.

Ключевые слова: молоко, корова, выпойка, ремонтный молодняк, крупный рогатый скот, питательность, телята, период выращивания, жир, белок, среднесуточный прирост

Для цитирования: Лаврентьев А. Ю., Упинин М. С., Упинин М. С., Иванова Р. Н. Влияние продуктивности ремонтных телок в молочный период выращивания от качества молока // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 297–305. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-297-305>.

Дата поступления статьи: 06.02.2025, **дата рецензирования:** 09.06.2025, **дата принятия:** 10.12.2025.

The effect of milk quality on the productivity of repair heifers during the dairy growing period

A. Yu. Lavrentyev¹✉, M. S. Upinin², M. S. Upinin¹, R. N. Ivanova¹

¹ Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia

² “Mustang Feeding Technologies” LLC, Moscow, Russia

✉ E-mail: lavrentev65@list.ru

Abstract. According to modern standards for the cultivation of Holstein repair heifers, insemination is performed when they reach a live weight of 375–385 kg, and the sooner the animal reaches these parameters, the earlier its first calving will occur, and, consequently, the animal will enter the main milking herd and begin to make a profit. During insemination at the age of 13–14 months, repair heifers are introduced into the main herd at the age of 22–23 months. Obtaining such parameters becomes possible if detailed feeding standards for repair heifers are followed and special feed additives are used to ensure the consumption of the required amount of dry matter with the feed. At the same time, their growth and development at the age of up to 6 months, that is, during cultivation, is important. **The purpose** of our research is to influence the composition and quality of cow's milk during the breeding season and during lactation decline on the growth and development of repair heifers during the dairy growing season. **Research methods.** To conduct the research, we formed 2 groups of animals with 10 calves each. At the same time, the animals were selected using the method of analog groups. The calves were watered 2 times a day from special drinking buckets equipped with a nipple. During the entire experiment, the calves had constant access to water and mixed feed. **Scientific novelty.** For the first time, the growth and development of replacement calves during the rearing period was studied using milk from cows of different physiological groups, specifically from a group of cows during lactation decline and a group of cows during lactation decline. It was found that using milk from cows from the lactation decline group contributed to improved growth and development of replacement heifers. At the same time, the control group of repair heifers received milk milked from cows during the first 60 days of lactation, and the second group of calves consumed milk from cows in the lactation decline group. Experience has made it possible to identify patterns and draw appropriate conclusions that using milk from cows kept in the lactation decline group, it is possible to obtain an absolute increase in body weight over the dairy period of 875 g, due to the fact that, compared with milk obtained from dairy cows, it contains a greater amount of fat and protein

Keywords: milk, cow, drinking, repair young animals, cattle, nutritional value, calves, growing period, fat, protein, average daily growth

For citation: Lavrentyev A. Yu., Upinin M. S., Upinin M. S., Ivanova R. N. The effect of milk quality on the productivity of repair heifers during the dairy growing period. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 297–305. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-297-305>. (In Russ.)

Date of paper submission: 06.02.2025, **date of review:** 09.06.2025, **date of acceptance:** 10.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Кормление ремонтного молодняка от рождения до первого отела должно быть систематизированным и иметь определенные цели. Чтобы правильно кормить телку, надо определить, в каком возрасте она должна отелиться (обычно между 22 и 24 месяцами), какого веса она должна достигнуть к созреванию. Зная эти два показателя, можно посчитать необходимую норму прироста в период от рождения до успешного осеменения, чтобы животное набрало 50–55 % массы тела взрослой особи к возрасту 13–15 месяцев.

После рождения телята еще не способны в достаточной степени ферментировать корм с большим содержанием клетчатки. После отела для обеспечения адекватного пассивного переноса антител

от матери к потомству все телята должны получать не менее 3 л высококачественного молозива (концентрация IgG > 50 мг/мл) в течение 6 часов после рождения, второе кормление должно происходить между 8 и 12 часами после рождения. Возможен альтернативный подход, когда вводят 4 л молозива в течение 6 часов после рождения. Кормление молозивом следует продолжать до достижения телятами трехдневного возраста; однако первоначальное кормление молозивом имеет решающее значение для пассивной передачи иммунитета.

Для формирования у телят молочного типа телосложения лучше применять малоконцентратный тип кормления с расчетом получения 800–900 г среднесуточного прироста. Это обеспечит в 6-месячном возрасте живую массу телочек 180 кг, быч-

ков – 200 кг. За этот период необходимо израсходовать на каждую голову 400 кг молока, 700 кг обрат, 100 кг концентрированных кормов, 130 кг корнеплодов и клубнеплодов и 320 кг сена. В летний период грубые и сочные корма целесообразно заменить зелеными кормами – 900 кг на голову [1–4].

Основными факторами направленного выращивания молодняка являются уровень и характер (тип) кормления растущих животных, а также условия их содержания. В первые 10–15 дней жизни телят содержат в индивидуальных переносных клетках размером 110 × 45 × 90 см с высотой ножек 25 см. Задняя часть пола в клетке решетчатая с шириной щелей 12 мм. Лучше всего использовать деревянные клетки, т. к. они легкие и зимой не требуют обогрева. В первые 40–50 дней рекомендуется выпаивать 6–12 кг цельного молока в сутки. Общий расход молока за этот период составит 300–550 кг. Затем цельное молоко постепенно заменяют обратом и с двухмесячного возраста полностью исключают молоко из рациона, а суточную дачу обрат доводят до 10 кг [5].

Залогом будущего рентабельного производства молока является правильное выращивание ремонтных телок. При осеменении в возрасте 13–14 месяцев ввод ремонтных телок в основное стадо происходит в возрасте 22–23 месяцев. Достижение таких результатов возможно при получении 935–970 г среднесуточного прироста живой массы в период с рождения до осеменения. Рост и развитие телят с рождения и до наступления момента полного функционирования рубца напрямую зависит от качественных показателей и энергетической ценности молока или же заменителя цельного молока, используемого при выпойке, и престартерных, а затем и стартерных комбикормов, которые способствуют образованию папилл рубца [6–10]. При этом увеличение потребности телят в этот период в концентрированных кормах благоприятно отражается на плавном приучении животных к полнорационным рационам [11].

Теленка следует приучить к поеданию грубых кормов как можно раньше. Это будет способствовать более ранней работе преджелудков, а она ведет к появлению жвачки у телят. В настоящее время установлено, что первая жвачка у телят происходит на 35–45-й день жизни. У телят, которые приучаются к раннему поеданию сена, жвачка появляется примерно на 10 дней раньше. Это будет влиять на энергию роста телят.

Качество молока зависит от многих факторов: зоогигиены, рутины доения, кормления, генетики и физиологического состояния животных. Так, например, учеными доказано, что у новотельных животных после 5–7-го дня от отела наблюдается низкий уровень жира и белка в молоке, а у коров перед запуском он значительно повышается [12–15].

Исходя из этого исследование влияния состава молока на рост и развитие ремонтных телок в период выращивания является актуальным.

Целью наших исследований является изучение влияния состава и качества молока коров в период раздоя и в период спада лактации на рост и развитие ремонтных телок в молочный период выращивания.

Методология и методы исследования (Methods)

Научно-хозяйственный опыт был проведен на базе хозяйства, расположенного на территории Республики Татарстан, в период с 18 июня по 17 августа 2024 года с целью определения параметров роста и развития ремонтных телок в зависимости от качества молока, используемого для выпойки телят.

Для решения целей и задач провели опыты на 2 группах ремонтных телок в молочный период выращивания по 10 голов в каждой. При этом животных отбирали по методу групп-аналогов. Животные содержались в индивидуальных клетках, оснащенных выгульной площадкой, которая, в свою очередь, оснащается креплением для ведра, применяемого для выпойки молоком, ведра, куда наливается вода для питья, и ведра, из которого теленок поедает комбикорм, боксом из пластмассы, конструкция которого имеет вентиляцию и защиту от прямых солнечных лучей.

Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1
Схема научно-хозяйственного опыта

Группа	Количество телят, гол.	Особенности выпойки
Контрольная	10	Молоко от раздойных коров
Опытная	10	Молока от коров в группе спада лактации

Table 1
Scheme of scientific and economic experience

Group	Number of calves, head	Features of drinking
Control	10	Milk from dairy cows
Experienced	10	Milk from cows in the lactation decline group

Выпойка телят производилась 2 раза в сутки из специальных ведер-поилок, оснащенных соском. Во время всего опыта телята имели постоянный доступ к воде и комбикорму. Продолжительность опыта составила 60 суток до момента снятия с выпойки телят согласно программе кормления телок от 0- до 6-месячного возраста. Выпойку молоком начинали со 2-го дня жизни телят. Особенностью нашего эксперимента было то, что в контрольной группе животных выпаивали молоком, выдоенным от коров в период раздоя, до 60-го дня в доении перед переводом их в производственную группу согласно протоколу движения скота в предприятии, в опытной же группе телята потребляли молоко от коров, находящихся в группе спада лактации.

Результаты (Results)

Организация питания телят в молочный период является главным фактором при их выращивании. Подходы к ней различаются в зависимости от возраста теленка.

Молоко и молозиво являются высококачественными кормами для выпойки телят, однако при их использовании необходимы адекватные меры предосторожности в области биобезопасности: обязательно проводить пастеризацию и обследовать коров на хронические инфекционные заболевания, например лейкоз крупного рогатого скота.

Молозиво матери – первый корм новорожденного. Оно высокопитательно и крайне необходимо молодняку сразу после рождения. Молозиво содержит в сравнении с молоком значительно больше сухого вещества. Особенно много в нем белка в форме глобулина и альбумина, несколько больше жира, минеральных веществ, оно богато витамином А и каротином. В молозиве больше фосфорной кислоты, кальция, а также солей магния, которые повышают активность пищеварительных желез, оказывают послабляющее действие и способствуют очищению кишечника теленка от первородного кала. В крови новорожденного почти отсутствуют глобулины и антитела, но они появляются в ней через некоторое время после кормления его молозивом. Поступившие с молозивом иммуноглобулины обеспечивают пассивный иммунитет теленка, кроме того, они играют определенную роль и в образовании активного иммунитета в их организме. В связи с этим очень важно, чтобы теленок потребил в первые дни своей жизни полную норму молозива. Не рекомендуется задерживать первое кормление новорожденного теленка дольше, чем на час. При этом следует проследить, чтобы его температура была на уровне 39 °С.

Молозиво теленок должен получить теплое, парное, абсолютно чистое в бактериологическом отношении и лучше всего из вымени матери. Количество молозива за одно кормление не должно превышать размера желудка (5 % живой массы). Желательно поить телят молозивом вволю, но при этом

не перекармливать, так как от перекорма может возникнуть расстройство пищеварения. В первое кормление крупным здоровым телятам выпаивают 1,5–2 кг молозива, а слабым – 0,75–1 кг. Рекомендуется в первые дни кормить телят чаще, доводя суточную норму молозива до 6–8 л (в зависимости от живой массы теленка). Необходимо обеспечить плавный переход в послемолозивный период, переводя потребление молока из сосковой поилки. Правильное использование молозива позволяет значительно повысить сохранность телят.

После молозивного периода традиционная стратегия кормления при выращивании ремонтного молодняка – минимизация финансовых затрат на успешное выращивание теленка до съема с молока, поскольку этот период кормления является самым дорогостоящим в выращивании молодняка. В основе такого подхода лежит скармливание ограниченного количества жидкого корма, чтобы стимулировать потребление престартерных комбикормов.

Престартерные комбикорма стимулируют раннее развитие рубца, что позволяет снимать теленка с молочной выпойки в относительно раннем возрасте (обычно 4–8 недель). С помощью такой методики легче добиться минимальных затрат на кормление, хотя и темпы роста ниже максимально возможных. Кроме того, риск развития кишечных заболеваний после снятия с молока гораздо меньше, чем в период выпойки, что делает ранний отъем полезным для профилактики кишечных заболеваний.

Большое значение при выращивании телят для ремонта собственного стада имеют их рост и развитие в молочный период. Как телята будут прибавлять в массу в молочный период, так они и будут развиваться в дальнейшем. Все это зависит от количества, качества и состава молока, выпаиваемого телятам в молочный период. Качество и состав молока коров при раздое и в период спада лактации неодинаковы, они по-разному оказывают воздействие на рост и развитие.

Качественный состав молока коров при раздое зависит от характера кормления животных и того, какой период прошел от отела. Рацион, включающий оптимальное количество высококачественных объемистых кормов, с достаточным количеством протеина и углеводов, активизирует процессы рубцового пищеварения и способствует повышению содержания жира в молоке. Наоборот, хронический недокорм, дефицит энергии в рационе ведет к снижению жира в молоке. Содержание белка в молоке при правильном кормлении обычно составляет 3,0–3,5 %. Его концентрация в молоке снижается при недостатке энергии, особенно в начале лактации. Сбалансированное, полноценное питание с достаточным количеством в рационе сахаров, протеина, микроэлементов и витаминов позволяет повысить уровень белка в молоке на 0,3–0,4 % и более.

Таблица 2
Показатели жира и белка в молоке, %

Дата взятия анализа	Молоко от раздойных коров		Молоко от коров с группы спада	
	Жир	Белок	Жир	Белок
17.06.2024	3,25	2,91	3,81	3,2
27.06.2024	3,31	2,89	3,8	3,21
07.07.2024	3,15	2,9	3,95	3,31
17.07.2024	3,23	2,92	3,74	3,24
27.07.2024	3,27	2,91	3,83	3,2
06.08.2024	3,18	2,9	3,72	3,1
16.08.2024	3,19	2,97	3,79	3,22
Среднее за период опыта	3,23	2,91	3,81	3,21

Table 2
Indicators of fat and protein in milk, %

Date of analysis	Milk from dairy cows		Milk from cows from the recession group	
	Fat	Protein	Fat	Protein
17.06.2024	3.25	2.91	3.81	3.2
27.06.2024	3.31	2.89	3.8	3.21
07.07.2024	3.15	2.9	3.95	3.31
17.07.2024	3.23	2.92	3.74	3.24
27.07.2024	3.27	2.91	3.83	3.2
06.08.2024	3.18	2.9	3.72	3.1
16.08.2024	3.19	2.97	3.79	3.22
Average over the period of experience	3.23	2.91	3.81	3.21

При спаде лактации качественный состав молока коров меняется. Например, в молоке коров выше 4-й лактации, которое выделяется в течение 7–15 дней перед окончанием лактации, повышается количество лейкоцитов, жира, белков, ферментов (липазы), минеральных веществ и уменьшается содержание лактозы. Вкус такого молока горьковато-солончатый из-за повышенного количества свободных жирных кислот и хлоридов. Также в конце лактации повышается концентрация почти всех белковых фракций, за исключением κ-казеина и Р-фракции, содержание которых, напротив, снижается. Одновременно количество γ-казеина, иммуноглобулина и альфа-лактальбумина в молоке повышается сильнее, чем других белков. Эти изменения становятся основной причиной ухудшения технологических свойств молока коров на последнем месяце лактации.

Уровень кормления, качество и полноценность кормов должны обеспечить оптимальный рост и развитие телок, плодотворное осеменение, высокую молочную продуктивность будущих коров и их долготелее использование с минимальными затратами. Считают, что высокий уровень кормления от 2 до 10-месячного возраста формирует животных, способных наиболее полно реализовать генетический потенциал молочной продуктивности.

Качественную оценку молока, используемого в кормлении подопытных животных, проводили еженедельно, используя анализатор «Клевер-2М», который имеется в хозяйстве. В таблице 2 представлены результаты анализов молока.

Из данных таблицы 2 видим, что показатели химического состава молока, используемого при выпойке подопытных телок, были неодинаковыми. Поэтому при одинаковом количестве молока, даваемого ремонтной группе телок в период выращивания, опытная группа получала больше питательных веществ, чем контрольная группа. Из-за большего потребления этих питательных веществ были различия и в получении приростов живой массы за опытный период. Так, среднее значение по проценту содержания жира в молоке коров на спаде лактации было выше аналогичного показателя молока коров, находящихся в стадии раздоя, на 0,58 %. По проценту белка аналогично отклонение было в пользу молока коров на спаде лактации на 0,3 %. То есть сухого вещества, где содержалось больше питательных веществ, телки опытной группы при одинаковом объеме выпойки получали больше.

Интенсивность роста и его влияние на будущую молочную продуктивность – один из наиболее изученных аспектов выращивания молочных телок и один из наиболее неопределенных по результатам и выводам. Многие ученые, изучавшие проблемы выращивания ремонтных телок черно-пестрой и других пород, приходили к разным выводам. По мнению некоторых исследователей, программа выращивания ремонтных телок должна удовлетворять умеренному нормальному росту и развитию телок, а также формированию у них высокой молочной продуктивности и крепкой конституции. В то же время она должна обеспечивать использование жи-

вотных более раннего возраста для производственных и племенных целей, быть экономичной по стоимости и базироваться на скармливании дешевых растительных кормов.

Рост животных показывает процесс увеличения размеров и массы тела организмов в ходе их индивидуального развития (онтогенеза). Он выражается в увеличении массы, размера и объема веществ клеток, межклеточных веществ, а также тканей и целых органов. Для учета роста животных проводят систематические взвешивания и измерения. Кроме абсолютных показателей массы, учитывают абсолютную (увеличение массы животного за определенный отрезок времени – среднесуточный, среднемесячный прирост) и относительную (процентное отношение прибавки массы за определенный период к полсуммы начальной и конечной массы) скорость роста.

В молочный период происходит значительная функциональная перестройка органов пищеварения, вырабатывается способность усваивать питательные вещества растительных кормов, усиливается белковый, минеральный и водный обмен в организме. Указанный период характеризуется одновременным интенсивным ростом органов и тканей, способностью животных давать высокие приросты. Интенсивность роста в этот период зависит от принятой в хозяйстве схемы кормления и целей выращивания молодняка. Приросты телят в раннем возрасте характеризуются относительно высоким

содержанием белка и меньшим – жира. С возрастом у молодняка увеличивается отложение жира, а также минеральных веществ. Однако на состав прироста большое влияние оказывает уровень кормления. Обильное кормление способствует повышенному отложению в теле жира.

Оценку роста проводили путем взвешивания телят на электронных платформенных весах в возрасте одного месяца и по достижении ими двухмесячного возраста в момент снятия с выпойки. Данные заносили в журнал исследований, после чего рассчитывали абсолютный и среднесуточный приросты живой массы телок. Полученные данные отражены в таблице 3.

Результаты проведенных контрольных взвешиваний ремонтных телок в возрасте одного месяца и по достижении ими двухмесячного возраста показали, что подопытные животные контрольной группы уступали по показателям роста телкам опытной группы. Так, по итогу научно-хозяйственного опыта среднесуточный прирост живой массы телок, которым выпаивалось молоко от коров на спаде лактации, составил 875 г, что на 85,8 г выше аналогичного показателя телок, на выпойку которых использовали молоко от раздойных коров. Абсолютный прирост живой массы за опытный период в контрольной группе составил 47,35 кг, а в опытной группе – 52,5 кг, что на 10,9 % выше, чем в контрольной группе.

Таблица 3
Показатели роста подопытных телок

Контрольное взвешивание	Группа	
	Контрольная	Опытная
Вес при рождении, кг	35,75	35,7
Взвешивание 18.07.2024, кг	56,95	58,4
Абсолютный прирост, кг	21,2	22,7
Среднесуточный прирост, г	706,7	756,7
Взвешивание 17.08.2024, кг	83,1	88,2
Абсолютный прирост с последнего взвешивания, кг	26,15	29,8
Среднесуточный прирост с последнего взвешивания, г	871,7	993,3
Абсолютный прирост за период опыта, кг	47,35	52,5
Среднесуточный прирост за период опыта, г	789,2	875

Table 3
Growth rates of experimental heifers

Control weighing	Group	
	Control	Experienced
Birth weight, kg	35.75	
Weighing on 07.18. 2024, kg	56.95	58.425.7
Absolute weight gain, kg	24.2	22.7
Average daily increase, g	706.7	456.7
Weighing on 17.18.2024, kg	83.1	88.2
Absolute increase since the last weighing, kg	26.15	29.8
Average daily increase since the last weighing, g	871.7	993.3
Absolute gain over the period of experience, kg	47.35	52.5
Average daily increase over the period of experience, g	789.2	875

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Большое внимание в селекционном процессе и технологии молочного животноводства должно уделяться выращиванию ремонтного молодняка. Интенсивность роста молодняка при выращивании должна быть достаточно высокой, так как снижение сроков ввода молодых животных в основное стадо способствует повышению воспроизводства, снижению расходов на ремонт стада, которые являются существенными статьями затрат на производство молока. Выращивание должно быть организовано так, чтобы при рациональных затратах труда и кормов обеспечить оптимальный рост и развитие молодняка, заложить основу для последующей высокой продуктивности взрослых животных. Правильное выращивание молодняка в значительной мере обуславливает оптимальное проявление генетической продуктивности животных.

Молодые растущие животные способны давать высокие приросты при более низких затратах энергии и протеина кормов. В молодом возрасте телята дают приросты с высоким содержанием белка и меньшим – жира. Эту биологическую особенность целесообразно использовать, обеспечивая необходимые условия для оптимизации роста молодняка в различные возрастные стадии.

Динамика роста и развития, возраст первого осеменения и отела зависят от большого количества факторов. Основной целью, как правило, является определение живой массы и продуктивности, которые следует получить в будущем. При любой цели выращивания ремонтные телки должны быть подготовлены к длительной и высокопродуктивной жизни. При оптимальном развитии половое созревание телят не задерживается, и к первому отелу они достигают желаемой массы, т. е. 80–85 % от планируемой массы взрослой коровы.

Одним из важных направлений деятельности любой молочной фермы является выращивание ремонтного молодняка – телок, которые по достижении половозрелого возраста станут частью основного стада. От того, как будет организован этот процесс, зависят здоровье и продуктивность животных, а значит, и доходность самого хозяйства.

Молозивный период, длящийся первые три дня после рождения теленка, чрезвычайно важен для его дальнейшего развития. Выпойка молозивом с первых часов жизни позволяет животному сформировать хороший колостральный иммунитет, кото-

рый защитит его от болезней и станет основой здоровья и продуктивности. При этом три фактора – своевременность выпойки, качество и количество молозива – закладывают основу хорошего старта и дальнейшего роста и развития теленка.

Молочный период длится с 4-го по 56-й день жизни. На этом этапе главной задачей является развитие рубца, который впоследствии позволит животному потреблять нужное количество грубых кормов. Основой питания теленка в данный период является молоко или заменитель цельного молока (ЗЦМ). У хозяйств часто возникает вопрос, что лучше использовать для выпойки: ЗЦМ или цельное молоко? Все зависит от технологичности и экономики хозяйства. Для теленка важна стабильность в качестве выпойки с точки зрения как питательности (протеин, жир, энергия, витамины, минеральные элементы), так и физических параметров (количество сухого вещества, бактериальная обсемененность, отсутствие антибиотиков). Этим параметрам лучше отвечает ЗЦМ как более сбалансированный и стабильный по питательности продукт, в то время как контроль стабильности качества цельного молока требует дополнительных затрат и усилий со стороны хозяйства. В молочный период в рацион необходимо включать престартерные и стартерные корма, которые стимулируют развитие рубца и формируют его микробиоту.

Опираясь на все вышеизложенное, можно сделать вывод, что большое значение на рост ремонтных телок в молочный период оказывают качественные показатели молока, которое используется для выпойки телят. При проведении исследования у ремонтных телок в молочный период, которые получали молоко от коров в период спада лактации, абсолютный прирост был выше, чем у ремонтных телок, которые получали молоко от коров в период раздоя. При этом надо отметить, что ремонтные телки обеих групп получали одинаковое количество молока за опытный период.

Таким образом, молоко, полученное от группы коров периода спада лактации, имеет более высокое содержание жира и белка по сравнению с молоком от коров группы раздоя в первые 60 суток лактации. Поэтому при одинаковом количестве молока, данного ремонтным телкам контрольной и опытной групп, более высокие приросты показали ремонтные телки опытной группы.

Библиографический список

1. Кот А. Н., Горлов И. Ф., Натиров А. К., Мороз Н. Н., Скрипин П. В., Козликин А. В., Радчиков В. Ф., Шарейко Н. А. Влияние способа кормления телят в молочный период на их последующую продуктивность // Зоотехническая наука Беларуси. 2023. Т. 58, № 1. С. 244–253.
2. Лещук Т., Алексеева Е. Выпайваем телят молочными продуктами // Животноводство России. 2023. № 4. С. 37–38. DOI: 10.25701/ZZR.2023.03.03.007.

3. Рядчиков В. Ф., Кот А. Н., Цай В. П. Влияние кратности кормления на использование протеина и продуктивность молодняка крупного рогатого скота // Актуальні проблеми підвищення якості та безпека виробництва й переробки продукції тваринництва : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Дніпро, 2021. С. 92–97.
4. Терновых К. С., Кучеренко О. И. Инновации в организации производства продукции животноводства в России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16, № 1 (76). С. 98–105. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_98.
5. Байков А. С. О целесообразности использования кавитированного фуражного зерна и отходов мукомольного производства в рационах молодняка крупного рогатого скота // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103, № 1. С. 158–167. DOI: 10.33284/2658-3135-103-1-158.
6. Markowiak P., Śliżewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition // Gut Pathogens. 2020. No. 10 (21). DOI: 10.1186/s13099-018-0250-0.
7. Некрасов Р. В., Чабаев М. Г., Цис Е. Ю. [и др.] Использование бифидосодержащей кормовой пробиотической добавки в кормлении молодняка крупного рогатого скота // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 3. С. 3–8. DOI: 10.33943/MMS.2021.10.78.001.
8. Кармацких Ю. А., Костомахин Н. М. Кормление ремонтных телок в молочный период выращивания // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2022. № 11. С. 32–44. DOI: 10.33920/sel-05-2211-03.
9. Упинин М. С., Лаврентьев А. Ю., Костомахин Н. М. Влияние комплексных функциональных добавок на рост и развитие телят // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2023. № 7 (216). С. 26–36. DOI: 10.33920/sel-05-2307-03.
10. Тохметов Т. М. Эффективность скармливания кормосмеси телятам // Сельское, лесное и водное хозяйство. 2013. № 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://agro.snauka.ru/2013/01/861> (дата обращения: 31.01.2025).
11. Гунашев И. А., Гаджаева З. М., Алиева С. М., Ахмедханова Р. Р. Влияние факторов кормления на рост и развитие молодняка крупного рогатого скота // Проблемы развития АПК региона. 2022. № 1 (49). С. 79–87. DOI: 10.52671/20790996-2022-1-79.
12. Забашта Н. Н., Головки Е. Н., Лисовицкая Е. П. [и др.] Афлатоксин АФМ1: Безопасность и качество молока // Ветеринария Кубани. 2020. № 1. С. 11–14. DOI: 10.33861/2071-8020-2020-1-11-14.
13. Емельянова В. Г., Дмитриев М. Ю. Влияние кормового фактора на процессы роста молодняка крупного рогатого скота // Актуальные вопросы современных научных исследований: сборник статей Международной научно-практической конференции в 2 частях. Пенза, 2023. С. 184–186.
14. Карташова А. П., Фирсова Э. В. Комплексная оценка скота молочного направления продуктивности // Аграрный вестник Урала. 2020. № 10 (201). С. 50–56. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-201-10-50-56.
15. Михайлова Л. Р., Лаврентьев А. Ю., Шерне В. С. Рожьсодержащие комбикорма в рационе бычков на доращивании // Аграрная наука. 2022. № 6. С. 37–42. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-360-6-37-42.

Об авторах:

Анатолий Юрьевич Лаврентьев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой общей и частной зоотехнии, Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия; ORCID 0000-0001-5793-8786. E-mail: lavrentev65@list.ru

Манас Сергеевич Упинин, кандидат сельскохозяйственных наук, старший консультант-эксперт, ООО «Мустанг Технологии Кормления», Москва, Россия; ORCID 0009-0004-4772-592X. E-mail: manasvagner@mail.ru

Максим Сергеевич Упинин, аспирант кафедры общей и частной зоотехнии, Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия; ORCID 0009-0000-1148-7086. E-mail: upininmaksim@mail.ru

Раиса Николаевна Иванова, доцент кафедры биотехнологий и переработки сельскохозяйственной продукции, Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия; ORCID 0000-0001-6500-7957. E-mail: raisanikolaevn@mail.ru

References

1. Kot A. N., Gorlov I. F., Natyrov A. K., Moroz N. N., Skripin P. V., Kozlikin A. V., Radchikov V. F., Sha-reiko N. A. Influence of the feeding method of calves during the milk period on their subsequent productivity. *Zootechnical Science of Belarus*. 2023; 58 (1): 244–253. (In Russ.)
2. Leshchuk T., Alekseeva E. We feed calves with dairy products. *Animal Husbandry of Russia*. 2023; 4: 37–38. DOI: 10.25701/ZZR.2023.03.03.007. (In Russ.)

3. Ryadchikov V. F., Kot A. N., Tsay V. P. The influence of the frequency of feeding on the use of protein and the productivity of young cattle. *Current problems of improving the quality and safety of production and processing of livestock products: materials of the International Scientific and Practical Conference*. Dnipro, 2021. Pp. 92–97. (In Russ.)
4. Ternovykh K. S., Kucherenko O. I. Innovations in the organization of livestock production in Russia. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2023; 16 (1): 98–105. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_98. (In Russ.)
5. Baykov A. S. On the feasibility of using cavitated feed grain and waste of flour milling in the diets of young cattle. *Animal Husbandry and Forage Production*. 2020. DOI: 10.33284/2658-3135-103-1-158. (In Russ.)
6. Markowiak P., Śliżewska K. The role of probiotics, prebiotics and synbiotics in animal nutrition. *Gut Pathogens*. 2020; 10 (21). DOI: 10.1186/s13099-018-0250-0.
7. Nekrasov R. V., Chabaev M. G., Tsis E. Yu., et al. Use of bifidobacteria-containing feed probiotic supplement in feeding young cattle. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2021; 3: 3–8. DOI: 10.33943/MMS.2021.10.78.001. (In Russ.)
8. Karmatskikh Yu. A., Kostomakhin N. M. Feeding of replacement heifers during the rearing in the preweaning period. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2022; 11: 32–44. DOI: 10.33920/sel-05-2211-03. (In Russ.)
9. Upinin M. S., Lavrentyev A. Yu., Kostomakhin N. M. Influence of complex functional additives on the growth and development of calves. *Feeding of Agricultural Animals and Feed Production*. 2023; 7: 26–36. DOI: 10.33920/sel-05-2307-03. (In Russ.)
10. Tokhmetov T. M. Efficiency of feeding calves with feed mixture. *Agriculture, Forestry and Water Management*. 2013 [Internet] [cited 2025 Jan 31]. Available from: <https://agro.snauka.ru/2013/01/861>. (In Russ.)
11. Gunashev I. A., Gadzhaeva Z. M., Alieva S. M., Akhmedkhanova R. R. Influence of feeding factors on the growth and development of young cattle. *Problems of Development of the Regional Agro-Industrial Complex*. 2022; 1: 79–87. DOI: 10.52671/20790996_2022_1_79. (In Russ.)
12. Zabashta N. N., Golovko E. N., Lisovitskaya E. P., et al. Aflatoxin AFM1, safety and milk quality. *Veterinaria Kubani*. 2020; 1: 11–14. DOI: 10.33861/2071-8020-2020-1-11-14. (In Russ.)
13. Emelyanova V. G., Dmitriev M. Yu. Influence of feed factor on growth processes of young cattle. *Actual issues of modern scientific research: collection of articles of the International scientific and practical conference in 2 parts*. Penza, 2023. Pp. 184–186. (In Russ.)
14. Kartashova A. P., Firsova E. V. Multipurpose evaluation of the dairy cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; 10: 50–56. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-201-10-50-56. (In Russ.)
15. Mikhaylova L. R., Lavrentyev A. Yu., Sherne V. S. Rye containing compound feeds in the diet of bulls on rearing. *Agrarian Science*. 2022; 6: 37–42. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-360-6-37-42. (In Russ.)

Authors' information:

Anatoliy Yu. Lavrentyev, doctor of agricultural sciences, professor, head of the department of general and private animal science, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia; ORCID 0000-0001-5793-8786.

E-mail: lavrentev65@list.ru

Manas S. Upinin, candidate of agricultural sciences, senior consultant-expert, “Mustang Feeding Technology” LLC, Moscow, Russia; ORCID 0009-0004-4772-592X. *E-mail: manasvagner@mail.ru*

Maksim S. Upinin, postgraduate of the department of general and private animal science, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia; ORCID 0009-0000-1148-7086. *E-mail: upininmaksim@mail.ru*

Raisa N. Ivanova, associate professor of the department of biotechnology and processing of agricultural products, Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia; ORCID 0000-0001-6500-7957.

E-mail: raisanikolaevn@mail.ru

Метаболические биомаркеры герефордского скота в раннем возрасте как предикторы живой массы телок при отъеме

К. Н. Нарожных, М. А. Барсукова ✉

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

✉ E-mail: mariabar23@yandex.ru

Аннотация. Раннее прогнозирование потенциала роста является ключевым фактором повышения эффективности производства говядины. Несмотря на доказанную эффективность генетической селекции, метаболический статус животного может выступать лимитирующим фактором в реализации его продуктивного потенциала. **Целью** данного исследования являлось выявление гематологических и биохимических биомаркеров в раннем возрасте, ассоциированных с ростом телок мясного скота до отъема, и разработка робастной, валидированной прогностической модели для живой массы при отъеме. **Методы.** Исследование было проведено на группе телок герефордской породы ($n = 46$). Образцы крови отбирались в период отъема для комплексного гематологического и биохимического анализа. Были зарегистрированы живая масса при отъеме (в 205 дней) и данные по продуктивности их матерей. Множественная линейная регрессионная модель была построена с использованием метода пошагового обратного отбора на основе информационного критерия Акаике (AIC). Финальная модель прошла строгую диагностическую проверку на нормальность распределения остатков (критерий Шапиро – Уилка) и гомогенность дисперсии (критерий Бреуша – Пагана). Прогностическая способность и устойчивость модели оценивались с помощью перекрестной проверки по методу исключения по одному (LOOCV). **Научная новизна** заключается в поиске надежных предикторов живой массы молодняка герефордского скота на ранних этапах выращивания. **Результаты.** Итоговая регрессионная модель была статистически значимой ($F = 3,241$, $p = 0,01776$) и объясняла 31 % вариации живой массы при отъеме (скорректированный $R^2 = 0,3095$). Три ключевых предиктора показали значимое влияние: живая масса матери при рождении (4,33 кг на каждый кг; $p = 0,006$), концентрация мочевины в сыворотке крови ($-2,60$ кг на ммоль/л; $p = 0,032$) и уровень холестерина (2,17 кг на ммоль/л; $p = 0,047$). Диагностические тесты подтвердили соответствие модели допущениям линейной регрессии. Кросс-валидация продемонстрировала робастность модели, показав R^2 перекрестной проверки 0,243 и среднеквадратичную ошибку RMSE = 16,33 кг. Результаты показывают, что сочетание генетического потенциала матери (отраженного в ее собственном весе при рождении) и метаболического профиля телки является сильным предиктором роста до отъема. В частности, низкий уровень мочевины и высокий уровень холестерина в сыворотке крови можно рассматривать как благоприятные биомаркеры эффективного анаболического метаболизма, направленного на рост. Данная валидированная модель представляет собой объективный инструмент для ранней идентификации физиологически эффективных телок, являясь ценным дополнением к традиционным программам селекции в мясном скотоводстве.

Ключевые слова: мясной скот, телки, живая масса при отъеме, биомаркеры, прогностическая модель, мочевины, холестерин, кросс-валидация

Благодарности. Работа выполнена по теме госзадания 2023–2025 гг. «Формирование племенного стада герефордской породы мясного скота с улучшенной продуктивностью с использованием генетических методов селекции», регистрационный номер НИОКТР 123120100080-4.

Для цитирования: Нарожных К. Н., Барсукова М. А. Метаболические биомаркеры герефордского скота в раннем возрасте как предикторы живой массы телок при отъеме // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 306–317. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-306-317>.

Дата поступления статьи: 23.10.2025, **дата рецензирования:** 11.11.2025, **дата принятия:** 17.12.2025.

Metabolic biomarkers of Hereford cattle at an early age as predictors of the live weight of heifers at weaning

K. N. Narozhnykh, M. A. Barsukova 

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

 E-mail: mariabar23@yandex.ru

Abstract. Early forecasting of growth potential is a key factor in improving beef production efficiency. Despite the proven effectiveness of genetic breeding, the metabolic status of an animal can be a limiting factor in realizing its productive potential. **The purpose** of this study was to identify hematological and biochemical biomarkers at an early age associated with the growth of heifers of beef cattle before weaning, and to develop a robust, validated prognostic model for live weight at weaning. **Methods.** The study was conducted on a group of Hereford breed heifers ($n = 46$). Blood samples were taken during weaning for comprehensive hematological and biochemical analysis. Live weight at weaning (at 205 days) and data on the productivity of their mothers were recorded. A multiple linear regression model was built using the step-by-step reverse sampling method based on the Akaike Information Criterion (AIC). The final model underwent a rigorous diagnostic test for the normality of the residue distribution (Shapiro – Wilk criterion) and the homogeneity of the variance (Breusch – Pagan criterion). The predictive ability and stability of the model were assessed by cross-validation using the one-by-one exclusion method (LOOCV). **The scientific novelty** lies in the search for reliable predictors of the live weight of young Hereford cattle at the early stages of rearing. **Results.** The final regression model was statistically significant ($F = 3.241$, $p = 0.01776$) and explained 31 % of the variation in body weight at weaning (adjusted $R^2 = 0.3095$). Three key predictors showed a significant effect: maternal birth weight (4.33 kg per kg; $p = 0.006$), serum urea concentration (-2.60 kg per mmol/L; $p = 0.032$) and cholesterol level (2.17 kg per mmol/L; $p = 0.047$). Diagnostic tests confirmed the model's compliance with the assumptions of linear regression. Cross-validation demonstrated the robustness of the model, showing a cross-validation R^2 of 0.243 and a root-mean-square error (RMSE) of 16.33 kg. The results show that the combination of the mother's genetic potential (reflected in her own birth weight) and the heifer's metabolic profile is a strong predictor of growth before weaning. In particular, low levels of urea and high serum cholesterol can be considered as favorable biomarkers of effective growth-promoting anabolic metabolism. This validated model is an objective tool for early identification of physiologically efficient heifers, being a valuable addition to traditional breeding programs in beef cattle breeding.

Keywords: beef cattle, heifers, live weight at weaning, biomarkers, prognostic model, urea, cholesterol, cross-validation

Acknowledgements. The study was carried out on the topic of the state task 2023–2025 “Formation of a breeding herd of the Hereford beef cattle breed with improved productivity using genetic breeding methods”, registration number of research, development and technological works 123120100080-4.

For citation: Narozhnykh K. N., Barsukova M. A. Metabolic biomarkers of Hereford cattle at an early age as predictors of the live weight of heifers at weaning. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 306–317. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-306-317>. (In Russ.)

Date of paper submission: 23.10.2025, **date of review:** 11.11.2025, **date of acceptance:** 17.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Эффективность производства говядины является одним из важнейших элементов современной экономики агропромышленного комплекса и во многом определяется генетическим потенциалом и реализацией продуктивных качеств животных [1]. Одним из ключевых селекционных признаков в мясном скотоводстве является живая масса молодняка при отъеме (в возрасте 205 дней), поскольку она не только отражает материнские качества коровы и собственный потенциал роста теленка, но и напря-

мую коррелирует с последующей продуктивностью и рентабельностью всего стада [2]. Традиционные подходы к селекции, основанные на оценке фенотипа и расчете племенной ценности (EBV) [3], являются высокоэффективными инструментами, однако они не всегда отражают текущее физиологическое состояние животного, которое может лимитировать реализацию заложенного генетического потенциала. Так, модели, созданные для мясного скота на основе лишь генетической ценности производителя, недостаточно точно описывают прогноз живой мас-

сы потомков [4]. При этом есть данные о влиянии живой массы телят при рождении на последующий рост и продуктивность животных [5].

В связи с этим возрастает научный и практический интерес к поиску объективных количественных биомаркеров, способных на ранних этапах жизни животного охарактеризовать его метаболический статус и предсказать дальнейшую траекторию роста [6]. При этом необходимо, чтобы полученные маркеры не только описывали различия между группами животных или породами, но и могли быть использованы как предикторы для прогноза дальнейшей продуктивности животных [7]. Гематологические и биохимические показатели крови представляют собой «метаболическое зеркало» [8], отражающее ключевые процессы в организме: энергетический баланс, эффективность белкового обмена, состояние здоровья и уровень стресса [9–11]. На сегодняшний день в мировом научном сообществе ведутся активные поиски предикторов продуктивности животных, позволяющие качественно описать перспективы развития новорожденных телят как мясных, так и молочных пород, а также продуктивный потенциал матерей в зависимости от массы теленка [12; 13]. В качестве предикторов, определяющих дальнейшую продуктивность теленка, используются паратипические факторы (год рождения, сезон рождения, возраст матери и т. д.) [14], оценка племенной ценности родителей [15], взаимодействия генетических и средовых факторов [16], морфометрические характеристики [17; 18], биохимические и гормональные профили [19]. Существенную сложность в построение моделей вносит высокий продуктивный потенциал современных животных в сочетании с низким уровнем изменчивости в высокопродуктивных стадах. Анализ этих показателей может предоставить ценную информацию, дополняющую традиционные методы селекции, и позволить выявлять не только генетически ценных, но и физиологически эффективных особей.

Ряд исследований продемонстрировал связь отдельных биохимических маркеров с продуктивными качествами скота. Так, показатели белкового обмена, такие как концентрация общего белка и мочевины, могут служить индикаторами адекватности протеинового питания и эффективности его использования для анаболических процессов [20]. Маркеры энергетического статуса, в частности холестерин и глюкоза, отражают доступность энергии для роста и развития [21]. Гематологические параметры, например уровень гемоглобина, характеризуют кислородтранспортную функцию крови, напрямую связанную с интенсивностью обменных процессов в тканях [22]. Однако большинство работ фокусируются на корреляции с отдельными маркерами, в то время как комплексный подход,

объединяющий наиболее значимые предикторы в единую прогностическую модель, остается менее изученным.

Настоящее исследование было предпринято для восполнения этого пробела. Мы выдвинули гипотезу о том, что специфический набор гематологических и биохимических маркеров, зафиксированных в раннем возрасте, в сочетании с показателями продуктивности их матерей исследуемых животных может быть использован для построения статистически надежной и робастной модели для прогнозирования живой массы телок при отъеме.

Цель настоящего исследования заключалась в разработке и строгой валидации устойчивой прогностической модели для оценки живой массы телок мясного скота при отъеме (205 дней) на основе ранних гематологических, биохимических показателей и данных о продуктивности их матерей. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Охарактеризовать гематологический и биохимический профиль телок мясной породы в ранний постнатальный период.
2. Выявить наиболее значимые метаболические и материнские факторы, ассоциированные с живой массой в 205-дневном возрасте, с использованием метода пошаговой регрессии.
3. Разработать математическую модель для прогнозирования живой массы при отъеме и провести ее полную статистическую диагностику на соответствие допущениям регрессионного анализа.
4. Оценить прогностическую способность и устойчивость модели на новых данных с помощью метода перекрестной проверки (кросс-валидации).
5. Проанализировать биологическую значимость выявленных предикторов и их потенциальное использование в программах селекции и управления стадом.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование было проведено на группе телок герефордской породы ($n = 46$), рожденных в племенном репродукторе Новосибирской области. Содержание животных осуществлялось круглогодично под открытым небом с выгоном на пастбища в летний период в соответствии с технологией, принятой в хозяйстве для мясного скотоводства. В подсосный период телки находились на пастбищном содержании вместе с матерями. После отъема в среднем в возрасте 205 дней животные были переведены на групповое беспривязное содержание и получали сбалансированный рацион, состоящий из сенажа, сена и зерносмеси в соответствии с детализированными нормами кормления для данной половозрастной группы. Доступ к воде и минеральным подкормкам был свободным. Все манипуляции с животными проводились с соблюдением этических норм и правил, утвержденных протоколом исследо-

вания на животных экспертной комиссией Новосибирского государственного аграрного университета (код протокола 16NS121117, 5 декабря 2023 г.).

Для каждой телки были собраны данные по следующим показателям продуктивности: живая масса при отъеме (205 дней), в возрасте 12 и 15 месяцев. Взвешивание проводилось утром до кормления на электронных весах с точностью до 1 кг. Также были собраны данные о продуктивности их матерей: возраст на момент отъема, живая масса при рождении, в 205 дней, 12 и 15 месяцев.

Образцы венозной крови отбирались у всех животных в утренние часы из яремной вены в вакуумные пробирки с КЗ-ЭДТА для гематологического анализа и в пробирки с активатором свертывания для биохимического исследования.

Гематологический анализ проводился не позднее чем через 2 часа после взятия крови на автоматическом анализаторе PCE 90Vet (High Technology Inc., США).

Для биохимического анализа пробирки с кровью центрифугировали при 3000 об/мин в течение 15 минут для получения сыворотки. Биохимические исследования сыворотки определяли в лаборатории биохимии и гематологии кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии Новосибирского ГАУ на фотометре 5010 унифицированными методами с использованием набора реагентов «Ольвекс-Диагностикум». Уровень кортизола определялся методом иммуноферментного анализа (ИФА) с использованием наборов «СтероидИФА-кортизол» (АлкорБио, Россия).

Все статистические расчеты и визуализация данных были выполнены в среде программирования R (версия 4.3.1) с использованием пакетов *dplyr*, *janitor*, *lme4*, *lmerTest*, *lmtest*, *caret* и *ggplot2*.

На первом этапе был проведен расчет описательной статистики для всех изучаемых переменных. Для каждого показателя была проведена проверка на нормальность распределения с использованием критерия Шапиро – Уилка (SF.p). Для нормально распределенных признаков ($p > 0,05$) данные в итоговой таблице представлены как Среднее \pm Стандартное отклонение (Mean \pm SD). Для признаков, распределение которых значимо отличалось от нормального, были рассчитаны непараметрические показатели: медиана и межквартильный размах (Median, Q1 : Q3).

Для выявления наиболее значимых предикторов живой массы в 205 дней была построена множественная линейная регрессионная модель [23]. С целью минимизации риска мультиколлинеарности и построения наиболее parsimonичной (экономной) модели был применен метод автоматического пошагового отбора факторов с обратным исключением (backward stepwise regression), основанный на минимизации информационного критерия Акаике

(AIC). В качестве потенциальных предикторов в начальную модель были включены 15 переменных, показавших наиболее сильную корреляцию с зависимой переменной.

Была также рассмотрена возможность использования смешанной линейной модели (LMM) с идентификатором быка-отца в качестве случайного эффекта для учета иерархической структуры данных. Однако предварительный анализ показал, что дисперсия, обусловленная случайным эффектом «Отец», стремилась к нулю, что свидетельствует об отсутствии значимого вклада данного фактора в общую вариацию признака на исследуемой выборке ($n = 32$ животных с полными данными от 19 отцов). Данный результат, вероятно, обусловлен недостаточным количеством потомков на одного отца. В связи с этим для финальной интерпретации была использована более робастная в данных условиях модель с фиксированными эффектами.

Для проверки соответствия финальной регрессионной модели ее основным статистическим допущениям был проведен диагностический анализ остатков. Нормальность распределения остатков проверялась с помощью теста Шапиро – Уилка (SF.p) и визуально с помощью Q-Q-графика. Гомогенность дисперсии остатков (гомоскедастичность) оценивалась с помощью теста Бреуша – Пагана и анализа графика «Остатки против предсказанных значений».

Для оценки прогностической способности модели и ее устойчивости к переобучению, особенно важной для выборок небольшого объема, была проведена перекрестная проверка по методу исключения по одному (Leave-One-Out Cross-Validation, LOOCV). Были рассчитаны среднеквадратичная ошибка (RMSE) и коэффициент детерминации (R^2) для кросс-валидации как наиболее честные показатели качества модели на «новых» данных. Статистическая значимость была принята на уровне $p < 0,05$, а наличие тенденции – при $0,05 \leq p < 0,1$.

Результаты (Results)

Статистический анализ исходных данных показал значительную варибельность большинства изучаемых признаков (таблица 1). Живая масса телок при отъеме варьировала от 214 до 294 кг при среднем значении 259,05 кг, что свидетельствует о существенном разнообразии ростового потенциала внутри исследуемой группы. Важно отметить, что распределение большинства гематологических и биохимических показателей, согласно критерию Шапиро – Уилка, значимо отличалось от нормального, что является типичной картиной для биологических данных и оправдывает использование непараметрических описательных статистических величин, таких как медиана и межквартильный размах. В то же время ключевая зависимая переменная (живая масса в 205 дней), а также ряд показателей

продуктивности матерей (живая масса матерей в 205 дней и живая масса матерей в 12 месяцев) и белкового обмена (протеин, альбумин, глобулин) имели распределение, близкое к нормальному.

По результатам пошаговой регрессии с обратным исключением была построена финальная модель, включающая шесть наиболее значимых предикторов (таблица 2). Модель в целом оказалась статистически высокозначимой ($F = 3,241$, $p = 0,01776$) и объясняла 44,76 % общей вариации живой массы при отъеме ($R^2 = 0,4476$). Скорректированный коэффициент детерминации (R^2_{adj}), учитывающий число предикторов в модели, составил 0,3095, что также является хорошим показателем для сложных биологических систем.

На основе полученных коэффициентов итоговое уравнение регрессии для прогнозирования живой массы в 205-дневном возрасте ($ЖМ_{205}$) имеет следующий вид:

$$ЖМ_{205} (кг) = -4,60 (4,33 \times ЖМ_{рожд_мать}) - (2,60 \times \text{мочевина}) + (2,17 \times \text{холестерин}) + (0,61 \times HGB) - (0,31 \times ЖМ_{205_мать}) (9,69 \times PDW),$$

где $ЖМ_{рожд_мать}$ и $ЖМ_{205_мать}$ – живая масса матери при рождении и отъеме соответственно (кг);
 мочевина и холестерин – концентрация в сыворотке крови (ммоль/л);
 HGB – концентрация гемоглобина (г/л);
 PDW – ширина распределения тромбоцитов (%).

Таблица 1

Описательная статистика гематологических, биохимических и продуктивных показателей у исследуемой группы телок ($n = 46$)

Переменная	<i>n</i>	Тип распределения	Средняя тенденция	Изменчивость	Min	Max
Продуктивность телок						
Живая масса в 205 дней, кг	44	Нормальное	259,05	19,27	214	294
Живая масса в 12 месяцев, кг	44	Не нормальное	385,5	367,25–397,25	297	422
Биохимия телок						
Мочевина, ммоль/л	35	Не нормальное	5,05	3,61–6,92	2,58	15,03
Холестерин, ммоль/л	35	Не нормальное	5,53	3,54–6,84	0,69	14,41
Протеин, г/л	35	Нормальное	81,00	21,99	32,35	120,59
Гематология телок						
Гемоглобин, г/л	45	Не нормальное	108,0	102,1–115,0	12	134
Ширина распределения тромбоцитов, %	45	Нормальное	15,56	0,55	14,6	16,6
Продуктивность матерей						
Живая масса при рождении, кг	44	Не нормальное	25,0	24,5–25,0	15	28
Живая масса в 205 дней, кг	44	Нормальное	185,39	27,06	126	236

Примечание. Для признаков с нормальным распределением ($p > 0,05$ по критерию Шапиро – Уилка) приведены среднее (Mean) и стандартное отклонение (SD). Для признаков с ненормальным распределением – медиана (Median) и межквартильный размах [Q1–Q3].

Table 1

Descriptive statistics of hematological, biochemical and productive parameters in the studied group of heifers ($n = 46$)

Variable	<i>N</i>	Distribution	Central Tendency	Variability	Min	Max
Productivity of heifers						
Weight at 205 days, kg	44	Normal	259.05	19.27	214	294
Weight at 12 months, kg	44	Non-Normal	385.5	367.25–397.25	297	422
Biochemistry of heifers						
Urea, mmol/l	35	Non-Normal	5.05	3.61–6.92	2.58	15.03
Cholesterol, mmol/l	35	Non-Normal	5.53	3.54–6.84	0.69	14.41
Protein, g/l	35	Normal	81.00	21.99	32.35	120.59
Hematology of heifers						
Hemoglobin, g/l	45	Non-Normal	108.0	102.1–115.0	12	134
The width of platelets distribution, %	45	Normal	15.56	0.55	14.6	16.6
Mothers' productivity						
Weight at 205 days, kg	44	Non-Normal	25.0	24.5–25.0	15	28
Weight at 12 months, kg	44	Normal	185.39	27.06	126	236

Note. For features with a normal distribution ($p > 0.05$ according to the Shapiro – Wilk criterion), the Mean and Standard Deviation (SD) are given. For features with an abnormal distribution – the Median and the Interquartile range [Q1–Q3] are used.

Результаты множественного регрессионного анализа для параметра «Живая масса в 205 дней» ($n = 31$)

Предиктор	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-значение	p-уровень
Свободный член	-4,60	97,56	-0,05	0,9628
Живая масса матери при рождении, кг	4,33	1,44	3,01	0,0060**
Мочевина, ммоль/л	-2,60	1,15	-2,27	0,0324*
Холестерин, ммоль/л	2,17	1,04	2,10	0,0467*
Гемоглобин, г/л	0,61	0,33	1,83	0,0794
Живая масса в 205 дней, кг	-0,31	0,17	-1,76	0,0919
Ширина распределения тромбоцитов, %	9,69	5,68	1,71	0,1009

Примечание. $R^2_{adj} = 0,3095$; F-статистика $p = 0,01776$; уровни достоверности ** 0,01, * 0,05.

Table 2

Results of multiple regression analysis for the "Weight at 205 days" ($n = 31$)

Term	Estimate	Standard error	Statistic	p-value
Intercept	-4.60	97.56	-0.05	0.9628
Weight mother at birth, kg	4.33	1.44	3.01	0.0060**
Urea, mmol/l	-2.60	1.15	-2.27	0.0324*
Cholesterol, mmol/l	2.17	1.04	2.10	0.0467*
Hemoglobin, g/l	0.61	0.33	1.83	0.0794
Weight at 205 days, kg	-0.31	0.17	-1.76	0.0919
The width of platelets distribution, %	9.69	5.68	1.71	0.1009

Note. $R^2_{adj} = 0.3095$; F-statistic p-value = 0.01776, significance levels: ** 0.01, * 0.05.

Детальная статистическая характеристика каждого коэффициента в модели представлена в таблице 2.

Анализ коэффициентов регрессии (таблица 2) позволяет не только констатировать наличие связи, но и дать количественную и биологическую оценку вклада каждого фактора в формирование живой массы при отъеме.

Вес матери при рождении оказал наиболее сильное и статистически значимое ($p = 0,006$) влияние. Коэффициент 4,33 означает, что каждый дополнительный килограмм веса, который имела мать при своем рождении, ассоциирован с увеличением живой массы ее дочери при отъеме на 4,33 кг при прочих равных условиях. Биологически это является прямым отражением наследуемости генетического потенциала роста. Коровы, которые сами обладали высоким потенциалом пренатального роста, передают соответствующие аддитивные гены своему потомству, что и реализуется в виде большей массы телок в подсосный период.

Для концентрации мочевины выявлена значимая ($p = 0,032$) отрицательная связь с зависимой переменной. Коэффициент -2,60 показывает, что с увеличением концентрации мочевины в сыворотке на 1 ммоль/л прогнозируемая живая масса при отъеме снижается на 2,60 кг. Мочевина является конечным продуктом белкового катаболизма. У интенсивно растущих животных ее высокий уровень редко связан с избытком кормового протеина, а чаще свидетельствует о недостатке доступной энергии в рационе. В этом случае организм начинает использовать аминокислоты в качестве источника энергии (глюконеогенез), что приводит к повышению уров-

ня мочевины и, естественно, к снижению темпов синтеза собственных белков тела. Таким образом, низкий уровень мочевины является надежным биомаркером эффективного анаболического метаболизма, когда поступающий протеин используется преимущественно на рост.

Для холестерина установлена значимая ($p = 0,047$) положительная связь с живой массой в 205 дней. Коэффициент 2,17 интерпретируется как увеличение живой массы при отъеме на 2,17 кг на каждый 1 ммоль/л прироста концентрации холестерина. Холестерин играет двойную роль в растущем организме: он является незаменимым структурным компонентом клеточных мембран и предшественником для синтеза стероидных гормонов (включая половые и кортикостероиды). Его адекватный уровень свидетельствует о положительном энергетическом балансе и высокой активности печени, что необходимо для поддержания интенсивного клеточного деления и построения новых тканей.

Примечательно, что такие гематологические показатели, как содержание гемоглобина и ширина распределения тромбоцитов, а также вес матери при отъеме, показали влияние на уровне статистической тенденции ($0,05 \leq p < 0,1$).

Концентрация гемоглобина в крови телок имеет положительный коэффициент 0,61 ($p = 0,079$), что указывает на тенденцию к увеличению веса у животных с более высокой концентрацией гемоглобина. Это биологически ожидаемо, поскольку гемоглобин обеспечивает транспорт кислорода к тканям, и его высокий уровень отражает способность поддерживать высокий аэробный метаболизм, необходимый для интенсивного роста.

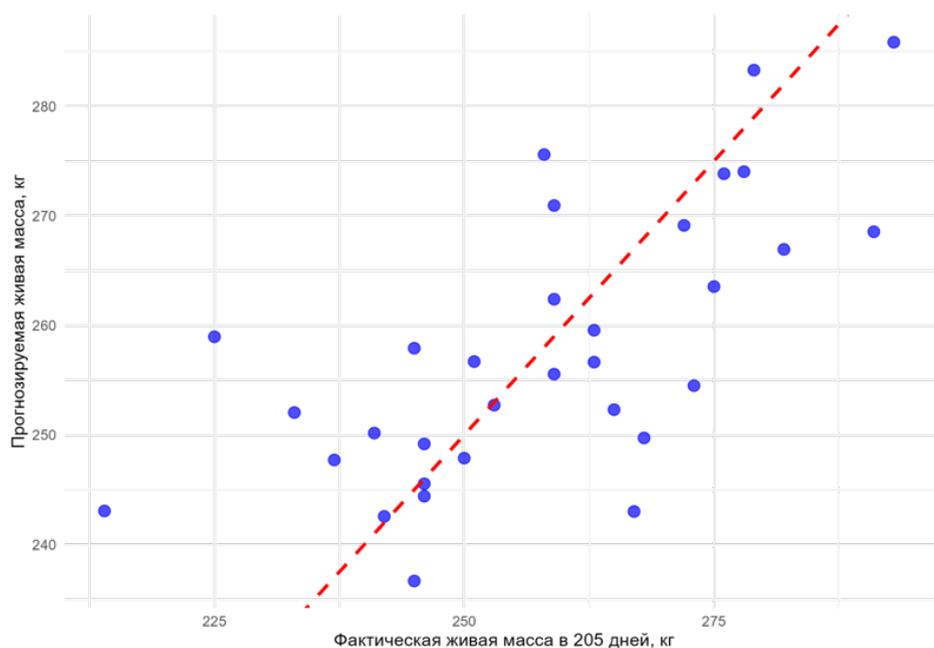


Рис. 1. Соотношение фактической и прогнозируемой живой массы телок в 205-дневном возрасте. По оси абсцисс – фактическая живая масса, кг; по оси ординат – живая масса, спрогнозированная моделью. Пунктирная линия представляет собой идеальный прогноз, где фактическое значение равно прогнозируемому

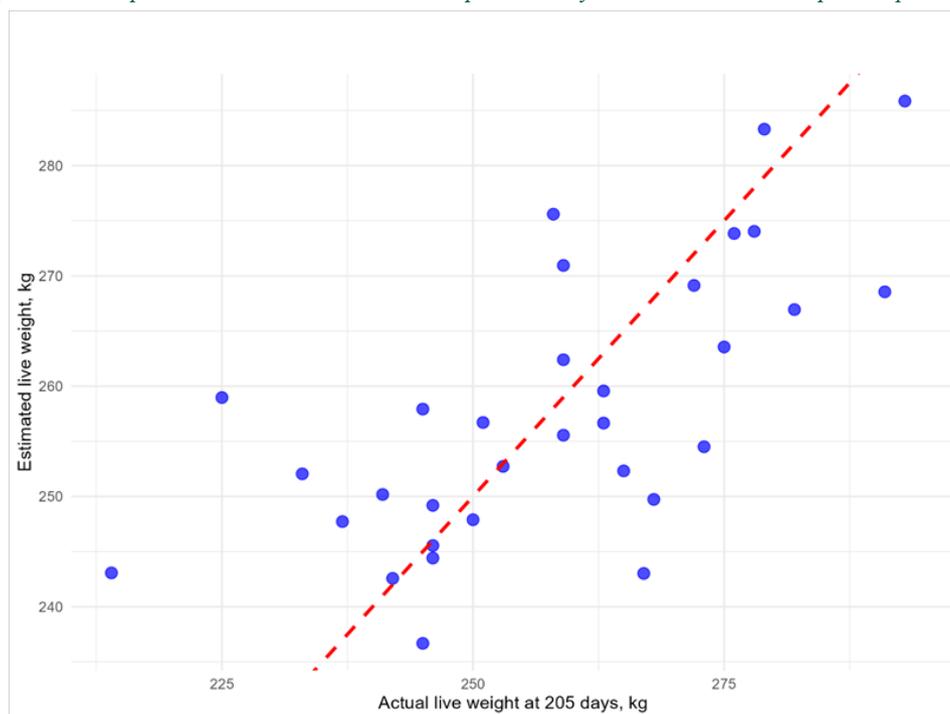


Fig. 1. The ratio of the actual and predicted live weight of heifers at the age of 205 days. On the abscissa axis is the actual live weight, kg; on the ordinate axis is the live weight predicted by the model. The dotted line represents an ideal forecast, where the actual value is equal to the predicted value

Вес матери при отъеме показывает отрицательную тенденцию (коэффициент $-0,31$, $p = 0,092$) с зависимой переменной. Это означает, что при учете всех остальных факторов телки от матерей, которые сами были тяжелее при отъеме, оказываются немного легче. Данный результат может быть следствием статистической мультиколлинеарности (так как этот признак коррелирует с весом матери при

рождении, уже включенным в модель). Альтернативно это может указывать на биологический антагонизм между собственным интенсивным ростом коровы в молодости и ее последующими материнскими качествами, в частности молочностью. Этот сложный вопрос требует дальнейшего изучения на более крупных выборках.

Ширина распределения тромбоцитов имеет положительную тенденцию ($p = 0,101$) с массой в 205 дней, который не имеет очевидной прямой биологической интерпретации в контексте роста и, вероятно, либо является случайной находкой, либо косвенно отражает некие общие аспекты состояния здоровья, не уловленные другими переменными.

Положительная связь с гемоглобином биологически объяснима: более высокая кислородная емкость крови обеспечивает лучший метаболизм в тканях. В то же время слабая отрицательная тенденция для веса матери при отъеме может быть статисти-

ческим артефактом или требовать дальнейшего изучения на предмет возможного антагонизма между ростовыми и материнскими качествами.

Для подтверждения надежности полученных результатов была проведена полная диагностика допущений регрессионной модели. Анализ остатков показал их нормальное распределение (тест Шапиро – Уилка, $W = 0,973$, $p = 0,604$) и гомогенность дисперсии (тест Бреуша – Пагана, $BP = 2,80$, $p = 0,833$). Это свидетельствует о том, что модель корректна, а оценки ее коэффициентов и их значимости являются несмещенными и надежными.

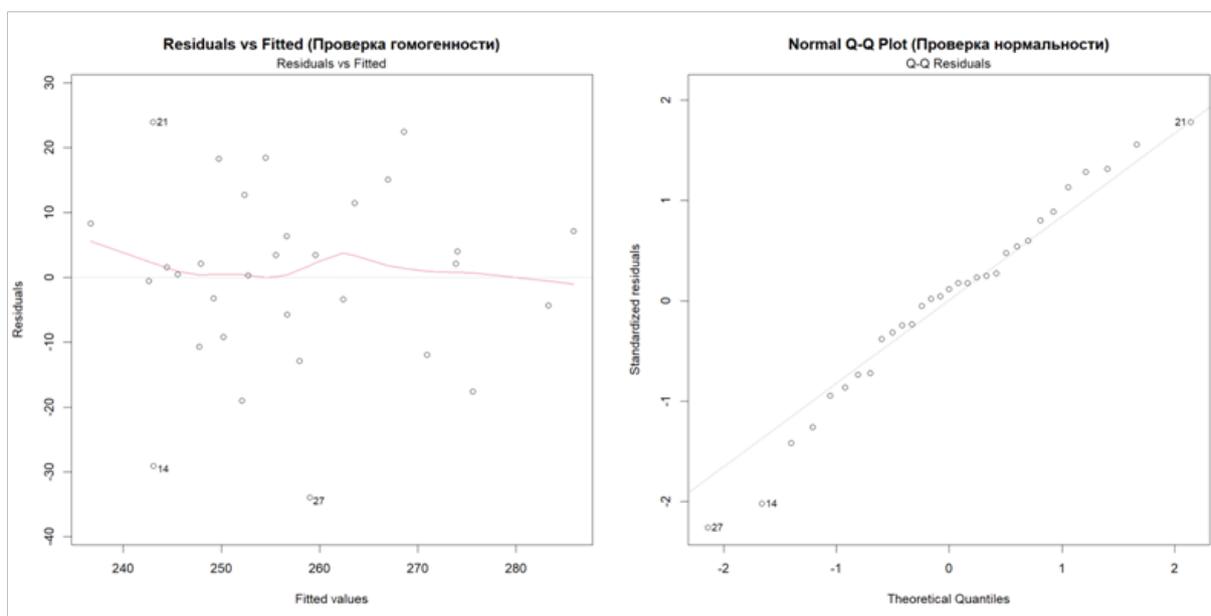


Рис. 2. Анализ остатков модели в зависимости от прогнозируемых значений.

По оси абсцисс – прогнозируемая живая масса, кг; по оси ординат – остатки модели (фактический вес – прогнозируемый вес), кг. Хаотичное распределение точек вокруг нулевой линии подтверждает допущение о гомогенности дисперсии

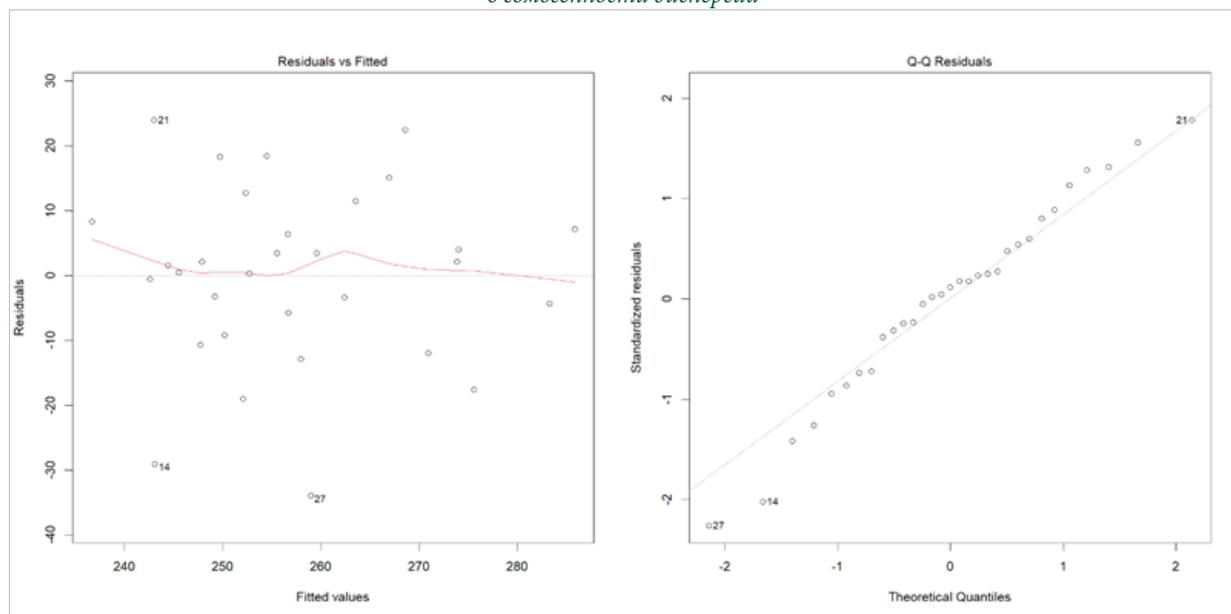


Fig. 2. Analysis of the model residuals depending on the predicted values.

On the abscissa axis, the predicted live weight, kg; on the ordinate axis, the remnants of the model (actual weight – predicted weight), kg. The chaotic distribution of points around the zero line confirms the assumption of homogeneity of variance

Для оценки реальной прогностической силы модели на новых данных была проведена перекрестная проверка методом исключения по одному (LOOCV). Среднеквадратичная ошибка прогноза (RMSE) составила 16,33 кг. Коэффициент детерминации на кросс-валидации (R^2) составил 0,243.

Как видно из рис. 1, предсказанные моделью значения хорошо коррелируют с фактическими, что визуально подтверждает ее работоспособность. Кросс-валидация дала честную оценку ее предсказательной силы. Снижение R^2 с 0,447 до 0,243 является ожидаемым для выборки небольшого объема и указывает на наличие некоторого переобучения. Тем не менее тот факт, что модель сохраняет способность объяснять ~24 % вариации на независимых данных, доказывает робастность выявленных связей и подтверждает, что они не являются случайной находкой. Средняя ошибка прогноза в ~16 кг является приемлемой для практического применения в условиях реального производства.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Целью нашего исследования являлись разработка и проведение валидации прогностической модели, описывающей влияние биохимических, гематологических и наследственных факторов на живую массу телок герефордского скота при отъеме в возрасте 205 дней. Насущной проблемой современного животноводства являются методы, позволяющие оценивать потенциал продуктивности животных на ранних этапах и при этом имеющие сравнительно невысокую стоимость реализации. Особенно это актуально для мясного скотоводства в связи как с относительно длительным периодом выращивания по сравнению со свиньями или сельскохозяйственной птицей, так и с технологическими особенностями. Круглогодичное содержание на пастбищах или под открытым небом в зимних загонах значительно затрудняет индивидуальный и систематический учет продуктивности молодняка, что, в свою очередь, не позволяет своевременно проводить отбор или дифференцировать группы с разной скоростью роста [24].

При этом оценка племенной ценности мясного скота является важнейшим аспектом при организации отбора молодняка как в племенных, так и в товарных хозяйствах. Наиболее точной и важной в настоящее время является геномная оценка животных, однако для многих сельскохозяйственных предприятий она сложна в реализации, в том числе и по экономическим причинам [25], однако это не отменяет необходимости оценивать племенной потенциал и составлять прогноз продуктивности для молодняка. Методы математического моделирования и создание прогностических моделей на основании ряда доступных предикторов апробированы и показали свою эффективность для разных видов животных и растений [26; 27]. Включение результатов работы авторов в схемы селекции или управления производством являлось важным фактором для увеличения как сохранности поголовья, так и понимания процессов, происходящих в селекционных группах, и давало возможность управлять этими процессами.

Проведенное нами исследование позволило разработать и валидировать статистически надежную модель для прогнозирования живой массы телок мясного скота при отъеме. Наибольшее и статистически значимое влияние оказывает вес матери при ее рождении: каждый дополнительный килограмм веса матери ассоциирован с увеличением живой массы ее дочери в 205-дневном возрасте на 4,33 кг ($p = 0,006$). Это прямо свидетельствует о наследуемости генетического потенциала роста. Существенную роль играют и биохимические показатели, отражающие эффективность белкового (мочевина) и энергетического (холестерин) обмена. Полученные результаты могут быть использованы для разработки систем ранней диагностики и отбора физиологически эффективных животных, что открывает новые возможности для интенсификации селекционной работы и повышения рентабельности мясного скотоводства.

Библиографический список

1. Барсукова М. А. Динамика численности и продуктивности племенного скота породы герефорд в Новосибирской области // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 5. С. 79–84. DOI: 10.31857/S2500208224050162.
2. Coleman L., Back P., Blair H., López-Villalobos N., Hickson R. Sire effects on birth weight, gestation length, and pre-weaning growth of beef-cross-dairy calves: a case study in New Zealand // Dairy. 2021. Vol. 2, No. 3. Pp. 385–395. DOI: 10.3390/dairy2030030.
3. Satoh M. Genetic improvements in closed breeding herds of pigs in Japan // Nihon Chikusan Gakkaiho. 2025. Vol. 96, No. 2. Pp. 115–126. DOI: 10.2508/chikusan.96.115.
4. Martín N., Coleman L., López-Villalobos N., Schreurs N., Morris S., Blair H., McDade J., Back P., Hickson R. Estimated breeding values of beef sires can predict performance of beef-cross-dairy progeny // Frontiers in Genetics. 2021. Vol. 12. DOI: 10.3389/fgene.2021.712715.
5. Genena S. K., Ebrahim S. Z. Impact of calves gender birth weights on predicting the future performance of Friesian cattle under farm conditions // JAVR. 2023. Vol. 13, No. 10. Pp. 1907–1913.

6. Барсукова М. А., Нарожных К. Н., Себежко О. И., Иванова О. А. Анализ возрастных различий гематологических признаков скота породы герефорд // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2025. № 2. С. 84–90. DOI: 10.31857/S2500208225020173.
7. Нохрин Д. Ю., Соколова О. В., Белоусов А. И. [и др.]. Нелинейные главные компоненты биохимического профиля молочного скота пяти пород // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 8. С. 1056–1070. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-08-1056-1070.
8. Зеленченкова А. А., Сивкина О. Н., Зайцев С. Ю. Кровь как метод оценки благополучия свиней на откорме // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 3. С. 422–433. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-03-422-433.
9. Onmaz A. C., Güneş V., Çınar M., Çitil M., Keleş İ. Hematobiochemical profiles, mineral concentrations and oxidative stress indicators in beef cattle with pica // Italian Journal of Animal Science. 2019. Vol. 18. Pp. 162–167.
10. Shukry M., Abd El-Kader M. F., Hendam B. M., Dawood M. A. O., Farrag F. A., Aboelenin S. M., Soliman M. M., Abdel-Latif H. M. R. Dietary *Aspergillus oryzae* modulates serum biochemical indices, immune responses, oxidative stress, and transcription of HSP70 and cytokine genes in Nile tilapia exposed to salinity stress // Animals. 2021. Vol. 11, No. 6. Article number 1621. DOI: 10.3390/ani11061621.
11. Барсукова М. А., Себежко О. И. Возрастные и наследственные факторы, влияющие на гематологические показатели герефордской породы крупного рогатого скота // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108, № 1. С. 73–85. DOI: 10.33284/2658-3135-108-1-73.
12. Condon T., Murphy C. P., Sleator R. D., Ring S. C., Berry D. P. The association between calf birth weight and the postcalving performance of its dairy dam in the absence of dystocia // Journal of Dairy Science. 2024. Vol. 107, No. 6. Pp. 3688–3699. DOI: 10.3168/jds.2023–24164.
13. Basiel B. L., Barragan A. A., Felix T. L., Dechow C. D. The impact of beef sire breed on dystocia, stillbirth, gestation length, health, and lactation performance of cows that carry beef × dairy calves // Journal of Dairy Science. 2024. Vol. 107. Pp. 2241–2252. DOI: 10.3168/jds.2023–24112.
14. Feng Y., Zhao W., Lu X., Gao X., Zhang Q., Zhang B., Wang B., Zhong F., Han M., Chen Z. Estimation of genetic parameters for body weight and its stability in Huaxi cows from Xinjiang region // Animals. 2025. Vol. 15, No. 15. Article number 2248. DOI: 10.3390/ani15152248.
15. Bonifazi R., Calus M. P. L., Ten Napel J., Veerkamp R. F., Biffani S., Cassandro M., Savoia S., Vandeplass J. Integration of beef cattle international pedigree and genomic estimated breeding values into national evaluations, with an application to the Italian Limousin population // Genetics Selection Evolution. 2023. Vol. 55. Article number 41. DOI: 10.1186/s12711-023-00813-2.
16. Camargo-Júnior R. N. C., de Araújo C. V., de Souza Teixeira C., et al. Effect of the genotype and environment interaction on body weight traits in Nelore cattle (*Bos indicus*) // Tropical Animal Health and Production. 2025. Vol. 57. Article number 272. DOI: 10.1007/s11250-025-04516-2.
17. De Carvalho Ribeiro A. C., de Mello M. R. B., Barbero M. M. D., de Oliveira D., Couto S., Barbero R. P. Reproductive system morphometry and productive parameters of beef heifers according to morphological classification // Tropical Animal Health and Production. 2024. Vol. 56. Article number 101: DOI:10.1007/s11250-024-03949-5.
18. Narozhnykh K. N., Kamaldinov E. V., Bogdanova O. V., et al. Prediction of milk productivity based on conformation traits in cows // International Journal of Chemical and Biochemical Sciences. 2023. Vol. 24, No. 6. Pp. 521–529.
19. Masmeijer C., Deprez P., van Leenen K., De Cremer L., Cox E., Devriendt B., Pardon B. Arrival cortisol measurement in veal calves and its association with body weight, protein fractions, animal health and performance // Preventive Veterinary Medicine. 2021. Vol. 187. Article number 105251. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.105251.
20. Себежко О. И., Климанова Е. А., Нарожных К. Н. [и др.]. Содержание и изменчивость показателей азотистого обмена у крупного рогатого скота голштинской породы в условиях Западной Сибири // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2022. № 3 (64). С. 125–133. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-125-133.
21. Wang S., Li Q., Peng J., Niu H. Effects of long-term cold stress on growth performance, behavior, physiological parameters, and energy metabolism in growing beef cattle // Animals. 2023. Vol. 13, No. 10. Pp. 1619. DOI: 10.3390/ani13101619.
22. Mondal B., Parvez M., Rana M. M., Rahman L., Zahan R., Pal K. C., Khan W. A. Status of red blood cell indices in iron deficiency anemia and β thalassaemia trait: a comparative study // Dhaka Shishu (Children) Hospital Journal. 2021. Vol. 37. Pp. 9–14.
23. Schumacher F. L., Matos L. A., Lachos V. H. skewlmm: an R package for fitting skewed and heavy-tailed linear mixed models // Journal of Statistical Software. 2025. Vol. 115, No. 7. DOI: 10.18637/jss.v115.i07.

24. Fajardo M., Morgan S. A., Chilibroste P., Lee M. R. F., Rivero M. J. Animal and pasture responses in contrasting temperate pasture-based cattle management systems: set-stocking versus cell grazing // *Animal*. 2025. Vol. 19, No. 10. Article number 101635. DOI: 10.1016/j.animal.2025.101635.

25. Zhou L., Zhu L., Ma F., Gu M., Na R., Zhang W. Assessing the impact of different mixing strategies on genomic prediction accuracy for beef cattle breeding values in multi-breed genomic prediction // *Animals*. 2025. Vol. 15, No. 16. Article number 2463. DOI: 10.3390/ani15162463.

26. Amongi W., Nkalubo S. T., Ochwo-Ssemakula M., Badji A., Dramadri I. O., Odongo T. L., Nuwamanya E., Tukamuhabwe P., Izquierdo P., Cichy K., Kelly J., Mukankusi C. Genetic clustering, and diversity of African panel of released common bean genotypes and breeding lines // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2023. Vol. 70. Pp. 2063–2076.

27. Sell-Kubiak E. Selection for litter size and litter birthweight in Large White pigs: Maximum, mean and variability of reproduction traits // *Animal*. 2021. Vol. 15, No. 10. Article number 100352. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100352.

Об авторах:

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*: nkn.88@mail.ru

Мария Андреевна Барсукова, кандидат биологических наук, доцент кафедры частной зоотехнии и кормления животных, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0009-0000-7022-6011, AuthorID 269451. *E-mail*: mariabar23@yandex.ru

References

1. Barsukova M. A. Dynamics of the number and productivity of breeding cattle of the Hereford breed in the Novosibirsk region. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2024; 5: 79–84. DOI: 10.31857/S2500208224050162. (In Russ.)

2. Coleman L., Back P., Blair H., López-Villalobos N., Hickson R. Sire effects on birth weight, gestation length, and pre-weaning growth of beef-cross-dairy calves: a case study in New Zealand. *Dairy*. 2021; 2 (3): 385–395. DOI: 10.3390/dairy2030030.

3. Satoh M. Genetic improvements in closed breeding herds of pigs in Japan. *Nihon Chikusan Gakkaiho*. 2025; 96 (2): 115–126. DOI: 10.2508/chikusan.96.115.

4. Martín N., Coleman L., López-Villalobos N., Schreurs N., Morris S., Blair H., McDade J., Back P., Hickson R. Estimated breeding values of beef sires can predict performance of beef-cross-dairy progeny. *Frontiers in Genetics*. 2021; 12. DOI: 10.3389/fgene.2021.712715.

5. Genena S. K., Ebrahim S. Z. Impact of calves gender birth weights on predicting the future performance of friesian cattle under farm conditions. *JAVR*. 2023; 13 (10): 1907–1913.

6. Barsukova M. A., Narozhnykh K. N., Sebezshko O. I., Ivanova O. A. Analysis of age differences in hematological characteristics of Hereford cattle. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2025; 2: 84–90. DOI: 10.31857/S2500208225020173. (In Russ.)

7. Nokhrin D. Yu., Sokolova O. V., Belousov A. I., et al. Nonlinear main components of the biochemical profile of dairy cattle of five breeds. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (8): 1056–1070. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-08-1056-1070. (In Russ.)

8. Zelenchenkova A. A., Sivkina O. N., Zaytsev S. Yu. Blood as a method of assessing the well-being of fattening pigs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (3): 422–433. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-03-422-433. (In Russ.)

9. Onmaz A. C., Güneş V., Çınar M., Çitil M., Keleş İ. Hematobiochemical profiles, mineral concentrations and oxidative stress indicators in beef cattle with pica. *Italian Journal of Animal Science*. 2019; 18: 162–167.

10. Shukry M., Abd El-Kader M. F., Hendam B. M., Dawood M. A. O., Farrag F. A., Aboelenin S. M., Soliman M. M., Abdel-Latif H. M. R. Dietary *Aspergillus oryzae* modulates serum biochemical indices, immune responses, oxidative stress, and transcription of HSP70 and cytokine genes in Nile tilapia exposed to salinity stress. *Animals*. 2021; 11 (6): 1621. DOI: 10.3390/ani11061621.

11. Barsukova M. A., Sebezshko O. I. Age and hereditary factors affecting the hematological parameters of the Hereford cattle breed. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025; 108 (1): 73–85. DOI: 10.33284/2658-3135-108-1-73. (In Russ.)

12. Condon T., Murphy C. P., Sleator R. D., Ring S. C., Berry D. P. The association between calf birth weight and the postcalving performance of its dairy dam in the absence of dystocia. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107 (6): 3688–3699. DOI: 10.3168/jds.2023–24164.

13. Basiel B. L., Barragan A. A., Felix T. L., Dechow C. D. The impact of beef sire breed on dystocia, stillbirth, gestation length, health, and lactation performance of cows that carry beef × dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 2024; 107: 2241–2252. DOI: 10.3168/jds.2023–24112.
14. Feng Y., Zhao W., Lu X., Gao X., Zhang Q., Zhang B., Wang B., Zhong F., Han M., Chen Z. Estimation of genetic parameters for body weight and its stability in Huaxi cows from Xinjiang region. *Animals*. 2025; 15 (15): 2248. DOI: 10.3390/ani15152248.
15. Bonifazi R., Calus M. P. L., Ten Napel J., Veerkamp R. F., Biffani S., Cassandro M., Savoia S., Vandennplas J. Integration of beef cattle international pedigree and genomic estimated breeding values into national evaluations, with an application to the Italian Limousin population. *Genetics Selection Evolution*. 2023; 55: 41. DOI: 10.1186/s12711-023-00813-2.
16. Camargo-Júnior R. N. C., de Araújo C. V., de Souza Teixeira C., de Araújo S. I., Lôbo R. B., Nakabashi L. R. M., Mendes de Castro L. M., Menezes F. L., Maciel E. S. A. G., Marques J. R. F., et al. Effect of the genotype and environment interaction on body weight traits in Nelore cattle (*Bos indicus*). *Tropical Animal Health and Production*. 2025; 57: 272. DOI: 10.1007/s11250-025-04516-2.
17. De Carvalho Ribeiro A. C., de Mello M. R. B., Barbero M. M. D., de Oliveira D., Couto S., Barbero R. P. Reproductive system morphometry and productive parameters of beef heifers according to morphological classification. *Tropical Animal Health and Production*. 2024; 56: 101. DOI: 10.1007/s11250-024-03949-5.
18. Narozhnykh K. N., Kamaldinov E. V., Bogdanova O. V., et al. Prediction of milk productivity based on conformation traits in cows. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 2023; 24 (6): 521–529.
19. Masmeijer C., Deprez P., van Leenen K., De Cremer L., Cox E., Devriendt B., Pardon B. Arrival cortisol measurement in veal calves and its association with body weight, protein fractions, animal health and performance. *Preventive Veterinary Medicine*. 2021; 187: 105251. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2020.105251.
20. Sebezko O. I., Klimanova E. A., Narozhnykh K. N., et al. The content and variability of nitrogen metabolism in Holstein cattle in Western Siberia. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2022; 3 (64): 125–133. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-64-3-125-133. (In Russ.)
21. Wang S., Li Q., Peng J., Niu H. Effects of long-term cold stress on growth performance, behavior, physiological parameters, and energy metabolism in growing beef cattle. *Animals*. 2023; 13 (10): 1619. DOI: 10.3390/ani13101619.
22. Mondal B., Parvez M., Rana M. M., Rahman L., Zahan R., Pal K. C., Khan W. A. Status of red blood cell indices in iron deficiency anemia and β thalassaemia trait: a comparative study. *Dhaka Shishu (Children) Hospital Journal*. 2021; 37: 9–14.
23. Schumacher F. L., Matos L. A., Lachos V. H. skewlmm: an R package for fitting skewed and heavy-tailed linear mixed models. *Journal of Statistical Software*. 2025; 115 (7). DOI: 10.18637/jss.v115.i07.
24. Fajardo M., Morgan S. A., Chilbroste P., Lee M. R. F., Rivero M. J. Animal and pasture responses in contrasting temperate pasture-based cattle management systems: set-stocking versus cell grazing. *Animal*. 2025; 19 (10): 101635. DOI: 10.1016/j.animal.2025.101635.
25. Zhou L., Zhu L., Ma F., Gu M., Na R., Zhang W. Assessing the impact of different mixing strategies on genomic prediction accuracy for beef cattle breeding values in multi-breed genomic prediction. *Animals*. 2025; 15 (16): 2463. DOI: 10.3390/ani15162463.
26. Amongi W., Nkalubo S. T., Ochwo-Ssemakula M., Badji A., Dramadri I. O., Odongo T. L., Nuwamanya E., Tukamuhabwe P., Izquierdo P., Cichy K., Kelly J., Mukankusi C. Genetic clustering, and diversity of African panel of released common bean genotypes and breeding lines. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2023; 70: 2063–2076.
27. Sell-Kubiak E. Selection for litter size and litter birthweight in Large White pigs: Maximum, mean and variability of reproduction traits. *Animal*. 2021; 15 (10): 100352. DOI: 10.1016/j.animal.2021.100352.

Authors' information:

Kirill N. Narozhnykh, candidate of biological sciences, associate professor of the department of applied informatics, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-1519-697X, AuthorID 654429. *E-mail*: nkn.88@mail.ru

Mariya A. Barsukova, candidate of biological sciences, associate professor of the department of private animal science and animal feeding, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0009-0000-7022-6011, AuthorID 269451. *E-mail*: mariabar23@yandex.ru

Морфологические изменения в печени поросят и свиноматок и их корреляция с экспрессией антиоксидантных ферментов

И. М. Петрова, М. В. Бытов, С. Л. Хацко, О. В. Соколова[✉], Л. И. Дроздова, И. А. Шкуратова
Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения
Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: nauka_sokolova@mail.ru

Аннотация. Цель исследований – определить корреляцию экспрессии ферментов системы антиоксидантной защиты HO-1 и XDH в печени с ее морфологическими изменениями у свиней разных возрастных групп. **Методы исследований.** Для проведения оценки общей морфологической картины и описания обзорных изменений использовали окраску гематоксилином и эозином. Для выявления чрезмерного разрастания соединительной ткани использовали окрашивание по Маллори. Для определения корреляции экспрессии ферментов системы антиоксидантной защиты HO-1 и XDH проводили иммуногистохимическое окрашивание образцов с антителами к HO-1 и XDH. **Научная новизна** состоит в использовании комплекса гистохимических методов для изучения взаимосвязи деструктивных процессов в органах сельскохозяйственных животных с экспрессией ферментов антиоксидантной защиты организма. **Результаты.** В статье представлены данные морфологического анализа и иммуногистохимического окрашивания на выявление HO-1 и XDH в печени свиноматок (3–4 года ($n = 3$)) и поросят разных возрастных групп (1–2 месяца ($n = 3$), 3 месяца ($n = 6$), 4,5–5 месяцев ($n = 4$)). В ходе исследования выявлена корреляция развития деструктивных и компенсаторных процессов в печени с экспрессией ферментов антиоксидантной защиты. Для поросят отмечены либо незначительные нарушения морфологии органа, либо нарушения, сопровождающиеся компенсаторными механизмами. Для свиноматок выражен ряд значимых нарушений, сопровождаемых активной экспрессией HO-1 у мононуклеарных макрофагов печени, вероятно, играющих компенсаторную роль. При сравнительном анализе экспрессии XDH в печени выявлено, что для поросят в возрасте 3 месяцев она повышена, что, вероятно, ассоциировано с дистрофическими процессами. Механизмы и триггеры конверсии XDH в XOR для сельскохозяйственных животных еще предстоит изучить.

Ключевые слова: гемоксигеназа-1 (HO-1), ксантиндегидрогеназа (XDH), гепатоциты, печень, свиньи

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 23-16-00117 «Пространственная характеристика транскриптомных и метаболомных особенностей преждевременной структурно-функциональной дегенерации тканей органов сельскохозяйственных животных и птицы», <https://rscf.ru/project/23-16-00117>

Для цитирования: Петрова И. М., Бытов М. В., Хацко С. Л., Соколова О. В., Дроздова Л. И., Шкуратова И. А. Морфологические изменения в печени поросят и свиноматок и их корреляция с экспрессией антиоксидантных ферментов // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 318–328. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-318-328>.

Дата поступления статьи: 20.11.2025, **дата рецензирования:** 01.12.2025, **дата принятия:** 22.12.2025.

Morphological changes in the liver of piglets and sows and their correlation with the expression of antioxidant enzymes content

I. M. Petrova, M. V. Bytov, S. L. Khatsko, O. V. Sokolova✉, L. I. Drozdova, I. A. Shkuratova
Ural Federal Agrarian Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: nauka_sokolova@mail.ru

Abstract. The purpose of this study was to determine the correlation between the expression of HO-1 and XDH antioxidant defense enzymes in the liver and its morphological changes in pigs of different age groups. **Methods.** Hematoxylin and eosin staining was used to assess the overall morphological picture and describe the changes. Mallory staining was used to identify excessive connective tissue proliferation. Immunohistochemical staining of samples with antibodies to HO-1 and XDH was performed to determine the correlation between the expression of HO-1 and XDH antioxidant defense enzymes. **The scientific novelty** of this study lies in the use of a combination of histochemical methods to study the relationship between destructive processes in the organs of farm animals and the expression of antioxidant defense enzymes. **Results.** The article presents the data of morphological analysis and immunohistochemical staining for detection of HO-1 and XDH in the liver of sows (3–4 years old ($n = 3$)) and piglets of different age groups (1–2 months ($n = 3$), 3 months ($n = 6$), 4.5–5 months ($n = 4$)). The study revealed a correlation between the development of destructive and compensatory processes in the liver and the expression of antioxidant defense enzymes. For piglets, either minor abnormalities in the morphology of the organ were noted, or abnormalities accompanied by compensatory mechanisms were revealed. For sows, a number of significant abnormalities were expressed, accompanied by active expression of HO-1 in liver mononuclear macrophages, probably playing a compensatory role. A comparative analysis of XDH expression in the liver revealed that for 3-month-old piglets, it was increased, which was probably associated with dystrophic processes. The mechanisms and triggers of XDH to XOR conversion in farm animals remain to be studied.

Keywords: heme oxygenase (HO-1), xanthine dehydrogenase (XDH), hepatocyte, liver, pig

Acknowledgements. The study was carried out with funds from the Russian Science Foundation grant No. 23-16-00117 “Spatial characteristics of transcriptomic and metabolomic features of premature structural and functional degeneration of tissues of organs of farm animals and poultry”, <https://rscf.ru/project/23-16-00117>

For citation: Petrova I. M., Bytov M. V., Khatsko S. L., Sokolova O. V., Drozdova L. I., Shkuratova I. A. Morphological changes in the liver of piglets and sows and their correlation with the expression of antioxidant enzymes content. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 318–328. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-318-328>. (In Russ.)

Date of paper submission: 20.11.2025, **date of review:** 01.12.2025, **date of acceptance:** 22.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

В условиях интенсификации животноводства увеличивается функциональная нагрузка на организм животных, что приводит к развитию различных патологий. Существенное место среди нарушений занимают незаразные болезни, особенно заболевания пищеварительной системы. По частоте возникновения и величине экономического ущерба на одном из первых мест находятся болезни печени [1]. Развитие деструктивных процессов в печени не только приводит к нарушению работы органа, но и имеет системное влияние на обменные процессы, защитные функции и организм в целом. Комплекс морфологических изменений печени в онтогенезе, а также при ее различных незаразных патологиях

(токсической дистрофии, жировой дистрофии, циррозе) подробно описан в литературе [2–6]. Один из факторов развития дистрофических процессов в паренхиме печени у поросят – смена типа питания, другой – наличие токсинов в кормах. Кроме того, развитие интенсивных технологий производства приводит к резкому увеличению стресс-факторов, негативно сказывающихся на состоянии животных (гипокинезия, высокая плотность размещения, ранний отъем поросят и другие) [7]. Последствия влияния этих факторов проявляются нарушением не только метаболических процессов, но и работы антиоксидантных защитных систем организма [8].

На фоне несостоятельности или истощения систем антиоксидантной защиты в тканях развивается

окислительный стресс, который является триггером повреждения тканевых структур, некроза и апоптоза клеток. Сообщается, что в основе патогенеза различных гепатопатий лежат процессы перекисного окисления липидов [9].

Гемоксигеназа-1 (НО-1) – фермент, лимитирующий скорость катаболизма гема, катализируя его расщепление до свободного железа, оксида углерода и биливердина. Иммунохимическими исследованиями было показано, что НО-1 экспрессируется преимущественно в клетках Купфера и гепатоцитах [10]. При этом клетки Купфера являются главным источником печеночной НО-1, особенно при повреждении печени [11]. Гемоксигеназа-1 обладает мощными антиоксидантными, противовоспалительными и цитопротекторными свойствами, что делает ее важным регулятором функций печени. Под действием различных стрессовых факторов, таких как гипоксия, активные формы кислорода и воспаление, НО-1 может быстро индуцироваться для обеспечения цитопротекторных функций посредством различных биологических процессов, включая иммунорегуляторное действие, поддержание микроциркуляции, предотвращение повреждения тканей при синдроме ишемии-реперфузии [12]. Показано, что в клетках миелоидного ряда НО-1 играет роль в воспалительных и склеротических процессах. Так, мыши, флоксированные по гену этого белка, демонстрируют повышенные уровни воспаления и усиленный фиброз печени [13]. Количество апоптирующих клеток в печени при стеатогепатите снижается при повышенной экспрессии НО-1, что сопровождается уменьшением уровня АФК и стресса эндоплазматического ретикулаума [14].

Другой фермент, широко представленный в печени, – ксантиндегидрогеназа (ХДН) – в основном вырабатывается гепатоцитами и участвует в метаболизме пуринов [15]. Однако в условиях окислительного стресса (например, при воспалении) ксантиндегидрогеназа может превращаться в ксантинооксидазу, что приводит к увеличению количества активных форм кислорода и сопровождается повреждением тканей [16]. Чрезмерная активация ксантинооксидазы, в свою очередь, может привести к нарушениям метаболизма липидов на фоне повреждения паренхимы печени [17].

В литературе также представлены результаты исследований по взаимосвязи развития рака печени и уровня экспрессии ХДН, изменение которой при гепатоцеллюлярной карциноме является прогностическим маркером заболевания. Кроме того, опухолевая ткань, экспрессирующая высокие уровни ХДН, содержит большое количество инфильтрата из CD8⁺ клеток [18]. В других исследованиях показано, что ингибирование ХДН провоцирует инва-

зию и миграцию опухоли, но не ее пролиферацию, делая, таким образом, подавленную экспрессию этого фермента клиническим индикатором развития опухоли [19].

Таким образом, в литературе широко обсуждается роль ферментов печени НО-1 и ХДН в патогенезе ее заболеваний. К сожалению, все описанные закономерности справедливы для экспериментальных моделей грызунов, тогда как для сельскохозяйственных животных в современной литературе данные не представлены. В свою очередь, известно, что активация НО-1 смягчает стеатотическое повреждение печени у крыс [20], модулируя окислительный стресс и провоспалительные медиаторы, а соотношение ксантиндегидрогеназы к ксантинооксидазе является важным для регуляции антиоксидантных систем в печени [21]. Эти данные могут стать терапевтической стратегией для защиты печени и стимуляции ее регенерации, в том числе у сельскохозяйственных животных.

Цель настоящей работы – определить корреляцию экспрессии ферментов системы антиоксидантной защиты НО-1 и ХДН в печени с ее морфологическими изменениями у свиней разных возрастных групп.

Методология и методы исследования (Methods)

Работу выполняли в ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Для изучения морфологических изменений печени поросят и свиноматок постмортально был отобран материал от животных следующих возрастов: 1–2 месяцев ($n = 3$), 3 месяцев ($n = 6$), 4,5–5 месяцев ($n = 4$), 3–4 лет ($n = 3$). Для гистологических исследований кусочки тканей толщиной не более 0,5 см фиксировали в 10-процентном забуференном нейтральном формалине в соотношении 1 : 20. После фиксации в формалине образцы промывали в проточной воде, обезжовивали, затем пропитывали парафином и готовили парафиновые блоки. Изготавливали парафиновые срезы толщиной 3–4 мкм. Срезы депарафинизировали и окрашивали гистологическими красителями в соответствии с указаниями производителя (ООО «Биовитрум», Россия). Для проведения оценки общей морфологической картины и описания обзорных изменений использовали окраску гематоксилином и эозином. Для выявления чрезмерного разрастания соединительной ткани использовали окрашивание по Маллори.

Проводили иммуногистохимическое окрашивание образцов с антителами к НО-1 и ХДН. Для иммуногистохимического исследования срезы помещали на стекла с адгезивным покрытием (superfrost), далее – на сушильный столик (60 °С) до визуального расплавления парафина. Иммуногистохимическое исследование проводили по следующему протоколу:

1. Срезы помещали в буферный раствор трис-ЭДТА, нагретый на водяной бане до 96 °С на 20 минут для проведения температурной демаскировки антигенов (HIER, pH = 6; «ПраймБиоМед», Россия).

2. После 20-минутной инкубации на водяной бане срезы оставляли в буфере остывать до комнатной температуры, после чего промывали срезы дистиллированной водой.

3. Срезы инкубировали в растворе H₂O₂ в течение 10 минут, после чего помещали срезы в дистиллированную воду на 2 минуты.

4. Срезы обсушивали, обводили гидрофобным маркером.

5. Срезы заливали буфером TBST на 1 минуту.

6. На срезы наносили первичные антитела и инкубировали во влажной камере в течение 1 часа при 30 °С.

7. Срезы трижды промывали буфером TBST.

8. На срезы наносили вторичные антитела и инкубировали во влажной камере в течение 30 минут при 30 °С.

9. Срезы трижды промывали TBST.

10. На срезы наносили хромоген DAB и инкубировали до потемнения срезов примерно 50–60 секунд.

11. Срезы промывали в дистиллированной воде.

12. Срезы докрашивали гематоксилином в течение 10 секунд.

13. Срезы промывали в дистиллированной воде, осветляли и заключали в бальзам.

В качестве первичных антител использовали антитела к HO-1 (PAA584Bo01, Cloud-Clone, Китай) и XDH (PAC608Bo01, Cloud-Clone, Китай) в разведении 1 : 100. В качестве вторичных использовали антитела к иммуноглобулину IgG кролика (SAA544Rb19, Cloud-Clone, Китай) с использованием DAB (Bio-Rad, США) в качестве субстрата пероксидазы хрена в соответствии с рекомендациями производителя.

Проводили гистологическое описание и морфоколичественный анализ препаратов.

У каждого препарата проанализировано по 10 полей зрения. С помощью программы TourView в печени измеряли площадь печеночных долек (мм²), диаметр синусоидов (мкм), количество гепатоцитов (в 1 мм²), количество двуядерных гепатоцитов (в 1 мм²), количество гепатоцитов с признаками дистрофии и/или альтерации (в 1 мм²), количество HO-1-позитивных клеток (в 1 мм²). Измеряли площади ядер и цитоплазмы гепатоцитов (мкм²) для 50 гепатоцитов в каждом поле зрения. Вычисляли ядерно-цитоплазматическое соотношение (ЯЦО) и индекс альтерации гепатоцитов. Проводили визуальную оценку интенсивности иммуногистохимического окрашивания гепатоцитов печени с антителами к XDH по шкале: «0» – отсутствие окрашивания, «1» – слабое окрашивание, «2» – умеренное окрашивание, «3» – интенсивное окрашивание.

Статистическую обработку результатов проводили в программах Microsoft Excel и Statistica 12.0. Выборки данных сравнивали с помощью непараметрического критерия Краскела – Уоллиса с последующим post-hoc-тестом Данна; данные представляли в виде медианы и интерквартильного размаха Me [Q1;Q3]. Значение уровня значимости p было принято равным 0,05.

Результаты (Results)

При исследовании окрашенных гематоксилином и эозином препаратов печени поросят в возрасте 1–2 месяцев в структуре печени не было выявлено изменений патологического характера. В некоторых участках печени цитоплазма гепатоцитов имеет неравномерное окрашивание, что свидетельствует о незначительном нарушении белкового обмена. Синусоиды печени очагами расширены и содержат скопления эритроцитов. В соединительной ткани обнаруживается незначительное количество инфильтрата (рис. 1). При окрашивании препаратов печени по Маллори не наблюдается разрастания соединительнотканых структур, за исключением усиления ее рисунка в области расположения собирательных вен (рис. 2).

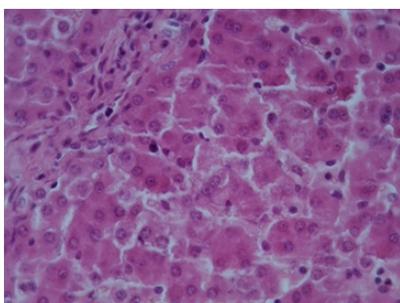


Рис. 1. Структура печени поросят в возрасте 1–2 месяцев. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400×
Fig. 1. Liver structure of piglets aged 1–2 months. Stained with hematoxylin and eosin. 400× magnification

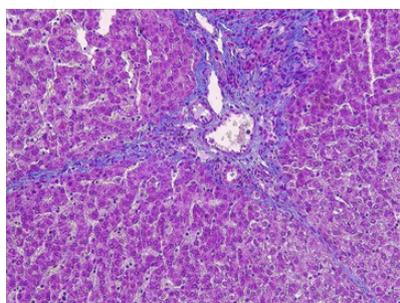


Рис. 2. Структура печени поросят в возрасте 1–2 месяцев. Окраска по Маллори. Ув. 100×
Fig. 2. Liver structure of piglets aged 1–2 months. Mallory staining. 100× magnification

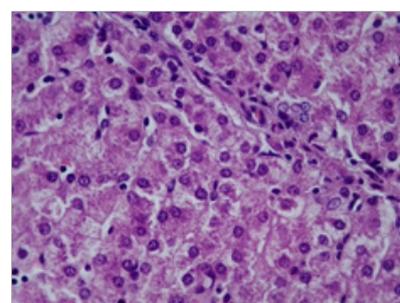


Рис. 3. Структура печени поросят в возрасте 3 месяцев. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400×
Fig. 3. Liver structure of 3-month-old piglets. Hematoxylin and eosin staining. 400× magnification

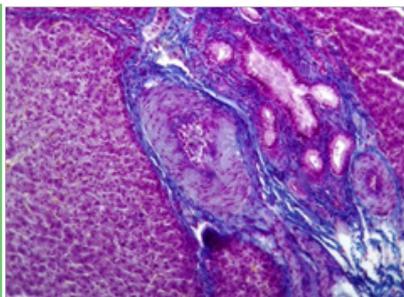


Рис. 4. Разрастание соединительной ткани на уровне триады печени поросят в возрасте 3 месяцев. Окраска по Маллори. Ув. 100×
Fig. 4. Connective tissue proliferation at the portal triad level in 3-month-old piglets. Mallory stain. 100× magnification

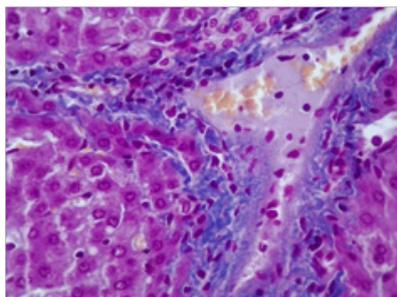


Рис. 5. Формирующийся тромб в просвете сосуда печени поросят в возрасте 3 месяцев. Окраска по Маллори. Ув. 400×
Fig. 5. Forming thrombus in the lumen of a liver vessel in 3-month-old piglets. Mallory stain. 400× magnification

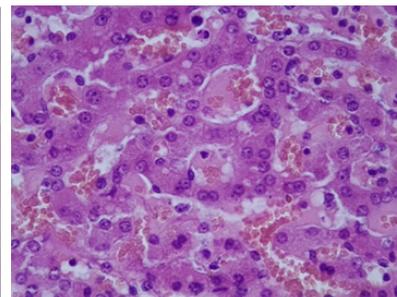


Рис. 6. Структура печени поросят в возрасте 4,5–5 месяцев. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400×
Fig. 6. Liver structure of piglets aged 4.5–5 months. Stained with hematoxylin and eosin. 400× magnification

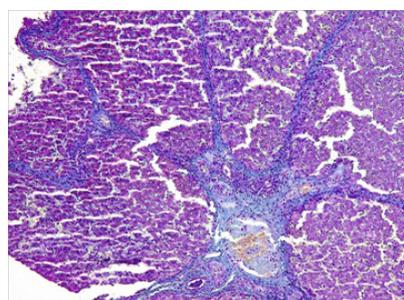


Рис. 7. Разрастание соединительной ткани и формирование тромба в печени поросят в возрасте 4,5–5 месяцев. Окраска по Маллори. Ув. 200×
Fig. 7. Connective tissue proliferation and thrombus formation in the liver of 4.5- to 5-month-old piglets. Mallory stain. 200m magnification

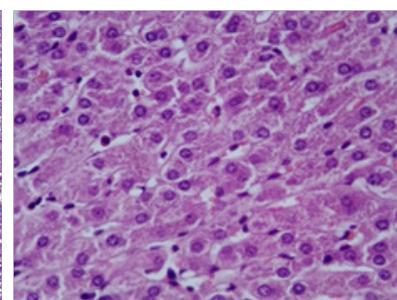


Рис. 8. Дистрофия гепатоцитов печени свиноматок в возрасте 3–4 лет. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400×
Fig. 8. Hepatocyte dystrophy in the liver of 3–4 year-old sows. Hematoxylin and eosin staining. 400× magnification

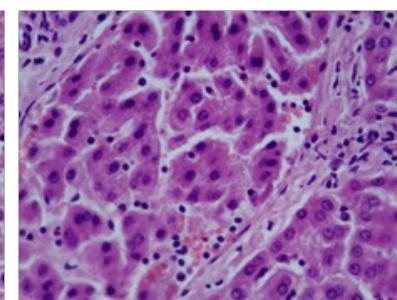


Рис. 9. Утолщение соединительнотканых структур в паренхиме печени свиноматок в возрасте 3–4 лет. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400×
Fig. 9. Thickening of connective tissue structures in the liver parenchyma of 3–4 year-old sows. Hematoxylin and eosin staining. 400× magnification

При исследовании окрашенных гематоксилином и эозином препаратов печени поросят в возрасте 3 месяцев определяются гепатоциты в состоянии зернистой дистрофии. Клетки Купфера активизированы, утолщены. В некоторых синусоидах видны гранулоциты (рис. 3). При окрашивании по Маллори обнаруживаются разрастание соединительной ткани в паренхиме печени и ее коллагенизация, особенно интенсивно это процесс идет в системе триады (рис. 4). При окраске по Маллори особенно четко выявляется комплекс изменений со стороны микроциркуляторного русла органа. Стенки сосудов в состоянии пролиферации клеточных элементов. Сосуды гиперемированы, расширены, а их клеточные элементы находятся в состоянии пролиферации. В промежуточной соединительной ткани обнаруживается полиморфно-клеточная инфильтрация. В венозных сосудах идет процесс тромбообразования, а периваскулярная соединительная ткань значительно утолщена (рис. 5).

При морфологическом исследовании препаратов печени поросят в возрасте 4,5–5 месяцев отмечаются гепатоциты с разной интенсивностью окраски цитоплазмы. В некоторых клетках наблю-

дается зернистая дистрофия, а также микронекроз разных типов. В то же время появляются и двуядерные гепатоциты, что свидетельствует об активации компенсаторно-приспособительных реакций. Тем не менее в печени отмечаются микроциркуляторные нарушения. Синусоиды сильно расширены и полнокровны, в их просвете определяются также лейкоциты. Имеются очаги кровоизлияния с плазматическим пропитыванием паренхимы. В просвете сосудов определяются сгустки фибрина, что свидетельствует о начале тромбообразования (рис. 6). При окрашивании по Маллори в системе триады наблюдается разрастание соединительной ткани, а в венозных сосудах – формирование тромбов (рис. 7).

При морфологическом исследовании препаратов печени свиноматок в возрасте 3–4 лет обнаруживается выраженная зернистая дистрофия гепатоцитов (рис. 8). В соединительнотканной строме прослеживается лимфоидно-клеточная инфильтрация, что свидетельствует о воспалительном процессе. Видна повышенная активизация элементов стромы в виде увеличения количества фибробластов и фиброцитов. В пользу развития воспалительного процесса свидетельствует также наличие лимфоидных

скоплений в паренхиме органа (рис. 9). При окраске по Маллори отмечается разрастание междольковой соединительной ткани, за счет чего дольки кажутся уменьшенными в объеме; в них не просматриваются центральные вены, а печеночные балки расположены хаотично. В области расположения собирательных вен разрастание соединительной ткани идет наиболее активно (рис. 10).

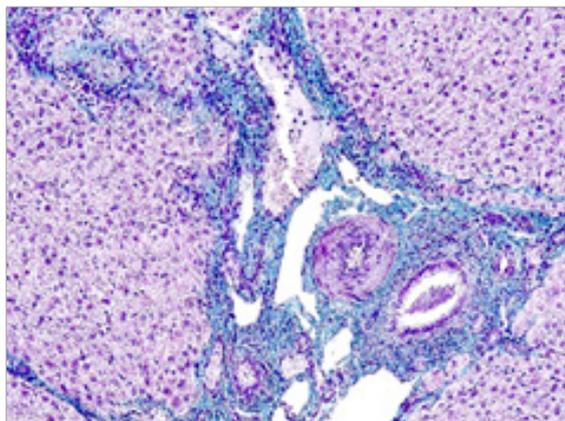


Рис. 10. Разрастание соединительной ткани в печени свиноматок в возрасте 3–4 лет.

Окраска по Маллори. Ув. 200×

Fig. 10. Connective tissue proliferation in the liver of 3–4 year-old sows. Mallory stain. 200× magnification

Несмотря на развитие дистрофических процессов в паренхиме печени, с возрастом количество гепатоцитов (рис. 11, *a*) остается примерно на одном уровне у поросят разных возрастных групп, вероятно, за счет выраженности компенсаторных механизмов в печени. Что касается свиноматок, то количество клеток у них меньше, очевидно, за счет замещения паренхимы соединительной тканью. В пользу этого свидетельствуют невысокие значения площади печеночных долек, сопоставимые у свиноматок и поросят (рис. 11, *h*). Показатель ЯЦО (рис. 11, *b*) также не демонстрирует достоверных различий между группами, хотя и наблюдается тенденция к его уменьшению с возрастом, что сопоставимо с литературными данными [5] и связано с процессами естественного становления дефинитивной организации гепатоцитов у поросят. Количество гепатоцитов с признаками дистрофии или альтерации и, соответственно, индекс альтерации гепатоцитов достоверно ниже у поросят в возрасте 1–2 месяцев в сравнении со свиноматками (рис. 11, *c, d*). Между поросятами большего возраста и свиноматками достоверных различий не обнаружено. Данные тенденции соотносятся с морфологическим описанием. Количество двуядерных клеток достоверно снижается в печени свиноматок (рис. 11, *e*), что ука-

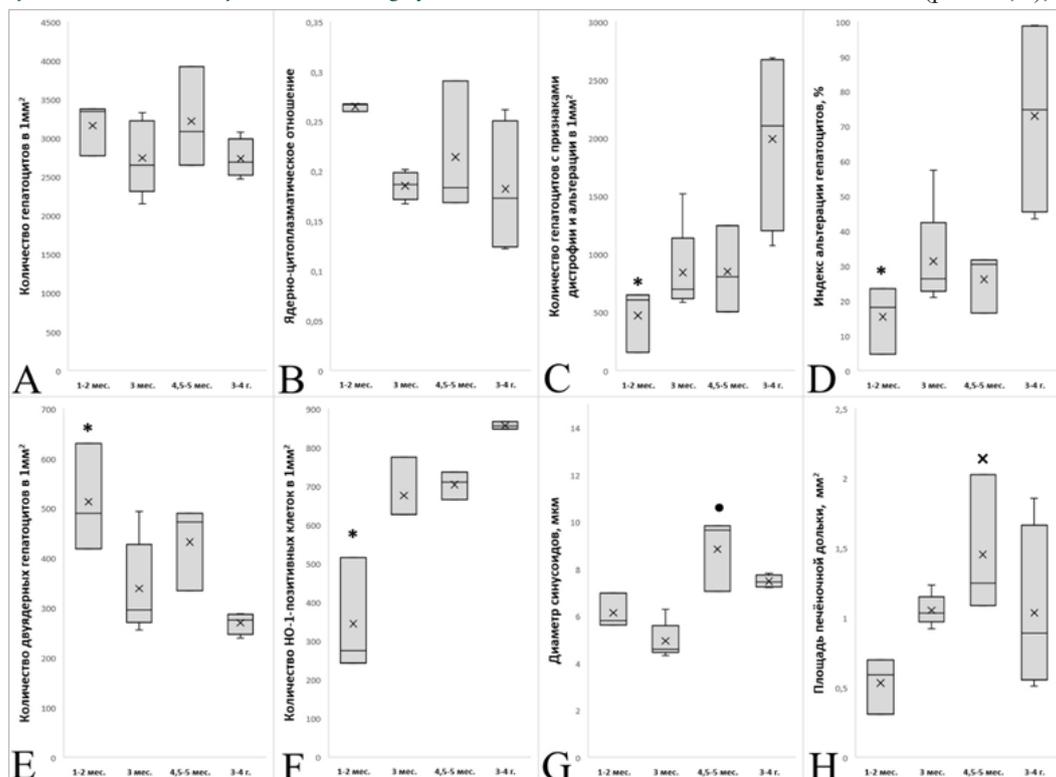


Рис. 11. Результаты морфо-количественного анализа препаратов печени:

- × – уровень статистической значимости различий с группой «1–2 мес.», $p < 0,05$;
- – уровень статистической значимости различий с группой «3 мес.», $p < 0,05$;
- * – уровень статистической значимости различий с группой «3–4 г.», $p < 0,05$

Fig. 11. Results of morpho-quantitative analysis of liver preparations:

- × – level of statistical significance of differences with the 1–2 months group, $p < 0.05$;
- – level of statistical significance of differences with the 3 months group, $p < 0.05$;
- * – level of statistical significance of differences with the 3–4 years group, $p < 0.05$

зывает на постепенное ослабление регенераторного потенциала органа. Между поросятами разных возрастов различий по этому показателю не обнаруживается. Диаметр синусоидов значительно больше у поросят в возрасте 4,5–5 месяцев, что соотносится с выраженными изменениями микроциркуляторного русла, обнаруженными при морфологическом исследовании препаратов печени (рис. 11, g).

Иммуногистохимический анализ образцов печени выявил высокое содержание HO-1-позитивных клеток в паренхиме печени свиноматок (рис. 11, f). Этот показатель увеличивается с возрастом и, вероятно, со степенью развития патологических процессов в печени. HO-1-позитивные клетки имеют

разнообразную форму, в основном отростчатую, и локализуются между гепатоцитами, в синусоидах и пространствах Диссе, что позволяет отнести эти клетки к системе мононуклеарных макрофагов печени, которая включает в том числе клетки Купфера. Интересно отметить, что повышение количество этих клеток коррелирует с увеличением интенсивности их окрашивания (рис. 12). Ранее отмечалось, что HO-1 играет важную роль в обеспечении защиты тканей печени от повреждений активными формами кислорода и цитокинами, уровень которых повышается на фоне развития деструктивных процессов в печени.

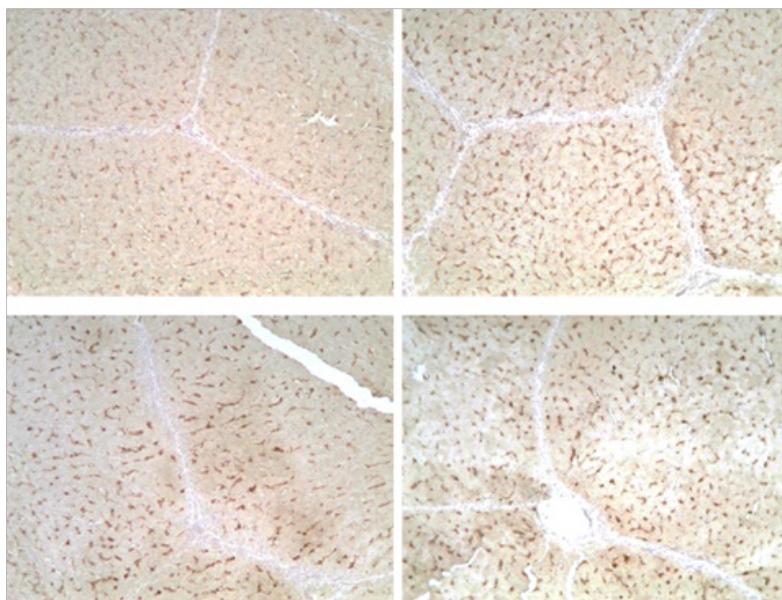


Рис. 12. Иммуногистохимическое выявление HO-1 в тканях печени поросят и свиноматок, окраска гематоксилином, ув. 100×

Fig. 12. Immunohistochemical detection of HO-1 in liver tissues of piglets and sows, hematoxylin staining, 100× magnification

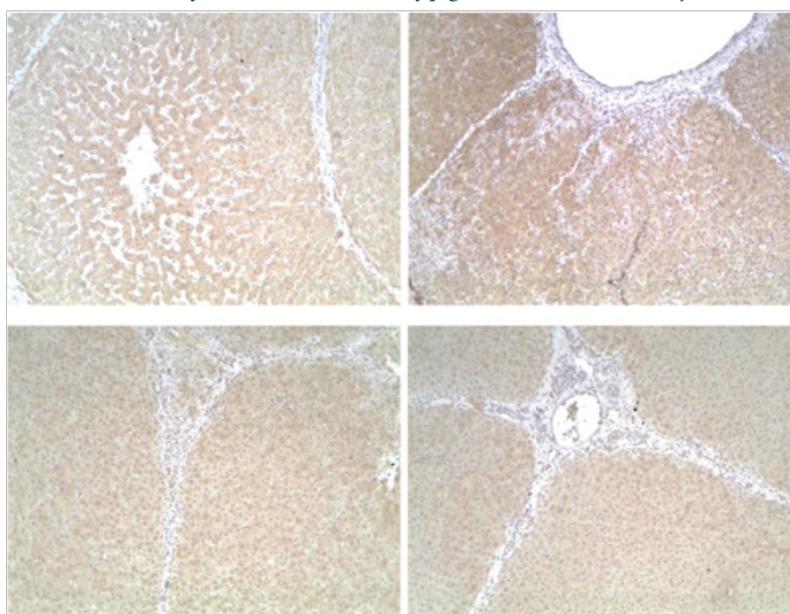


Рис. 13. Иммуногистохимическое выявление XDH в тканях печени поросят и свиноматок, окраска гематоксилином, ув. 100×

Fig. 13. Immunohistochemical detection of XDH in liver tissues of piglets and sows, hematoxylin staining, 100× magnification

Анализ образцов печени, окрашенных с помощью антител к ксантиндегидрогеназе, выявил ее равномерную экспрессию в гепатоцитах поросят всех возрастных групп и свиноматок (рис. 13). Для гепатоцитов печени поросят 1–2 месяцев, 4,5–5 месяцев и свиноматок окрашивание можно определить как умеренное, а для группы 3 месяцев – интенсивное.

Повышенный уровень экспрессии XDH в печени поросят этой возрастной группы мог служить триггером для развития деструктивных процессов в паренхиме печени, которые начиная с этого возраста выражаются в дистрофии гепатоцитов и наличии микроциркуляторных расстройств.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Морфологическое исследование выявило, что начальные стадии развития дистрофии гепатоцитов у поросят в возрасте 1-2 месяцев сопровождаются незначительным разрастанием соединительнотканых структур и микроциркуляторными сдвигами, носящими очаговый характер. У поросят в возрасте 3 месяцев описанные процессы становятся более выраженными. В возрасте 4,5–5 месяцев развиваются не только дистрофические, но и некробиотические процессы в паренхиме печени, что приводит к интенсивной реакции со стороны микроциркуляторного русла: синусоиды расширяются, в сосудах активно идет процесс тромбообразования. Тем не менее в органе активизируются и компенсаторные механизмы, что проявляется в наличии двуядерных клеток, активации клеток Купфера. У свиноматок в паренхиме печени определяется выраженная дистрофия, что сопровождается развитием воспалительных реакций и активным разрастанием соеди-

нительной ткани. При этом в печени свиноматок отмечается активация мононуклеарных макрофагов печени, экспрессирующих HO-1. Известно, что в стрессовых условиях (например, когда наряду с развитием дистрофических процессов орган претерпевает высокую функциональную нагрузку, на фоне воспаления и гипоксии) гемоксигеназа-1 играет протекторную роль. Уровень экспрессии другого фермента – XDH – значительно интенсивнее в печени поросят 3-месячного возраста. Интересно, что в этом возрасте в печени интенсивность метаболических и микроциркуляторных расстройств нарастает. Вполне вероятно, что повышение уровня экспрессии ксантиндегидрогеназы свидетельствует о высокой степени метаболической активности печени. Данные об участии повышенной экспрессии XDH в патологиях печени животных в современной литературе не описаны. При этом стоит отметить, что XDH и XOR – это взаимопревращаемые формы одного и того же фермента. Таким образом, повышенная экспрессия XDH может быть путем для потенциально повреждающей формы фермента, что может приводить в конечном счете к окислительному стрессу. Механизм и триггеры конвертации этих форм фермента для сельскохозяйственных животных еще предстоит изучить.

Представленные данные свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения взаимосвязи деструктивных процессов в органах сельскохозяйственных животных с экспрессией ферментов антиоксидантной защиты организма, а также представляют интерес для разработки подходов, направленных на раннюю коррекцию развития различных патологий.

Библиографический список

1. Лемеш В. М., Бондарь Т. В., Пахомов П. И. Морфологическое проявление патологий печени у свиней // Ученые записки Учреждения образования «Витебская ордена „Знак Почета“ государственная академия ветеринарной медицины». 2009. № 1 (45). С. 31–33.
2. Слободяник В. С. Функциональная морфология печени у поросят при гепатодистрофии // Научная мысль Кавказа. 2006. № 1 (84). С. 180–182.
3. Du J., Zhang K., Miao J., Yang Y., Tian Y., Wu T., Tao C., Wang Y., Yang S. Molecular pathological characteristics and mechanisms of the liver in metabolic disease-susceptible transgenic pigs // Life Sciences. 2025. Vol. 362. Article number 123337. DOI: 10.1016/j.lfs.2024.123337.
4. Сулейманов С. М., Слободяник В. С., Мозговая Е. И. Структурная организация печени свиней в постнатальном онтогенезе, при патологии и ее профилактике // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2013. № 4 (20). С. 76–83.
5. Андреева С. Д. Возрастные изменения ультраструктуры гепатоцитов свиньи // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 4. 76–80.
6. Шкуратова И. А., Дроздова Л. И., Белоусов А. И., Красноперов А. С. Взаимосвязь морфо-биохимических показателей, как инструмент повышения эффективности диагностики заболеваний печени у высокопродуктивных коров // Известия Международной академии аграрного образования. 2023. № 68. С. 6–13.
7. Головкин А. Б. Влияние условий промышленного содержания и кормления на возникновение заболеваний печени у свиней // Образование, наука, технологии: современные парадигмы и практические разработки: материалы международной научно-практической конференции. Белгород, 2022. С. 5–8.
8. Максимов Г. В., Ленкова Н. В. Система антиоксидантной защиты организма в зависимости от стресс-реакции, возраста и породы свиней // Ветеринарная патология. 2010. № 4. С. 59–61.

9. Головкин А. Б. Обоснование профилактики и лечебной коррекции гепатопатий свиней: дис. ... канд. вет. наук: 4.2.1. Белгород, 2025. 158 с.
10. Goda N., Suzuki K., Naito M., Takeoka S., Tsuchida E., Ishimura Y., Tamatani T., Suematsu M. Distribution of heme oxygenase isoforms in rat liver. Topographic basis for carbon monoxide-mediated microvascular relaxation // *Journal of Clinical Investigation*. 1998. Vol. 101, No. 3. Pp. 604–612. DOI: 10.1172/JCI1324.
11. Li S., Fujino M., Takahara T., Li X. K. Protective role of heme oxygenase-1 in fatty liver ischemia-reperfusion injury // *Medical Molecular Morphology*. 2019. Vol. 52, No. 2. Pp. 61–72. DOI: 10.1007/s00795-018-0205-z.
12. Zhang M., Nakamura K., Kageyama S., Lawal A. O., Gong K. W., Bhetraratana M., Fujii T., Sulaiman D., Hirao H., Bolisetty S., Kupiec-Weglinski J. W., Araujo J. A. Myeloid HO-1 modulates macrophage polarization and protects against ischemia-reperfusion injury // *JCI Insight*. 2018. Vol. 3, No. 19. Article number e120596. DOI: 10.1172/jci.insight.120596.
13. Canesin G., Feldbrügge L., Wei G., Janovicova L., Janikova M., Csizmadia E., Ariffin J., Hedblom A., Herbert Z. T., Robson S. C., Celec P., Swanson K. D., Nasser I., Popov Y. V., Wegiel B. Heme oxygenase-1 mitigates liver injury and fibrosis via modulation of LNX1/Notch1 pathway in myeloid cells // *iScience*. 2022. Vol. 25, No. 9. Article number 104983. DOI: 10.1016/j.isci.2022.104983.
14. Li D., Zhao D., Du J., Dong S., Aldhamin Z., Yuan X., Li W., Du H., Zhao W., Cui L., Liu L., Fu N., Nan Y. Heme oxygenase-1 alleviated non-alcoholic fatty liver disease via suppressing ROS-dependent endoplasmic reticulum stress // *Life Science*. 2020. Vol. 253. Article number 117678. DOI: 10.1016/j.lfs.2020.117678.
15. Chen M. M., Guo W., Chen S. M., Guo X. Z., Xu L., Ma X. Y., Wang Y. X., Xie C., Meng L. H. Xanthine dehydrogenase rewires metabolism and the survival of nutrient deprived lung adenocarcinoma cells by facilitating UPR and autophagic degradation // *International Journal of Biological Sciences*. 2023. Vol. 19, No. 3. Pp. 772–788. DOI: 10.7150/ijbs.78948.
16. Veljković A., Hadži-Dokić J., Sokolović D., Bašić D., Veličković-Janković L., Stojanović M., Popović D., Kocić G. Xanthine oxidase/dehydrogenase activity as a source of oxidative stress in prostate cancer tissue // *Diagnostics*. 2020. Vol. 10, No. 9. Pp. 668. DOI: 10.3390/diagnostics10090668.
17. Liu L., Zhang Y., Wang X., Meng H., He Y., Xu X., Wei C., Yan X., Tao X., Dang K., Ma P., Guo X., Yang S., Wang J., Li Y. Xanthine oxidase promotes hepatic lipid accumulation through high fat absorption by the small intestine // *JHEP Reports*. 2024. Vol. 6, No. 8. Article number 101060. DOI: 10.1016/j.jhepr.2024.101060.
18. Lin Z., Xie Y. Z., Zhao M. C., Hou P. P., Tang J., Chen G. L. Xanthine dehydrogenase as a prognostic biomarker related to tumor immunology in hepatocellular carcinoma // *Cancer Cell International*. 2021. Vol. 21, No. 1. DOI: 10.1186/s12935-021-02173-7.
19. Chen G. L., Ye T., Chen H. L., Zhao Z. Y., Tang W. Q., Wang L. S., Xia J. L. Xanthine dehydrogenase down-regulation promotes TGF β signaling and cancer stem cell-related gene expression in hepatocellular carcinoma // *Oncogenesis*. 2017. Vol. 6, No. 9. Article number e382. DOI: 10.1038/oncsis.2017.81.
20. Sun M., Wu X., Lin Z., Zhang C., Cui J., Mao Y., Shi Y., Zhang J., Nan Y. Investigation of HO-1 regulation of liver fibrosis related to nonalcoholic fatty liver disease through the SIRT1/TGF- β /Smad3 pathway // *Journal of Clinical and Translational Hepatology*. 2025. Vol. 13, No 6. Pp. 456–468. DOI: 10.14218/JCTH.2024.00481.
21. Massip-Salcedo M., Roselló-Catafau J., Prieto J., Avila M. A., Peralta C. The response of the hepatocyte to ischemia // *Liver International*. 2007. Vol. 27, No. 1. Pp. 6–16. DOI: 10.1111/j.1478-3231.2006.01390.x.

Об авторах:

Ирина Михайловна Петрова, лаборант отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-4358-5219, AuthorID 796164. *E-mail: marygane6@mail.ru*

Максим Владимирович Бытов, аспирант, младший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-3622-3770, AuthorID 1121043. *E-mail: bytovmaks@mail.ru*

Сергей Леонидович Хацко, лаборант отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-5921-6680, AuthorID 949883. *E-mail: hardscore@mail.ru*

Ольга Васильевна Соколова, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-1169-4090, AuthorID 648613. *E-mail: nauka_sokolova@mail.ru*

Людмила Ивановна Дроздова, доктор ветеринарных наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела экологии и незаразной патологии, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр

Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-9689-1781, AuthorID 599715. E-mail: drozdova43@mail.ru

Ирина Алексеевна Шкуратова, член-корреспондент РАН, доктор ветеринарных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела экологии и незаразной патологии, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0025-3545, AuthorID 482688. E-mail: shkuratova@bk.ru

References

1. Lemesh V. M., Bondar T. V., Pakhomov P. I. Morphological manifestation of liver pathologies in pigs. *Transactions of the educational establishment "Vitebsk the Order of "The Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine".* 2009; 1 (45): 31–33. (In Russ.)
2. Slobodyanik V. S. Functional morphology of the liver in piglets with hepatodystrophy. *Scientific Thought of Caucasus.* 2006; 1 (84): 180–182. (In Russ.)
3. Du J., Zhang K., Miao J., Yang Y., Tian Y., Wu T., Tao C., Wang Y., Yang S. Molecular pathological characteristics and mechanisms of the liver in metabolic disease-susceptible transgenic pigs. *Life Sciences.* 2025; 362: 123337. DOI: 10.1016/j.lfs.2024.123337.
4. Suleymanov S. M., Slobodyanik V. S., Mozgovaya E. I. Structural organization of pig liver in postnatal ontogenesis, pathology and prevention. *Actual Questions of Veterinary Biology.* 2013; 4 (20): 76–83. (In Russ.)
5. Andreeva S. D. Age changes in ultrastructure of hepatocytes pigs. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy.* 2011; 4: 76–80. (In Russ.)
6. Shkuratova I. A., Drozdova L. I., Belousov A. I., Krasnoperov A. S. Interrelation of morpho-biochemical indicators as a tool for increasing the efficiency of diagnostics of liver diseases in highly productive cows. *Izvestiya of the International Academy of Agricultural Education.* 2023; 68: 6–13. (In Russ.)
7. Golovko A. B. The influence of industrial housing and feeding conditions on the occurrence of liver diseases in pigs. *Education, science, technology: modern paradigms and practical developments: proceedings of the International Scientific and Practical Conference.* Belgorod, 2022. Pp. 5–8. (In Russ.)
8. Maksimov G. V., Lenkova N. V. The system of antioxidant protection of the body depending on stress reaction, age and breed of pigs. *Russian Journal of Veterinary Pathology.* 2010; 4: 59–61. (In Russ.)
9. Golovko A. B. Substantiation of prevention and therapeutic correction of hepatopathies in pigs: the diss. ... candidate of veterinary sciences: 4.2.1. Belgorod, 2025. 158 p.
10. Goda N., Suzuki K., Naito M., Takeoka S., Tsuchida E., Ishimura Y., Tamatani T., Suematsu M. Distribution of heme oxygenase isoforms in rat liver. Topographic basis for carbon monoxide-mediated microvascular relaxation. *Journal of Clinical Investigation.* 1998; 101 (3): 604–612. DOI: 10.1172/JCI1324.
11. Li S., Fujino M., Takahara T., Li X. K. Protective role of heme oxygenase-1 in fatty liver ischemia-reperfusion injury. *Medical molecular morphology.* 2019; 52 (2): 61–72. DOI: 10.1007/s00795-018-0205-z.
12. Zhang M., Nakamura K., Kageyama S., Lawal A. O., Gong K. W., Bhetharatana M., Fujii T., Sulaiman D., Hirao H., Bolisetty S., Kupiec-Weglinski J. W., Araujo J. A. Myeloid HO-1 modulates macrophage polarization and protects against ischemia-reperfusion injury. *JCI Insight.* 2018; 3 (19): e120596. DOI: 10.1172/jci.insight.120596.
13. Canesin G., Feldbrügge L., Wei G., Janovicova L., Janikova M., Csizmadia E., Ariffin J., Hedblom A., Herbert Z. T., Robson S. C., Celec P., Swanson K. D., Nasser I., Popov Y. V. Wegiel B. Heme oxygenase-1 mitigates liver injury and fibrosis via modulation of LNX1/Notch1 pathway in myeloid cells. *iScience.* 2022; 25 (9): 104983. DOI: 10.1016/j.isci.2022.104983.
14. Li D., Zhao D., Du J., Dong S., Aldhamin Z., Yuan X., Li W., Du H., Zhao W., Cui L., Liu L., Fu N., Nan Y. Heme oxygenase-1 alleviated non-alcoholic fatty liver disease via suppressing ROS-dependent endoplasmic reticulum stress. *Life Science.* 2020; 253: 117678. DOI: 10.1016/j.lfs.2020.117678.
15. Chen M. M., Guo W., Chen S. M., Guo X. Z., Xu L., Ma X. Y., Wang Y. X., Xie C., Meng L. H. Xanthine dehydrogenase rewires metabolism and the survival of nutrient deprived lung adenocarcinoma cells by facilitating UPR and autophagic degradation. *International journal of biological sciences.* 2023; 19 (3): 772–788. DOI: 10.7150/ijbs.78948.
16. Veljković A., Hadži-Dokić J., Sokolović D., Bašić D., Veličković-Janković L., Stojanović M., Popović D., Kocić G. Xanthine oxidase/dehydrogenase activity as a source of oxidative stress in prostate cancer tissue. *Diagnostics.* 2020; 10 (9): 668. DOI: 10.3390/diagnostics10090668.
17. Liu L., Zhang Y., Wang X., Meng H., He Y., Xu X., Wei C., Yan X., Tao X., Dang K., Ma P., Guo X., Yang S., Wang J., Li Y. Xanthine oxidase promotes hepatic lipid accumulation through high fat absorption by the small intestine. *JHEP Reports.* 2024; 6 (8): 101060. DOI: 10.1016/j.jhepr.2024.101060.

18. Lin Z., Xie Y. Z., Zhao M. C., Hou P. P., Tang J., Chen G. L. Xanthine dehydrogenase as a prognostic biomarker related to tumor immunology in hepatocellular carcinoma. *Cancer Cell International*. 2021; 21 (1): 475. DOI: 10.1186/s12935-021-02173-7.

19. Chen G. L., Ye T., Chen H. L., Zhao Z. Y., Tang W. Q., Wang L. S., Xia J. L. Xanthine dehydrogenase down-regulation promotes TGF β signaling and cancer stem cell-related gene expression in hepatocellular carcinoma. *Oncogenesis*. 2017; 6 (9): e382. DOI: 10.1038/oncsis.2017.81.

20. Sun M., Wu X., Lin Z., Zhang C., Cui J., Mao Y., Shi Y., Zhang J., Nan Y. Investigation of HO-1 regulation of liver fibrosis related to nonalcoholic fatty liver disease through the SIRT1/TGF- β /Smad3 pathway. *J. Clin. Transl. Hepatol*. 2025; 13 (6): 456–468. DOI: 10.14218/JCTH.2024.00481.

21. Massip-Salcedo M., Roselló-Catafau J., Prieto J., Avila M. A., Peralta C. The response of the hepatocyte to ischemia. *Liver International*. 2007; 27 (1): 6–16. DOI: 10.1111/j.1478-3231.2006.01390.x.

Authors' information:

Irina M. Petrova, laboratory assistant at the department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-4358-5219, AuthorID 796164. *E-mail: marygane6@mail.ru*

Maksim V. Bytov, postgraduate, junior researcher at the department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-3622-3770, AuthorID 1121043. *E-mail: bytovmaks@mail.ru*

Sergey L. Khatsko, laboratory assistant at the department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-5921-6680, AuthorID 949883. *E-mail: hardscore@mail.ru*

Olga V. Sokolova, doctor of veterinary sciences, leading researcher at the department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-1169-4090, AuthorID 648613. *E-mail: hardscore@mail.ru*

Lyudmila I. Drozdova, doctor of veterinary sciences, professor, leading researcher at the department of ecology and non-communicable pathology, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-9689-1781, AuthorID 599715. *E-mail: drozdova43@mail.ru*

Irina A. Shkuratova, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, doctor of veterinary sciences, professor, chief researcher at the department of ecology and non-communicable pathology, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0025-3545, AuthorID 482688. *E-mail: shkuratova@bk.ru*

Характеристика лейкозного процесса при BLV-инфекции на основе аминокислотного полиморфизма возбудителя и комплекса иммуно-биохимических критериев крупного рогатого скота

М. В. Петропавловский✉, А. П. Порываева, Н. А. Безбородова, О. Ю. Опарина, А. Г. Исаева, А. И. Белоусов, А. С. Бадретдинова

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

✉E-mail: petropavlovsky_m@mail.ru

Аннотация. Лейкоз крупного рогатого скота – широко распространенное хроническое инфекционное заболевание, наносящее значительный экономический ущерб современному животноводству. Статья посвящена исследованию патогенетических и иммунобиологических характеристик патологического процесса, вызываемого доминирующими штаммами вируса лейкоза. **Целью** работы стало изучение особенностей патологических изменений иммунореактивности организма крупного рогатого скота, инфицированного возбудителем лейкоза IV генетического типа, при разных формах течения инфекции. **Научная новизна.** Получены новые данные, охватывающие иммунобиологические и патогенетические характеристики при лейкозе крупного рогатого скота. **Методы.** Клинические наблюдения и отбор проб проводили в сельскохозяйственных организациях, специализирующихся на разведении крупного рогатого скота на территории Российской Федерации. Проведены иммуногематологические, серологические, биохимические, культуральные исследования; молекулярно-генетический анализ; амплификацию фрагмента гена env длиной 444 п. н. и его секвенирование. **Результаты.** У коров с алейкемической и сублейкемической стадиями лейкоза, вызванного вирусом лейкоза КРС генотипа G4, был определен иммуногематологический статус и биохимический профиль. Установлено, что в группе серопозитивных животных алейкемическая стадия заболевания выявлена у 22,9 % коров. Показано, что независимо от стадии патологического процесса нарушения гемопоэтической функции костного мозга характеризуются отсутствием юных форм гранулоцитов и дисбалансом клеточно-структурного состава пула лейкоцитов. У 85,7 % животных на фоне повышенной пролиферации лимфоидных клеток были диагностированы нарушения дифференцировки Т- и В-клеточного звена. Биоинформационный анализ результатов секвенирования по Сэнгеру биологических проб от исследуемых животных выявил генотип-ассоциированные аминокислотные замены в структуре гликопротеина: аргинина на гистидин в позиции 121 (R121H) и лизина на аргинин в позиции 150 (K150R). **Выводы.** Решение задач по обеспечению биологического благополучия сельскохозяйственных животных требует расширения и детализации базы данных о патологических изменениях при эмерджентных инфекциях. Это позволит не только точнее характеризовать иммунобиологические свойства возбудителей, но и совершенствовать программы лечебно-профилактических и оздоровительных мероприятий, а также прогнозировать риски их возникновения.

Ключевые слова: эпизоотический процесс, крупный рогатый скот, вирус лейкоза, иммуногематологические и биохимические маркеры, генетический тип

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания № 0532-2026-0006.

Для цитирования: Петропавловский М. В., Порываева А. П., Безбородова Н. А., Опарина О. Ю., Исаева А. Г., Белоусов А. И., Бадретдинова А. С. Характеристика лейкозного процесса при BLV-инфекции на основе аминокислотного полиморфизма возбудителя и комплекса иммуно-биохимических критериев скота // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 329–339. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-329-339>.

Дата поступления статьи: 07.10.2025, **дата рецензирования:** 13.12.2025, **дата принятия:** 12.01.2026.

Characterization of the leukemic process in BLV infection based on the amino acid polymorphism of the pathogen and a complex of immuno-biochemical criteria in cattle

M. V. Petropavlovskiy[✉], A. P. Poryvaeva, N. A. Bezborodova, O. Yu. Oparina, A. G. Isaeva, A. I. Belousov, A. S. Badretdinova

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

[✉]E-mail: petropavlovsky_m@mail.ru

Abstract. Bovine leukosis is a widespread chronic infectious disease that causes significant economic damage to modern animal husbandry. This article investigates the pathogenetic and immunobiological characteristics of the pathological process caused by dominant strains of the bovine leukemia virus. **The purpose** of the study was to study the features of pathological changes in the immune reactivity of cattle infected with the genotype G4 bovine leukemia virus, across different forms of the infection. **Scientific novelty.** New data have been obtained covering the immunobiological and pathogenetic characteristics of bovine leukosis. **Methods.** Clinical observations and sampling were carried out in agricultural organizations specializing in cattle breeding in the territory of the Russian Federation. Immunohematological, serological, biochemical, and cultural studies were conducted; molecular genetic analysis; amplification of a 444 bp fragment of the env gene and its sequencing. **Results.** The immunohematological status and biochemical profile were determined in cows with the aleukemic and sub-leukemic stages of leukosis caused by the genotype G4 bovine leukemia virus. It was found that in the group of seropositive animals, the aleukemic stage of the disease was detected in 22.9 % of the cows. It was shown that, regardless of the stage of the pathological process, impairments of the bone marrow hematopoietic function are characterized by the absence of young granulocyte forms and an imbalance in the cellular-structural composition of the leukocyte pool. In 85.7 % of animals, against a background of increased lymphoid cell proliferation, impairments in the differentiation of the T- and B-cell compartments were diagnosed. Bioinformatic analysis of Sanger sequencing results from biological samples of the studied animals revealed genotype-associated amino acid substitutions in the glycoprotein structure: arginine to histidine at position 121 (R121H) and lysine to arginine at position 150 (K150R). **Conclusions.** New data covering the immunobiological and pathogenetic characteristics of bovine leukosis have been obtained. Addressing the challenges of ensuring the biological well-being of farm animals requires expanding and detailing the database on pathological changes in emergent infections. This will allow not only for a more precise characterization of the immunobiological properties of pathogens but also for the improvement of treatment, prevention, and eradication programs, as well as for forecasting the risks of their emergence.

Keywords: epizootic process, cattle, leukemia virus, immunohematological and biochemical markers, genetic type

Acknowledgements. The study was carried out as part of State Assignment No. 0532-2021-0007.

For citation: Petropavlovskiy M. V., Poryvaeva A. P., Bezborodova N. A., Oparina O. Yu., Isaeva A. G., Belousov A. I., Badretdinova A. S. Characterization of the leukemic process in BLV infection based on the amino acid polymorphism of the pathogen and a complex of immuno-biochemical criteria in cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 329–339. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-329-339>. (In Russ.)

Date of paper submission: 07.10.2025, **date of review:** 13.12.2025, **date of acceptance:** 12.01.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Энзоотический лейкоз крупного рогатого скота, вызываемый ретровирусом рода *Deltaretrovirus*, семейства *Retroviridae*, близкородственным HTLV-1 (вирусу Т-клеточного лейкоза человека) вирусом лейкоза (ВЛКРС, bovine leukemia virus – BLV), является широко распространенной хронической инфекционной онкогенной болезнью и признан одной из наиболее значимых эмерджентных инфекций в

современном животноводстве. Заболевание наносит существенный экономический ущерб вследствие снижения продуктивности, преждевременной выбраковки животных и ограничений международной торговли.

Возникновение и распространение новых штаммов патогенов, включая генетические варианты BLV, связывают с процессами микроэволюции, интенсифицируемой под воздействием антропоген-

ных факторов. К ним относятся интенсификация животноводства, трансграничная торговля крупным рогатым скотом, высокая плотность поголовья, хроническое воздействие технологических стрессоров на организм животных. Совокупное влияние этих факторов не только способствует изменению иммунобиологических свойств возбудителя, но и снижает адаптационный резерв макроорганизма, повышая его восприимчивость к инфекциям. В этой связи разработка научно обоснованных систем контроля эмерджентных заболеваний, в том числе BLV, невозможна без углубленного изучения патогенетических механизмов и иммунобиологических особенностей циркулирующих штаммов возбудителя [1].

Методология и методы исследования (Methods)

Исследование выполнено в лаборатории лейкоза отдела мониторинга и прогнозирования инфекционных болезней Уральского научно-исследовательского ветеринарного института (Уральского НИВИ) – структурного подразделения ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН».

Клинические наблюдения и отбор проб проводили в сельскохозяйственных организациях (СХО), специализирующихся на разведении крупного рогатого скота (КРС) на территории Российской Федерации, в частности в хозяйствах Республики Башкортостан, где объектом исследования служили разновозрастные группы животных. Для лабораторного анализа использовались пробы цельной крови, сыворотки крови и лейкоцитарной взвеси, отобранные от данного поголовья.

В рамках иммуногематологических исследований клеточный состав крови и уровень гемоглобина определяли на гематологическом анализаторе Abacus Junior Vet (Diatron, Австрия).

Лейкоцитарную формулу устанавливали путем микроскопии мазков крови, окрашенных по Романовскому – Гимзе, с использованием микроскопа MC 50 (MICROS, Австрия).

Оценку относительного и абсолютного количества Т- и В-лимфоцитов, фагоцитарной активности нейтрофилов, а также уровня циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) в сыворотке крови проводили в соответствии с общепринятыми методическими рекомендациями. Учет реакций клеточного иммунитета выполняли с помощью микроскопа BX43 (Olympus, Япония), а концентрацию ЦИК определяли по оптической плотности на фотометре iMarkTM (BIO-RAD, Япония).

Стадию лейкоза у серопозитивных к вирусу лейкоза КРС (BLV) животных устанавливали по методу Г. А. Симоняна и Ф. Ф. Хисамутдинова [8].

Серологические исследования, направленные на выявление антител к вирусу лейкоза крупного рогатого скота, проводили методом иммунофер-

ментного анализа (ИФА) с использованием набора IDEXX Leukosis Serum Screening Test (Франция) в соответствии с инструкцией производителя. Учет результатов выполняли методом твердофазного ИФА на фотометре iMarkTM (Bio-Rad, США).

Молекулярно-генетический анализ включал выделение ДНК из цельной крови с использованием набора Diatom DNA Prep 200 (ООО «ИзоГен», Москва) с последующей идентификацией генома возбудителя методом ПЦР с применением наборов реагентов «Лейкоз» Ampli Sens (ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва).

Далее проводили амплификацию фрагмента гена env длиной 444 п. н. и его секвенирование по Сэнгеру. Биоинформатическую обработку полученных последовательностей осуществляли с использованием пакетов программ SeqScape 3 (Applied Biosystems, США) и MEGA X [2].

Культуральные исследования выполняли на пермиссивной клеточной линии СС8, ультравируемой монослойным способом на питательной среде Игла MEM с L-глутамином и двойным набором аминокислот (Биолот, Россия), дополненной 10-процентной эмбриональной телячьей сывороткой (РАА Laboratories, США). Учет результатов культивирования и проведение синцитиального теста, выполненного в соответствии с методикой, описанной в патенте [3], осуществляли с помощью микроскопа Axio Observer (Zeiss, Германия).

Биохимический анализ сыворотки крови выполняли на автоматическом анализаторе Chem Well-2910 Combi (Awaveness Technology, США) с применением коммерческих наборов реактивов (Vital Diagnostics Spb, Россия; DIALAB GmbH, Австрия). Достоверность измерений подтверждали с использованием контрольных материалов, рекомендованных производителями.

Результаты (Results)

Лейкоз крупного рогатого скота в структуре инфекционной патологии прочно удерживает лидирующие позиции на протяжении 50 лет как в ряде регионов мира, так и в Российской Федерации [4; 5]. Сложность в решении проблемы ликвидации лейкоза, по мнению ведущих российских и зарубежных ученых [6; 7], определяется патогенетическими аспектами данного заболевания, такими как механизмы активации и развития инфекционного процесса, обусловленного различными генотипами возбудителя BLV.

Нами были изучены иммуногематологический статус и биохимический профиль коров из оздоравливаемого от лейкоза крупного рогатого скота сельскохозяйственного предприятия (СХП), находящегося на территории Республики Башкортостан, проведено генотипирование персистирующего в стаде возбудителя методом секвенирования по Сэнгеру.

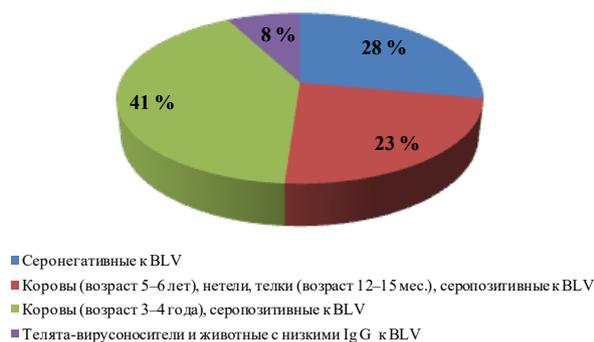


Рис. 1. Показатель инфицированности BLV поголовья крупного рогатого скота в обследуемом сельскохозяйственном предприятии

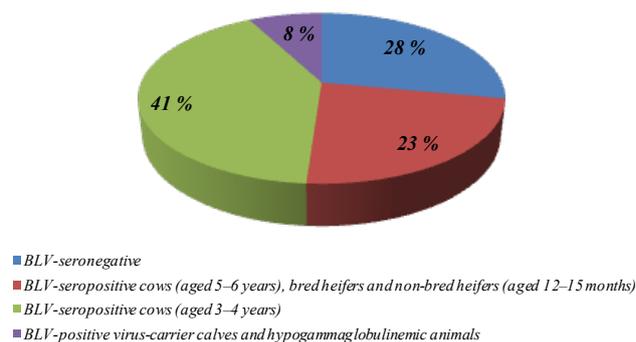


Fig. 1. Prevalence of BLV infection in the cattle herd of the studied farm

Выполненными в соответствии с рекомендациями МЭБ диагностическими исследованиями установлено, что показатель инфицированности поголовья BLV в обследуемом СХП составлял 72 % (рис. 1).

Наибольший уровень инфицированности регистрировали в группе коров 3–4 лет (41,2 %), наименьший – в группе телят трехмесячного возраста (7,7 %).

Нами произведен отбор проб биологического материала от BLV серопозитивных (ИФА+) разновозрастных групп крупного рогатого скота ($n = 34$). Методом ПЦР проведена первичная диагностика, после чего из цельной крови от инфицированных животных был амплифицирован и проанализирован фрагмент гена env вируса лейкоза (BLV) длиной 444 п. н. с использованием секвенирования по Сэнгеру ($n = 21$). Проведена биоинформатическая обработка данных, включая филогенетический анализ и анализ аминокислотных замен в структуре гликопротеина gp 51. Установлено, что большинство изучаемых последовательностей вируса в результате генотипирования отнесены к генетическому типу G4 [2].

Детальный анализ аминокислотных замен в гликопротеине gp51 выявил характерные паттерны мутаций у различных групп изолятов. В частности, у представителей генетической группы G4 идентифицирована генотип-ассоциированная замена гистидина аланином (H121A) в позиции 121. Данная мутация локализована в области эпитопа G, что потенциально может влиять на антигенные свойства вируса.

В отличие от этой группы другая совокупность изолятов не имела замены в позиции 121. Однако у этих образцов была зафиксирована другая значимая мутация: замена лизина аргинином в позиции 150 (K150R). Эта позиция находится в высококонсервативном и функционально важном регионе белка, а именно в пределах цинк-связывающего мотива (а. о.) 137–156 gp51 (SU) (эпитоп нейтрализующего домена 2 – ND2 и CD8+ (N11 и N12)), что может

влиять на ускользание из-под иммунного надзора организма животного.

Проведены исследования на перmissiveйной клеточной линии CC81 с целью изучения вирусной нагрузки (рис. 2–4) Максимальную вирусную нагрузку BLV на организм животных из обследованного СХП зарегистрировали в 14,3 % случаев. При такой вирусной нагрузке в синцитиальном тесте в перевиваемой клеточной линии CC81 [3] наблюдали многоядерные клеточные образования с количеством ядер в клетках от 26 до 80 (рис. 3).

По методике Г. А. Симоняна и Ф. Ф. Хисмутдинова [8] было установлено, что в обследованной группе ($n = 35$) серопозитивных к BLV животных 22,9 % коров имели алейкемическую стадию течения лейкоза – абсолютное количество лейкоцитов в периферической крови составляло $8,41 \pm 1,71 \cdot 10^9$ кл/л. В 77,1 % случаев у коров была диагностирована сублейкемическая стадия течения лейкоза, абсолютное количество лейкоцитов в периферической крови – $18,48 \pm 7,82 \cdot 10^9$ кл/л. У серонегативных к BLV коров ($n = 15$) абсолютное количество лейкоцитов в периферической крови составляло $5,37 \pm 1,62 \cdot 10^9$ кл/л (таблица 1).

При сравнительном анализе количественно-структурного состава лейкограмм было показано, что у коров из группы серонегативных к BLV показатели соответствовали значениям физиологической нормы для половозрелого крупного рогатого скота. Зарегистрированные изменения в лейкограммах коров, серопозитивных к BLV, представлены в таблице 2.

В лейкоцитарной фракции крови коров из группы серопозитивных к BLV превалировал пул агранулоцитов: лимфоциты, пролимфоциты и лимфобласты. Повышение абсолютного числа лимфоцитов у серопозитивных животных варьировало по степени выраженности.

У 54,5 % особей этот показатель превышал значения серонегативных коров в 1,5–3 раза, у 20 % – в 3,5–5 раз, а у 8,6 % – более чем в 6 раз. В 17,1 % случаев отмечалось незначительное повышение

(в 1,2–1,3 раза). При этом у животных с алейкемической стадией заболевания выраженный лимфоцитоз наблюдался редко: увеличение показателя в 1,5–1,8 раза регистрировали лишь у 5,7 % особей данной группы [1]. Дальнейший анализ результатов определения лейкоцитарной формулы у коров, серопозитивных к BLV, показал, что изменения количественного состава пула гранулоцитов имели разнонаправленный характер. У всех инфицированных животных независимо от стадии заболевания (алейкемической или сублейкемической) отмечалось полное отсутствие юных форм нейтрофилов

в периферической крови. Качественный и количественный анализ нейтрофильного ряда выявил следующие нарушения: в 5,7 % случаев отсутствовали палочкоядерные нейтрофилы; в 17,1 % наблюдений зарегистрировано снижение относительного количества сегментоядерных нейтрофилов в 1,5–4,0 раза; в 20 % случаев отмечалось комбинированное нарушение, характеризующееся отсутствием как юных, так и палочкоядерных форм на фоне снижения количества сегментоядерных нейтрофилов в 2,5–3 раза.

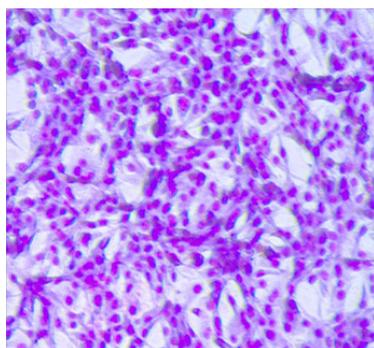


Рис. 2. Интактная перевиваемая клеточная линия CC81 (фибробласты легкого кошки), 7-е сутки инкубирования. Окраска по Маю – Грюнвальду – Гимзе, увеличение 200× (фотография М. В. Петропавловского, И. М. Донник)

Fig. 2. Intact passable cell line CC81 (feline lung fibroblasts), 7th day of incubation. Staining according to May – Grunwald – Giemsa, magnification 200× (Photo by M. V. Petropavlovskiy, I. M. Donnik).

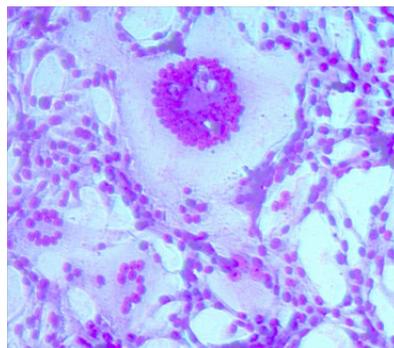


Рис. 3. Перевиваемая клеточная линия CC81, инфицированная лейкоцитарной взвесью от серопозитивной к BLV коровы 7/040, 7-е сутки инкубирования. Синцитий с 30 ядрами. Окраска по Маю – Грюнвальду – Гимзе, увеличение 200× (фотография М. В. Петропавловского, И. М. Донник)

Fig. 3. BLV-infected CC81 cell line inoculated with leukocyte suspension from BLV-seropositive cow 7/040, 7th day of incubation. Multinucleated syncytium containing 30 nuclei. May – Grunwald – Giemsa staining, 200× magnification (Photo by M. V. Petropavlovskiy, I. M. Donnik).

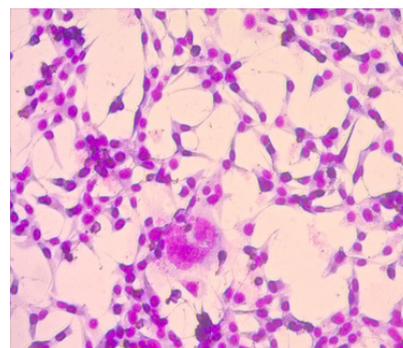


Рис. 4. Перевиваемая клеточная линия CC81, инфицированная лейкоцитарной взвесью от серопозитивной к BLV коровы 30/092, 7-е сутки инкубирования. Синцитий с 60 ядрами. Окраска по Маю – Грюнвальду – Гимзе, увеличение 200× (фотография М. В. Петропавловского, И. М. Донник)

Fig. 4. BLV-infected CC81 cell line inoculated with a leukocyte suspension from BLV-seropositive cow 30/092, 7th day of incubation. A multinucleated syncytium containing 60 nuclei. May – Grunwald – Giemsa staining, 200× magnification (Photo by M. V. Petropavlovskiy, I. M. Donnik)

Таблица 1

Долевое распределение животных из группы серопозитивных к BLV ($n = 35$) по методике Г. А. Симоняна и Ф. Ф. Хисамутдинова

Стадия течения лейкоза у крупного рогатого скота (абсолютное количество лейкоцитов в периферической крови)			
Лейкопеническая до $4,0 \cdot 10^9$ кл/л	Алейкемическая $(4,1-10,0) \cdot 10^9$ кл/л	Сублейкемическая $(10,1-40,0) \cdot 10^9$ кл/л	Лейкемическая $> 40,0 \cdot 10^9$ кл/л
–	22,9 % $8,41 \pm 1,71 \cdot 10^9$ кл/л	77,1 % $18,48 \pm 7,82 \cdot 10^9$ кл/л	–

Table 1

Proportional distribution of animals from the BLV-seropositive group ($n = 35$), as classified by the method of G. A. Simonyan and F. F. Khisamutdinov

Clinical stage of bovine leukemia (absolute leukocyte count in peripheral blood)			
Leukopenic up to $4,0 \cdot 10^9$ cells/L	Aleukemic $(4.1-10.0) \cdot 10^9$ cells/L	Subleukemic $(10.1-40.0) \cdot 10^9$ cells/L	Leukemic $> 40.0 \cdot 10^9$ cells/L
–	22.9 % $8.41 \pm 1.71 \cdot 10^9$ cells/L	77.1 % $18.48 \pm 7.82 \cdot 10^9$ cells/L	–

Исследование эозинофильного звена гемопоэза показало разнонаправленные изменения в зависимости от стадии заболевания. При алейкемической стадии в 5,7 % случаев наблюдалось снижение относительного количества эозинофилов в 2,5 раза. В группе животных с сублейкемической стадией зафиксирована гетерогенная картина: в 8,6 % случаев отмечено увеличение показателя в среднем в 1,6 раза; в 20 % – снижение в 2,5–3 раза; в 11,4 % – полное отсутствие эозинофилов. Следует отметить, что в 34,3 % наблюдений низкое содержание эозинофилов сочеталось со снижением количества базофилов [1].

Выявленные изменения опосредованно указывают на нарушение метаболизма гистамина, гепарина и процесса свертывания крови; нарушения гемопоэтической функции костного мозга.

Установлено, что ключевым нарушением у BLV-инфицированных коров является дисфункция диф-

ференцировки Т- и В-клеток, которая возникает на фоне повышенной пролиферации лимфоидного ростка и наблюдается при всех формах течения болезни [1]. В 85,7 % случаев отмечено превалирование Т-клеток – до 67 % от общего количества популяции лимфоцитов в периферической крови. При этом относительное количество В-клеток регистрировалось на уровне нижней границы физиологической нормы и составляло $20,5 \pm 3,7$ %. У обследованных животных наблюдали увеличение фагоцитарной активности клеток нейтрофильного ряда в среднем в 1,6 раза на фоне повышения содержания количества циркулирующих иммунных комплексов до $243,8 \pm 14,6$ у. е. (таблица 3).

Анализ показателей биохимического профиля коров, серопозитивных к BLV, установил следующие патологические изменения метаболизма (рис. 5).

Таблица 2
Результаты исследования количественно-структурного состава белой крови обследованных животных

Тип лейкоцитов крови	Концентрация лейкоцитов в периферической крови ($\cdot 10^9$ кл/л)*			
	Физиологическая норма [9]	Серонегативные к BLV коровы ¹ n = 15	Серопозитивные к BLV коровы, генотип G4 (min – max) $\cdot 10^9$ кл/л ²	
			Алейкемическая стадия n = 8	Сублейкемическая стадия n = 27
Лимфоциты	2,5–7,5	$4,65 \pm 0,27$	3,9–7,95	6,68–31,89
Юные нейтрофилы	0, 0–0,08	$0,14 \pm 0,06$	0	0
Палочкоядерные нейтрофилы	0,17–0,41	$0,31 \pm 0,09$	0, 0–0,37	0, 0–1,38
Сегментоядерные нейтрофилы	1,24–2,89	$1,97 \pm 0,32$	0,69–3,59	0,35–9,88
Эозинофилы	0,40–0,91	$0,52 \pm 0,08$	0,06–1,11	0,0–2,38
Базофилы	0,08–0,16	$0,10 \pm 0,03$	0,0–0,17	0,0–0,56
Моноциты	0,17–0,58	$0,21 \pm 0,09$	0,0–0,58	0,0–1,09

Примечание. ¹ Результаты исследования представлены как $M \pm t$ (M – среднее значение, t – стандартное отклонение, программа Microsoft Excel).

² Результаты исследования в виде интервала min – max значений показателей, диагностированных в обследованной группе животных

Table 2
Results of the quantitative and structural analysis of white blood cells in examined animals

Blood leukocyte type	Leukocyte concentration in peripheral blood ($\times 10^9$ cells/L)*			
	Physiological norm [9]	BLV-seronegative cows ¹ (n = 15)	BLV-seropositive cows, G4 genotype (min – max) $\times 10^9$ cells/L ²	
			Aleukemic stage (n = 8)	Subleukemic stage (n = 27)
Lymphocytes	2.5–7.5	4.65 ± 0.27	3.9–7.95	6.68–31.89
Young neutrophils	0. 0–0.08	0.14 ± 0.06	0	0
Banded neutrophils	0.17–0.41	0.31 ± 0.09	0. 0–0.37	0. 0–1.38
Segmented neutrophils	1.24–2.89	1.97 ± 0.32	0.69–3.59	0.35–9.88
Eosinophils	0.40–0.91	0.52 ± 0.08	0.06–1.11	0.0–2.38
Basophils	0.08–0.16	0.10 ± 0.03	0.0–0.17	0.0–0.56
Monocytes	0.17–0.58	0.21 ± 0.09	0.0–0.58	0.0–1.09

Note. ¹ Results are presented as $M \pm m$ (M – mean, m – standard deviation, Microsoft Excel program).

² Results are presented as the range of min-max values diagnosed in the examined animal group

Иммунологические показатели крови обследованных животных

Определяемый показатель	Физиологическая норма	Группа коров серонегативных к BLV ($n = 15$)	Группа коров серопозитивных к BLV генотип G4 ($n = 35$)
Т-лимфоциты, %	40–60	$44,8 \pm 5,3$	$53,3 \pm 8,5$
В-лимфоциты, %	20–40	$27,4 \pm 3,9$	$20,5 \pm 3,7$
Индекс Т/В-лимфоциты (ИРИ), у. е.	1,5–2,0	$1,72 \pm 0,19$	$2,63 \pm 0,71$
Фагоцитарная активность (ФА), %	45–60	$48,5 \pm 3,8$	$73,2 \pm 2,7$
Фагоцитарный индекс (ФИ), у. е.	5,0–10,0	$6,7 \pm 1,4$	$4,8 \pm 1,9$
ЦИК, у. е.	88,5–116,0	$109,4 \pm 9,8$	$243,8 \pm 14,6$

Table 3

Blood immunological parameters of the examined animals

Parameter	Physiological norm	BLV-seronegative cows ($n = 15$)	BLV-seropositive cows, G4 genotype ($n = 35$)
T-lymphocytes, %	40–60	44.8 ± 5.3	53.3 ± 8.5
B-lymphocytes, %	20–40	27.4 ± 3.9	20.5 ± 3.7
T/B lymphocyte index (IRI), c. u.	1.5–2.0	1.72 ± 0.19	2.63 ± 0.71
Phagocytic activity (PA), %	45–60	48.5 ± 3.8	73.2 ± 2.7
Phagocytic index (PI), c. u.	5.0–10.0	6.7 ± 1.4	4.8 ± 1.9
Circulating immune complexes (CIC), c. u.	88.5–116.0	109.4 ± 9.8	243.8 ± 14.6

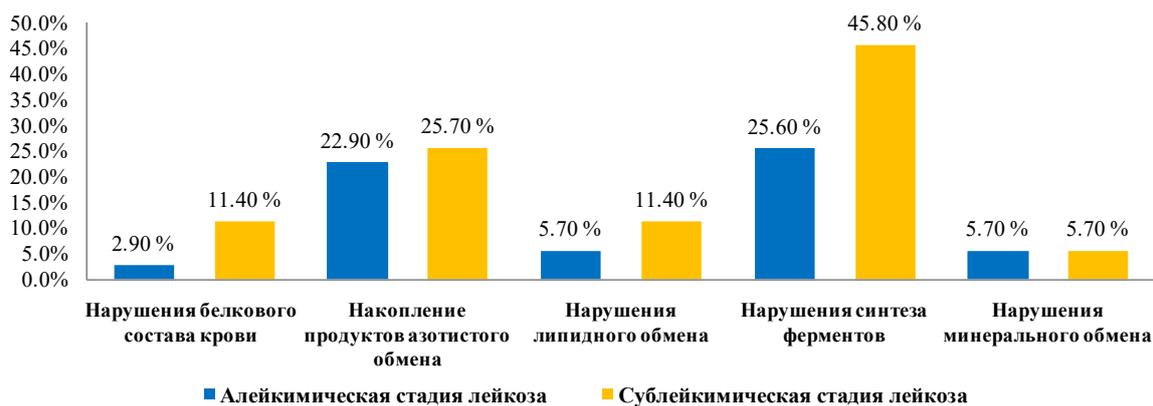


Рис. 5. Метаболические нарушения, выявленные у обследованных коров серопозитивных к BLV генотип «Бельгийский»

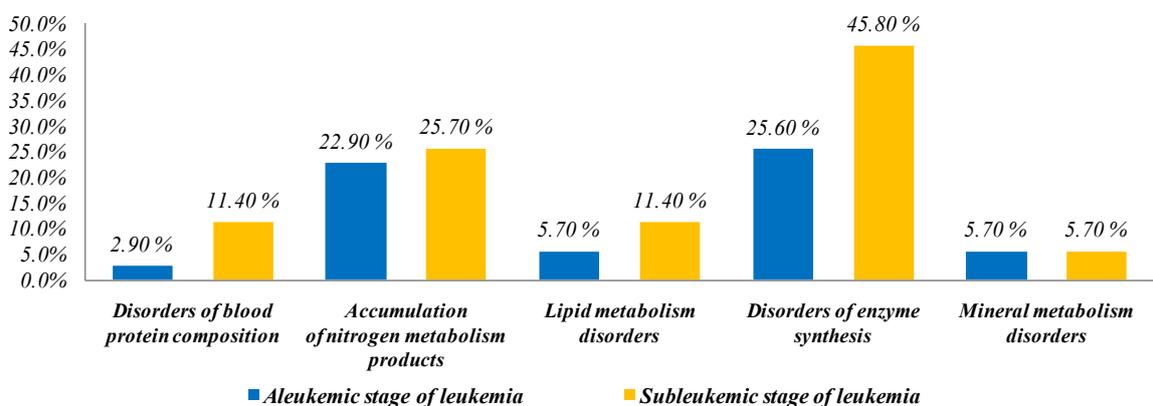


Fig. 5. Metabolic disorders identified in the examined BLV seropositive cows of genotype G4

В 14,3 % случаев определено нарушение белкового состава крови у серопозитивных к BLV коров. Метаболическим выражением выявленных нарушений служило накопление глобулиновой фракции на фоне снижения количества альбуминов. Альбу-

мин-глобулиновый индекс у отдельных особей не превышал 0,40 у. е. Выявленное аномальное распределение белковых фракций свидетельствует о наличии воспалительного процесса у коров, серопозитивных к BLV. Признаки снижения в крови

белковых компонентов – общего белка и альбуминов – регистрировали у отдельных особей. У подавляющего числа животных содержание общего белка в среднем составило $75,36 \pm 7,49$ г/л, альбуминов – $32,93 \pm 4,22$ г/л. Повышенный уровень мочевины, выявленный у 48,6 % животных, свидетельствует об интенсификации процессов азотистого обмена, а именно о повышенном образовании аммиака в рубце и его последующей активной утилизации при распаде сырого протеина [10].

В 17,1 % случаев у серопозитивных к BLV коров диагностировали нарушение липидного обмена с развитием триглицеридемии. Анализ метаболических маркеров, характеризующих состояние гепатобилиарной системы, показал, что у обследованных коров в 71,4 % случаев диагностируются гепатопатии. Наиболее характерным метаболическим признаком в этих случаях являлось повышение активности аспаратаминотрансферазы в среднем до $109,94 \pm 23,19$ Ед/л.

В ходе исследования было установлено, что признаки нарушения минерального обмена для обследованной группы серопозитивных к BLV коров не характерны: субклинические гипокальциемия и гипофосфатемия зарегистрированы только у 11,4 % коров.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

При изучении хронической инфекции, обусловленной вирусом лейкоза крупного рогатого скота генотипа G4, у коров с алейкемической и сублейкемической стадиями заболевания была отмечена общая тенденция в изменении количественно-структурного состава крови – формирование стойкой тромбоцитопении, смещение показателей пула гранулоцитов к нижней границе нормативных видовых значений. Показано, что вне зависимости от стадии заболевания у животных в 85,7 % случаев на фоне повышенной пролиферации клеток лимфоидного ряда диагностировали нарушения в дифференциации Т- и В-клеточного звена – превалирование образования Т-клеток; увеличение фагоцитарной активности клеток нейтрофильного ряда в 1,6 раза; повышение уровня ЦИК в 2 раза. Анализ биохимического профиля коров, серопозитивных к BLV, установил нарушение белкового состава крови у 14,3 % коров; нарушение липидного обмена с развитием триглицеридемии – у 17,1 %; субклинических гипокальциемии и гипофосфатемии – у 11,4 %. Патология гепатобилиарной системы (гепатопатии) диагностирована у 71,4 % коров, инфицированных BLV генотипа G4. Полученные нами результаты согласуются с данными других исследователей об агрессивности IV генотипа BLV в отношении иммунной системы животных [11]. Кроме того, подтверждено, что основной системой, подвергающейся патологическим изменениям, является гепатобилиарная.

При биоинформатической обработке результатов секвенирования по Сэнгеру проб биологического материала от обследуемых животных выявлены геноип-ассоциированные аминокислотные замены в структуре гликопротеина. Замена аргинина гистидином в позиции 121 (R121H) представляет собой значимую модификацию электростатических свойств поверхности гликопротеина. В отличие от аргинина, который обладает постоянно положительно заряженной гуанидиновой группой, заряд гистидина зависит от pH микроокружения. Такое изменение может критически нарушать образование солевых мостиков и паттерн водородных связей, стабилизирующих нативную конформацию белка. Изменение электростатического потенциала в области, которая потенциально участвует в связывании с рецептором, может напрямую влиять на аффинность взаимодействия вируса с клеткой-мишенью [12]. Замена R121H, влияя на электростатические свойства вирусного белка, может вызывать конформационные перестройки в областях эпитопа G. Это приводит к изменению антигенности и снижению эффективности нейтрализующих антител, обеспечивая механизм уклонения от гуморального иммунитета [13; 14].

Замена лизина аргинином в позиции 150 (K150R), расположенной в цинк-связывающем домене, может оказывать существенное влияние на структуру и функцию белка. Хотя оба остатка заряжены положительно, что, вероятно, сохраняет электростатические взаимодействия с лигандами (например, с клеточными рецепторами), аргинин отличается наличием объемной гуанидиновой группы. Это различие может приводить к изменению стерической упаковки и паттерна водородных связей в критически важном для стабильности белка участке. Кроме того, поскольку данная позиция находится в пределах CD8+ Т-клеточных эпитопов N11 и N12, замена K150R потенциально способна нарушать процессинг и презентацию антигена молекулами МНС I класса. Подобное вмешательство может ослабить распознавание инфицированных клеток цитотоксическими Т-лимфоцитами (CTL), что является ключевым механизмом противовирусного иммунитета, и, как следствие, способствовать ускользанию вируса от иммунного ответа [15].

Комплексный мониторинг антигенного пейзажа патогенов в популяциях сельскохозяйственных животных служит основой для разработки точных и индивидуализированных оздоровительных стратегий. Такой подход способствует сокращению сроков проведения противоэпизоотических мероприятий и минимизирует риск формирования устойчивых очагов инфекционных и инвазивных болезней. При этом анализ патогенеза заразных заболеваний является ключевым элементом для оценки потенциала возникновения и распространения эмерджент-

ных инфекций [1]. Нами получены новые знания о развитии патологического процесса при лейкозе крупного рогатого скота в условиях интенсификации технологий животноводства; детализированы и пополнены базы клинико-лабораторных данных

иммуногематологических и биохимических показателей крупного рогатого скота, а также молекулярно-генетических характеристик возбудителя лейкоза на обследуемых территориях.

Библиографический список

1. Клепова Ю. В., Белоусова Д. А., Сажаев И. М., Порываева А. П. Сравнительная характеристика иммунореактивности организма при заболеваниях, обусловленных патогенами инфекционной и инвазивной этиологии у крупного рогатого скота [Электронный ресурс] // Вестник биотехнологии. 2023. № 4 (37). URL: <https://bio-urgau.ru/ru/4-35-2023/8-4-2023>.
2. Петропавловский М. В., Донник И. М., Безбородова Н. А. [и др.] Особенности молекулярно-генетических свойств вируса лейкоза крупного рогатого скота: первые экспериментальные исследования на территории Республики Башкортостан // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. Т. 16, № 6. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1020.
3. Патент № 2566071 Российская Федерация, МПК G01N 33/48 (2006.01). Способ подготовки биоматериала для ПЦР диагностики вируса лейкоза крупного рогатого скота (ВЛ КРС): № 2013135036/15 : заявл. 25.07.2013 : опубл. 20.10.2015 / Шкуратова И. А., Донник И. М., Хрунык Ю. Я. [и др.] заявитель ГНУ УрНИВИ. 7 с.
4. Донник И. М., Петропавловский М. В., Макутина В. А. [и др.] Современная ситуация по распространению лейкоза крупного рогатого скота в Российской Федерации // Ветеринария. 2024. № 11. С. 18–22.
5. Nikbakht Brujeni G., Houshmand P., Soufizadeh P. Bovine leukemia virus: a perspective insight into the infection and immunity // Iranian Journal of Veterinary Research. 2023. Vol. 24, No. 4. Pp. 290–300. DOI: 10.22099/IJVR.2023.48236.7023.
6. Донник И. М., Петропавловский М. В. Лейкоз крупного рогатого скота: современный подход // Животноводство России. 2022. № S2. С. 57–59.
7. Lv G., Wang J., Lian S., Wang H., Wu R. The global epidemiology of Bovine Leukemia Virus: current trends and future implications // Animals (Basel). 2024. Vol. 14, No. 2. Article number 297. DOI: 10.3390/ani14020297.
8. Симонян Г. А., Хисамутдинов Ф. Ф. Ветеринарная гематология. Москва: Колос, 1995. 256 с.
9. Амиров Д. Р., Тамимдаров Б. Ф., Шагеева А. Р. Клиническая гематология животных: учебное пособие. Казань: Центр информационных технологий КГАВМ, 2020. 134 с.
10. Белоусов А. И. Иммунобиохимическая и морфофункциональная характеристика высокопродуктивных коров при разной эпизоотической и микотоксикологической нагрузке: дис. ... д-ра вет. наук: 06.02.02; 06.02.01. Екатеринбург, 2020. 303 с.
11. Petropavlovskiy M. V., Vereshchak N. A., Bezborodova N. A., Oparina O. Yu. Immuno-biological evaluation of individual genetic variants of bovine leukemia virus in the conditions of the Ural region // Digital agriculture – development strategy: proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Ekaterinburg, 2019. Pp. 372–377.
12. Frie M. C., Coussens P. M. Bovine leukemia virus: a major silent threat to proper immune responses in cattle // Veterinary Immunology and Immunopathology. 2015. Vol. 163, No. 3-4. Pp. 103–114. DOI: 10.1016/j.vetimm.2014.11.014.
13. Polat M., et al. A new genotype of bovine leukemia virus in South America identified by NGS-based whole genome sequencing and molecular evolutionary genetic analysis // Retrovirology. 2016. Vol. 13, No. 4. DOI: 10.1186/s12977-016-0239-z.
14. Brogniez A., Bouzar A. B., Jacques J. R., et al Mutation of a single envelope N-linked glycosylation site enhances the pathogenicity of BOVINE Leukemia Virus // Journal of Virology. 2015. Vol. 89, No. 17. Pp. 8945–8956. DOI: 10.1128/JVI.00261-15.
15. Bai L., Takeshima S., Isogai E., et al. Novel CD8+ cytotoxic T cell epitopes in bovine leukemia virus with cattle // Vaccine. 2015. Vol. 33 Pp. 7194–7202.

Об авторах:

Максим Валерьевич Петропавловский, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-9892-6092, AuthorID 676746. E-mail: petropavlovsky_m@mail.ru
Антонина Павловна Порываева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник с выполнением обязанностей заведующего лабораторией вирусных болезней, ORCID 0000-0003-3224-1717, AuthorID 806423. E-mail: app1709@inbox.ru

Наталья Александровна Безбородова, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2793-5001, AuthorID 665979. *E-mail: n-bezborodova@mail.ru*

Ольга Юрьевна Опарина, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-6106-3003, AuthorID 790582. *E-mail: olia91oparina@yandex.ru*

Альбина Геннадьевна Исаева, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717. *E-mail: isaeva.05@bk.ru*

Александр Иванович Белоусов, доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-7838-4126, AuthorID 678443. *E-mail: white-knight@mail.ru*

Алиса Сергеевна Бадретдинова, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0189-2963, AuthorID 762742. *E-mail: alisic_kolotova@mail.ru*

References

1. Klepova Yu. V., Belousova D. A., Sazhaev I. M., Poryvaeva A. P. Comparative characteristics of immunoreactivity of the organism in diseases caused by pathogens of infectious and invasive etiology in cattle. *Bulletin of Biotechnology* [Internet] 2023 [cited]; 4 (37). Available from: <https://bio-urgau.ru/ru/4-35-2023/8-4-2023>. (In Russ.)
2. Petropavlovskiy M., Donnik I., Bezborodova N., et al. Newly identified nucleotide substitutions in Bovine Leukemia Virus isolates from the Republic of Bashkortostan. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024; 16 (6): 202–227. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1020.
3. Patent No. 2566071 Russian Federation, Int. Cl. G01N 33/48 (2006.01). Method of preparing biomaterial for PCR diagnostics of bovine leukaemia virus (BLV). : № 2013135036/15 : applic. 25.07.2013 : date of filing. 20.10.2015 / Shkuratova I. A., Donnik I. M., Khrunyk Yu. Ya., et al. Proprietor: GNU UrNIVI. 7 p. (In Russ.)
4. Donnik I. M., Petropavlovsky M. V., Makutina V. A., et al. The current bovine leukemia spread situation in the Russian Federation. *Veterinariya*. 2024; 11: 18–22. (In Russ.)
5. Nikbakht Brujeni G., Houshmand P., Soufizadeh P. Bovine leukemia virus: a perspective insight into the infection and immunity. *Iranian Journal of Veterinary Research*. 2023; 24 (4): 290–300. DOI: 10.22099/IJVR.2023.48236.7023.
6. Donnik I. M., Petropavlovsky M. V. Cattle leukemia: a modern approach. *Animal Husbandry of Russia*. 2022; S2: 57–59. (In Russ.)
7. Lv G., Wang J., Lian S., Wang H., Wu R. The Global Epidemiology of Bovine Leukemia Virus: Current Trends and Future Implications. *Animals (Basel)*. 2024; 14 (2): 297. DOI: 10.3390/ani14020297.
8. Simonyan G. A., Khisamutdinov F. F. *Veterinary hematology*. Moscow: Kolos, 1995. 256 p. (In Russ.)
9. Amirov D. R., Tamimdarov B. F., Shageeva A. R. *Clinical hematology of animals: study guide*. Kazan: Center for Information Technologies of Kazan State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, 2020. 134 p. (In Russ.)
10. Belousov A. I. *Immunobiochemical and morphofunctional characteristics of high-productive cows under different epizootic and mycotoxicological loads*: dissertation ... doctor of veterinary sciences: 06.02.02; 06.02.01. Ekaterinburg, 2020. 303 p. (In Russ.)
11. Petropavlovskiy M. V., Vereshchak N. A., Bezborodova N. A., Oparina O. Yu. Immuno-biological evaluation of individual genetic variants of bovine leukemia virus in the conditions of the Ural region. *Digital agriculture – development strategy: proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Ekaterinburg, 2019. Pp. 372–377.
12. Frie M. C., Coussens P. M. Bovine leukemia virus: a major silent threat to proper immune responses in cattle. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2015; 163 (3-4): 103–114. DOI: 10.1016/j.vetimm.2014.11.014.
13. Polat M., et al. A new genotype of bovine leukemia virus in South America identified by NGS-based whole genome sequencing and molecular evolutionary genetic analysis. *Retrovirology*. 2016; 13 (4). DOI: 10.1186/s12977-016-0239-z.
14. Brogniez A., Bouzar A. B., Jacques J. R., et al. Mutation of a single envelope N-linked glycosylation site enhances the pathogenicity of Bovine Leukemia Virus. *Journal of Virology*. 2015; 89 (17): 8945–8956. DOI: 10.1128/JVI.00261-15.
15. Bai L., Takeshima S., Isogai E., et al. Novel CD8+ cytotoxic T cell epitopes in bovine leukemia virus with cattle. *Vaccine*. 2015; 33: 7194–7202.

Authors' information:

Maksim V. Petropavlovskiy, doctor of veterinary sciences, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-9892-6092, AuthorID 676746. *E-mail: petropavlovsky_m@mail.ru*

Antonina P. Poryvaeva, doctor of biological sciences, leading researcher with the duties of head of laboratory of viral diseases, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-3224-1717, AuthorID 806423. *E-mail: app1709@inbox.ru*

Natalya A. Bezborodova, candidate of veterinary sciences, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2793-5001, AuthorID 665979. *E-mail: n-bezborodova@mail.ru*

Olga Yu. Oparina, candidate of veterinary sciences, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-6106-3003, AuthorID 790582. *E-mail: olia91oparina@yandex.ru*

Albina G. Isaeva, doctor of biological sciences, associate professor, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717. *E-mail: isaeva.05@bk.ru*

Aleksandr I. Belousov, doctor of veterinary sciences, leading researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-7838-4126, AuthorID 678443. *E-mail: white-knight@mail.ru*

Alisa S. Badretdinova, candidate of technical sciences, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0189-2963, AuthorID 762742. *E-mail: alisic_kolotova@mail.ru*

Разработка ферментированного напитка на основе творожной сыворотки и растительных белков

С. В. Стасюк¹, О. В. Зинина^{1, 2✉}, О. П. Неверова²

¹ Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: zininaov@susu.ru

Аннотация. В связи с проблемой утилизации творожной сыворотки и растущим спросом на функциональные продукты актуальной является разработка ферментированного высокобелкового напитка на ее основе с добавлением композиции растительных белков. **Научная новизна** исследований заключается в целенаправленном комбинировании творожной сыворотки с оптимизированной композицией растительных белков (подсолнечного, горохового, белка грецкого ореха и абрикосовой косточки) для коррекции аминокислотного состава и создания сбалансированного продукта. **Цель** исследования – разработка рецептуры и технологии ферментированного напитка на основе творожной сыворотки с композицией растительных белков и оценка его качественных характеристик. **Методы.** Состав белковых композиций оптимизирован методом математического моделирования (симплекс-метод) по показателям биологической ценности. Проведена ферментация образцов с различным содержанием белковой композиции (5 %, 10 %, 15 %) с использованием пробиотической закваски. Определяли титруемую кислотность по ГОСТ 3624-92, микробиологические показатели – методом микроскопии, органолептические характеристики – дескрипторным анализом по ISO 13299:2003, массовую долю белка – расчетным методом. **Результаты.** Установлено, что внесение 15 % белковой композиции и ферментация в течение 5 ч при температуре $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ являются оптимальными. Данный режим обеспечивает достижение титруемой кислотности более 90°T (соответствует ГОСТ 32923-2014), интенсивный рост пробиотической микрофлоры и формирование густой однородной консистенции. Массовая доля белка в готовом напитке составляет 9,97–10,09 %. Продукт приобретает характерные органолептические свойства: сладковатый вкус с легким кисломолочным оттенком, устойчивый аромат подсолнечника и кремовый цвет. Разработанный ферментированный напиток представляет собой научно обоснованный высокобелковый продукт со сбалансированным аминокислотным составом, способствующий решению проблемы утилизации сыворотки и расширению ассортимента функциональных продуктов.

Ключевые слова: творожная сыворотка, ферментированный напиток, растительные белки, пробиотики, аминокислотный состав, функциональный продукт

Для цитирования: Стасюк С. В., Зинина О. В., Неверова О. П. Разработка ферментированного напитка на основе творожной сыворотки и растительных белков // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 340–352. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-340-352>.

Дата поступления статьи: 16.12.2025, **дата рецензирования:** 17.01.2026, **дата принятия:** 22.01.2026.

Development of a fermented drink based on curd whey and plant proteins

S. V. Stasyuk¹, O. V. Zinina^{1,2}✉, O. P. Neverova²

¹ South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: zininaov@susu.ru

Abstract. Given the problem of cottage cheese whey utilization and the growing demand for functional products, the development of a fermented high-protein beverage based on it with the addition of a plant protein composition is relevant. **The scientific novelty** of the research lies in the targeted combination of cottage cheese whey with an optimized composition of plant proteins (sunflower, pea, walnut protein, and apricot kernel protein) to correct the amino acid profile and create a balanced product. **The purpose** of the research is to develop the formulation and technology for a fermented beverage based on cottage cheese whey with a plant protein composition and to evaluate its quality characteristics. **Methods.** The composition of the protein blends was optimized using mathematical modeling (simplex method) based on indicators of biological value. Fermentation of samples with different protein blend contents (5 %, 10 %, 15 %) was carried out using a probiotic starter culture. Titratable acidity was determined according to GOST 3624-92, microbiological indicators by microscopy, organoleptic characteristics by descriptor analysis according to ISO 13299:2003, and mass fraction of protein by calculation. **Results.** It was found that the addition of 15 % protein blend and fermentation for 5 hours at a temperature of $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ are optimal. This regime ensures the achievement of titratable acidity above 90 °T (corresponding to GOST 32923-2014), intensive growth of probiotic microflora, and the formation of a thick, homogeneous consistency. The mass fraction of protein in the finished beverage is $\approx 9.97\text{--}10.09\%$. The product acquires characteristic organoleptic properties: a sweetish taste with a slight fermented milk nuance, a stable sunflower aroma, and a creamy color. The developed fermented beverage is a scientifically substantiated high-protein product with a balanced amino acid composition, contributing to solving the whey utilization problem and expanding the range of functional foods.

Keywords: cottage cheese whey, fermented beverage, plant proteins, probiotics, amino acid composition, functional food

For citation: Stasyuk S. V., Zinina O. V., Neverova O. P. Development of a fermented drink based on curd whey and plant proteins. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 340–352. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-340-352>. (In Russ.)

Date of paper submission: 16.12.2025, **date of review:** 17.01.2026, **date of acceptance:** 22.01.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В современной пищевой промышленности особое внимание уделяется созданию функциональных продуктов, сочетающих высокую пищевую ценность, пользу для здоровья и соответствие актуальным экологическим трендам. Одним из перспективных направлений является рациональное использование вторичного сырья, в частности молочной сыворотки, которая образуется в значительных объемах как побочный продукт при производстве сыра и творога. В России проблема утилизации молочной сыворотки остается острой: по данным аналитиков, лишь около 21 % всего объема поступает на дальнейшую переработку, в то время как остальное количество либо используется на корм сельскохозяйственным животным, либо безвозвратно теряется, нанося ущерб окружающей среде. Законодательство запрещает сброс сыворотки в окружающую среду, предусматривая значительные штрафы и даже приостановку деятельности пред-

приятий за подобные нарушения [1]. Таким образом, разработка технологий глубокой переработки сыворотки представляет собой не только научно-техническую, но и экологическую и экономическую необходимость.

Одновременно с этим наблюдается устойчивый рост рынка функциональных и здоровых продуктов питания. Потребительский спрос смещается в сторону продуктов с улучшенным составом: обогащенных белком, пробиотиками, витаминами и минералами. Особенно динамично развиваются сегменты спортивного питания, растительных альтернатив молочной продукции и функциональных кисломолочных напитков [2–4]. Согласно данным BusinessStat, производство кисломолочной продукции в России после спада в 2020–2022 годах демонстрирует рост, достигнув в 2024 году 2,83 млн т [5]. Рынок спортивного питания в 2024 году увеличился на 14,7 %, а объем рынка растительного молока превысил 10 млрд рублей, показав рост почти на

30 % [4; 6]. Эти тенденции указывают на готовность потребителя принимать инновационные продукты, особенно если они решают конкретные задачи, такие как повышение потребления белка, улучшение пищеварения или снижение потребления животных продуктов.

Молочная сыворотка сама по себе является ценным сырьем. Она содержит сывороточные белки (β -лактоглобулин, α -лактальбумин, иммуноглобулины, лактоферрин и др.), обладающие высокой биологической ценностью и полноценным аминокислотным составом, близким к мышечной ткани человека [7; 8]. Концентрация сывороточных белков в творожной сыворотке, однако, невелика (обычно 0,4–0,8 %) [9], что недостаточно для создания продукта, позиционируемого как высокобелковый. Согласно ГОСТ 34352-2017, массовая доля белка в творожной сыворотке-сырье должна составлять не менее 0,4 %. Несмотря на это, сыворотка богата лактозой, минеральными солями, витаминами группы В и растворимыми формами кальция и фосфора [10]. Ее низкая себестоимость и доступность делают ее привлекательной основой для разработки новых продуктов.

С другой стороны, рынок растительных белков переживает настоящий бум, обусловленный глобальными тенденциями к вегетарианству, веганству, а также увеличением числа людей с непереносимостью лактозы. Растительные белки, такие как подсолнечный, гороховый, конопляный, тыквенный и белок абрикосовой косточки, демонстрируют высокое содержание протеина (от 47 % в концентратах до 85 % и более в изолятах) [11; 12]. Однако их основной технологический и нутрициологический недостаток – несбалансированный аминокислотный профиль. Например, белок подсолнечника, получаемый из шрота – побочного продукта масложировой промышленности, характеризуется высоким содержанием серосодержащих аминокислот, но является дефицитным по лизину [13; 14]. Гороховый белок, напротив, богат лизином, но содержит недостаточно метионина и цистеина [15]. Белок грецкого ореха имеет благоприятный профиль по разветвленным аминокислотам (лейцину, изолейцину, валину), а белок абрикосовой косточки богат ароматическими аминокислотами, однако их применение часто ограничивается технологическими сложностями выделения, наличием антинутриентов или специфическими вкусовыми оттенками [16; 17].

Таким образом, комбинирование молочных и растительных белков в одной пищевой системе открывает путь к созданию продукта с взаимодополняющим аминокислотным составом. Такой синергетический подход позволяет достичь показателей биологической ценности, близких к эталонному

белку (в соответствии с рекомендациями ФАО/ВОЗ), и в то же время улучшить функционально-технологические свойства конечного продукта, такие как водо- и жиरोудерживающая способность, стабильность эмульсии и желирующие свойства [18; 19]. Исследования показывают, что смеси сывороточного и растительных белков (например, рисового гидролизата) могут образовывать стабильные эмульсии с улучшенными пищеварительными характеристиками [20].

Ключевым технологическим приемом для реализации потенциала такой гибридной системы является ферментация. Использование пробиотических культур (таких как *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium sp.*, *Lactobacillus rhamnosus*) решает несколько задач одновременно. Во-первых, происходит биотрансформация компонентов сырья: частичный гидролиз белков до пептидов и свободных аминокислот, сбраживание лактозы с образованием молочной кислоты [21]. Это приводит к естественному подкислению продукта, формированию характерного кисломолочного вкуса и аромата, а также повышению усвояемости нутриентов. Во-вторых, живые пробиотические клетки обогащают продукт, наделяя его доказанными полезными свойствами для микрофлоры кишечника и иммунной системы [22; 23]. В-третьих, ферментация может способствовать снижению уровня антинутриентов, присутствующих в некоторых растительных белках, и улучшению органолептических свойств, маскируя возможные бобовые или травянистые привкусы [24].

Анализ существующих научных разработок и патентов показывает, что, несмотря на обширные исследования в области переработки сыворотки и применения растительных белков по отдельности, комплексных работ по целенаправленному созданию и оптимизации ферментированных систем «творожная сыворотка – композиция растительных белков» явно недостаточно. Большинство отечественных исследований сфокусировано на создании сывороточных напитков с фруктово-ягодными наполнителями, соками, сиропами или экстрактами лекарственных растений [25–27]. Зарубежные работы часто посвящены ферментации исключительно растительных основ (овса, сои) или их обогащению сывороточным белком [28; 29]. Пробел заключается в отсутствии системного подхода, сочетающего математическое моделирование для оптимизации аминокислотного состава белковой композиции из нескольких видов растительного сырья и последующее экспериментальное исследование влияния такой композиции и параметров ферментации на физико-химические, микробиологические и органолептические показатели готового гибридного напитка.

Кроме того, актуальной задачей является установление оптимальных технологических параметров (температура, время, дозировка закваски и белковой композиции) для обеспечения контролируемого и воспроизводимого процесса ферментации, результатом которого является продукт, соответствующий строгим нормативным требованиям. Согласно ГОСТ 32923-2014, кислотность обогащенных пробиотиками кисломолочных продуктов должна находиться в диапазоне 80–120 °Т, а количество жизнеспособных пробиотических микроорганизмов – не менее 10⁶ КОЕ/г на протяжении всего срока годности [30]. Достижение этих показателей в системе с высоким содержанием растительных белков требует специальных исследований.

Разработка такой технологии позволит не только предложить рынку новый конкурентоспособный продукт, но и внести вклад в решение проблемы ресурсосбережения в пищевой промышленности, что соответствует принципам устойчивого развития и стратегии импортозамещения.

Целью настоящей работы является разработка рецептуры и технологии ферментированного высокобелкового напитка на основе творожной сыворотки с композицией растительных белков и комплексная оценка его физико-химических, микробиологических и органолептических характеристик.

Методология и методы исследования (Methods)

На разных этапах работы объектами исследования являлись творожная сыворотка, композиции растительных белков и готовый ферментированный напиток.

Для разработки рецептуры белковой композиции использован метод математического моделирования – симплекс-метод с установлением линейных ограничений на искомые переменные (доли отдельных растительных белков) и максимизацией целевой функции – аминокислотного сора лизина. Балансовые уравнения составлены на основе аминокислотного состава концентратов растительных белков (подсолнечного, горохового, грецкого ореха и абрикосовой косточки), определенного по литературным данным и данным производителей. Аминокислотный скор (АКС) рассчитывали по формуле (1).

$$АКС_i = \frac{AC_i}{ANC_i} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где AC_i – содержание i -й незаменимой аминокислоты в белке композиции, мг/г белка;

ANC_i – рекомендуемое содержание i -й незаменимой аминокислоты в эталонном белке (ФАО/ВОЗ), мг/г белка.

Также рассчитывался коэффициент различия аминокислотного сора по формуле (2) и биологическая ценность по формуле (3) каждой композиции растительных белков.

Таблица 1
Балансовые уравнения оптимизации состава белковой композиции

Показатель	Уравнение
Содержание валина	$6,42 \cdot X_1 + 5,00 \cdot X_2 + 3,35 \cdot X_3 + 4,02 X_4 \geq 5,00$
Содержание изолейцина	$5,55 \cdot X_1 + 4,71 \cdot X_2 + 3,92 \cdot X_3 + 4,70 X_4 \geq 4,00$
Содержание лейцина	$8,09 \cdot X_1 + 7,94 \cdot X_2 + 7,40 \cdot X_3 + 8,88 X_4 \geq 7,00$
Содержание лизина	$4,56 \cdot X_1 + 7,06 \cdot X_2 + 2,65 \cdot X_3 + 3,18 X_4 \geq 5,50$
Содержание метионина и цистеина	$4,60 \cdot X_1 + 2,24 \cdot X_2 + 2,72 \cdot X_3 + 3,26 X_4 \geq 3,50$
Содержание треонина	$4,51 \cdot X_1 + 3,47 \cdot X_2 + 3,73 \cdot X_3 + 4,48 X_4 \geq 4,00$
Содержание триптофана	$1,65 \cdot X_1 + 1,06 \cdot X_2 + 1,07 \cdot X_3 + 1,28 X_4 \geq 1,00$
Содержание фенилаланина и тирозина	$8,93 \cdot X_1 + 8,82 \cdot X_2 + 7,02 \cdot X_3 + 8,42 X_4 \geq 6,00$
Аминокислотный скор лизина (функция цели)	$100 \cdot (4,56 \cdot X_1 + 7,06 \cdot X_2 + 2,65 \cdot X_3 + 3,18 X_4) / 5,50 \rightarrow 100$
Формирование единицы продукта	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$

Table 1
Balance equations for optimization of protein composition

Indicator	Equation
Valine content	$6.42 \cdot X_1 + 5.00 \cdot X_2 + 3.35 \cdot X_3 + 4.02 X_4 \geq 5.00$
Isoleucine content	$5.55 \cdot X_1 + 4.71 \cdot X_2 + 3.92 \cdot X_3 + 4.70 X_4 \geq 4.00$
Leucine content	$8.09 \cdot X_1 + 7.94 \cdot X_2 + 7.40 \cdot X_3 + 8.88 X_4 \geq 7.00$
Lysine content	$4.56 \cdot X_1 + 7.06 \cdot X_2 + 2.65 \cdot X_3 + 3.18 X_4 \geq 5.50$
Methionine and cysteine content	$4.60 \cdot X_1 + 2.24 \cdot X_2 + 2.72 \cdot X_3 + 3.26 X_4 \geq 3.50$
Threonine content	$4.51 \cdot X_1 + 3.47 \cdot X_2 + 3.73 \cdot X_3 + 4.48 X_4 \geq 4.00$
Tryptophan content	$1.65 \cdot X_1 + 1.06 \cdot X_2 + 1.07 \cdot X_3 + 1.28 X_4 \geq 1.00$
Phenylalanine and tyrosine content	$8.93 \cdot X_1 + 8.82 \cdot X_2 + 7.02 \cdot X_3 + 8.42 X_4 \geq 6.00$
Lysine amino acid score (target function)	$100 \cdot (4.56 \cdot X_1 + 7.06 \cdot X_2 + 2.65 \cdot X_3 + 3.18 X_4) / 5.50 \rightarrow 100$
Product unit formation	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$

$$КРАС = \frac{\sum \Delta PAC}{n} \%, \quad (2)$$

$$\Delta PAC = \Delta AKC_i + AKC_{min}, \quad (3)$$

$$БЦ = 100 - КРАС,$$

где ΔPAC – различие аминокислотного сора аминокислоты, %;

n – количество незаменимых аминокислот;

ΔAKC_i – избыток сора i -й аминокислоты, % ($\Delta AKC_i = AKC_i - 100$, AKC_i – аминокислотный скор для i -й незаменимой кислоты);

AKC_{min} – скор лимитирующей кислоты, %.

Творожную сыворотку охарактеризовали по органолептическим и физико-химическим показателям в соответствии с ГОСТ 34352-2017 «Сыворотка молочная-сырье. Технические условия». Контролировали титруемую кислотность по ГОСТ 3624-92.

По результатам оптимизации были отобраны две белковые композиции (№ 1 и № 2) и приготовлены опытные образцы ферментированного напитка:

– контрольный образец (КО): творожная сыворотка без добавок;

– опытные образцы (ОО-1–ОО-6): сыворотка с добавлением 5 %, 10 % и 15 % (от массы сырья) белковых композиций № 1 и № 2.

Во все образцы вносили комплекс пробиотических культур «Здоровье» (*Bifidobacterium sp.*, *Lactobacillus plantarum*, *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. rhamnosus*) в количестве 0,1 % от объема. Ферментацию проводили при температуре 40 °С в течение 6 часов.

Таблица 2

Состав и аминокислотные характеристики белковых композиций

Наименование показателя	Белковая композиция	
	№ 1	№ 2
Состав, %		
Подсолнечный белок	61,0	51,0
Гороховый белок	38,0	42,0
Белок грецкого ореха	1,0	–
Белок абрикосовой косточки	–	7,0
Аминокислотный скор незаменимых аминокислот, %		
Валина	116,9	113,1
Изолейцина	130,2	128,3
Лейцина	114,7	115,5
Метионина и цистеина	105,0	100,4
Треонина	102,6	101,8
Триптофана	142,1	137,8
Фенилаланина и тирозина	147,8	147,5
Лизина	100,0	100,3
Массовая доля белка, %	66,45	67,25

Table 2

Composition and amino acid characteristics of protein compositions

Indicator name	Protein composition	
	No. 1	No. 2
Composition, %		
<i>Sunflower protein</i>	61.0	51.0
<i>Pea protein</i>	38.0	42.0
<i>Walnut protein</i>	1.0	–
<i>Apricot kernel protein</i>	–	7.0
Amino acid score of essential amino acids, %		
<i>Valine</i>	116.9	113.1
<i>Isoleucine</i>	130.2	128.3
<i>Leucine</i>	114.7	115.5
<i>Methionine and cysteine</i>	105.0	100.4
<i>Threonine</i>	102.6	101.8
<i>Tryptophan</i>	142.1	137.8
<i>Phenylalanine and tyrosine</i>	147.8	147.5
<i>Lysine</i>	100.0	100.3
<i>Protein mass fraction, %</i>	66.45	67.25

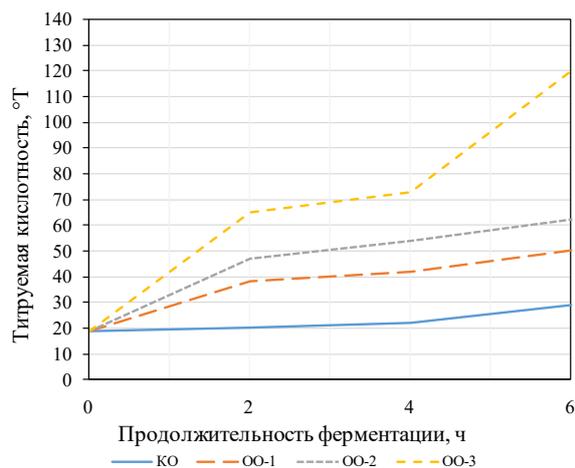


Рис. 1. Динамика титруемой кислотности сыворотки с добавлением композиции растительных белков № 1 в процессе ферментации

Примечание. Здесь и далее КО – контрольный образец, ОО – опытный образец

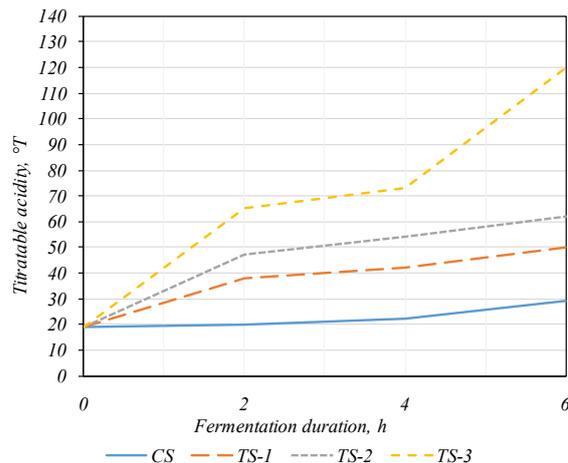


Fig. 1. Dynamics of titratable acidity of whey with the addition of plant protein composition No. 1 during the fermentation

Note. Hereinafter CS – control sample, TS – test sample

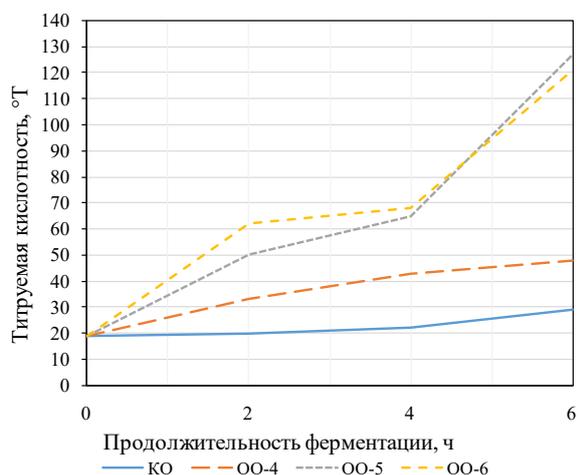


Рис. 2. Динамика титруемой кислотности сыворотки с добавлением композиции растительных белков № 2 в процессе ферментации

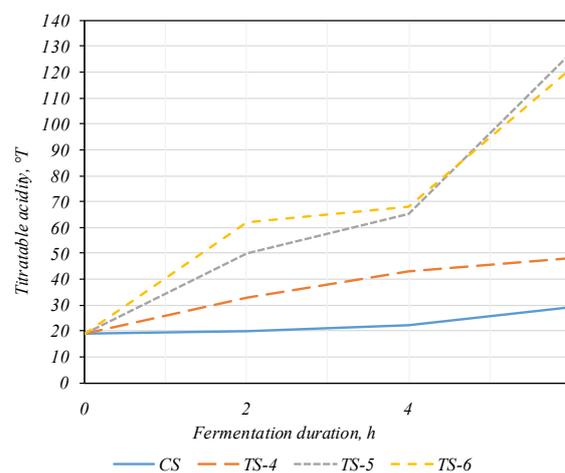


Fig. 2. Dynamics of titratable acidity of whey with the addition of plant protein composition No. 2 during the fermentation

В процессе ферментации каждые 2 часа контролировали изменение титруемой кислотности (°Т) по ГОСТ 3624-92. Конечные значения сравнивали с требованиями ГОСТ 32923-2014 «Продукты кисломолочные, обогащенные пробиотическими микроорганизмами» (80–120 °Т).

Для оценки состояния пробиотической микрофлоры проводили микроскопическое исследование фиксированных препаратов, окрашенных метиленовой синью, с использованием биологического микроскопа «Микмед-2».

Органолептическую оценку готовых образцов проводили методом дескрипторного анализа в соответствии с ISO 13299:2003 по следующим характеристикам: однородность и цвет (внешний вид), кисломолочный запах и запах семян подсолнечника (аромат), кисломолочный и сладкий вкус (вкус), густота и однородность (консистенция), а также общая оценка качества.

Массовую долю белка, вносимую композицией в образец, рассчитывали по формуле (4):

$$\omega_{\text{белка в композиции}} = \sum (X_i \cdot \omega_i), \quad (4)$$

где X_i – доля i -го белкового компонента в композиции (в долях единицы);

ω_i – массовая доля белка в i -м компоненте, %.

На основе полученных экспериментальных данных были определены оптимальные параметры состава (доля белковой композиции) и режима ферментации (время, температура), обеспечивающие достижение целевых физико-химических, микробиологических и органолептических показателей готового напитка.

Результаты (Results)

Для оптимизации состава белковых композиций использовали симплекс-метод с установлением линейных ограничений по содержанию незаменимых аминокислот. Целевой функцией служил аминокислотный скор лизина.

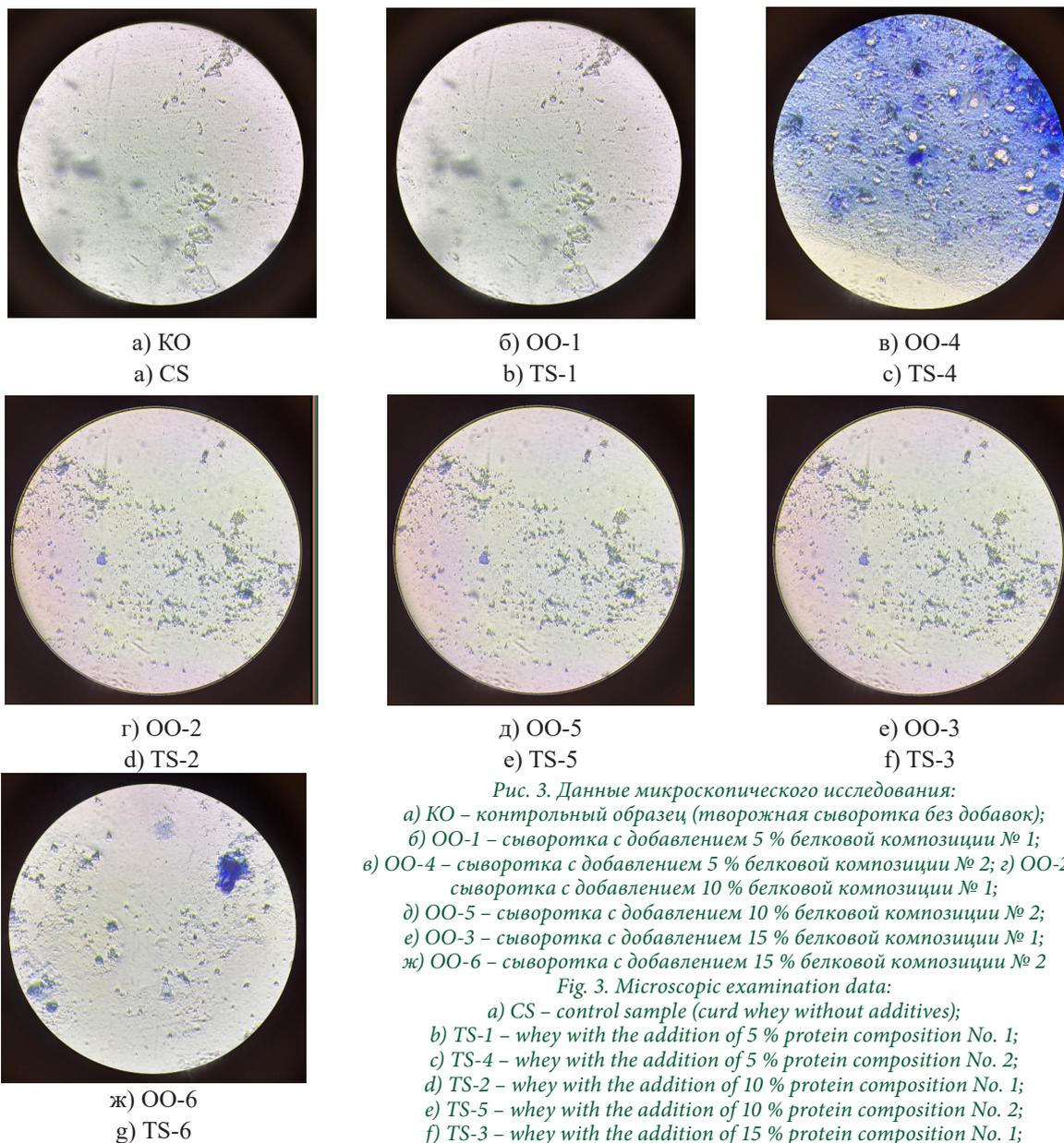


Рис. 3. Данные микроскопического исследования:
 а) KO – контрольный образец (творожная сыворотка без добавок);
 б) OO-1 – сыворотка с добавлением 5 % белковой композиции № 1;
 в) OO-4 – сыворотка с добавлением 5 % белковой композиции № 2; з) OO-2 – сыворотка с добавлением 10 % белковой композиции № 1;
 д) OO-5 – сыворотка с добавлением 10 % белковой композиции № 2;
 е) OO-3 – сыворотка с добавлением 15 % белковой композиции № 1;
 ж) OO-6 – сыворотка с добавлением 15 % белковой композиции № 2

Fig. 3. Microscopic examination data:

- а) CS – control sample (curd whey without additives);
- б) TS-1 – whey with the addition of 5 % protein composition No. 1;
- с) TS-4 – whey with the addition of 5 % protein composition No. 2;
- д) TS-2 – whey with the addition of 10 % protein composition No. 1;
- е) TS-5 – whey with the addition of 10 % protein composition No. 2;
- ф) TS-3 – whey with the addition of 15 % protein composition No. 1;
- г) TS-6 – whey with the addition of 15 % protein composition No. 2

Математическая постановка задачи оптимизации представлена балансовыми уравнениями (таблица 1).

В результате были получены две композиции с оптимальными показателями биологической ценности (таблица 2).

Приготовление опытных образцов проводили путем внесения белковых композиций в творожную сыворотку в количестве 0% (контроль), 5 %, 10 % и 15 % от массы сырья с последующей ферментацией комплексной пробиотической закваской при температуре $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 6 часов.

Влияние белковых добавок на процесс ферментации устанавливали по динамике титруемой кислотности в процессе ферментации, представленной на рис. 1 и 2.



Рис. 5. Внешний вид опытного образца с добавлением 15 % композиции растительных белков № 2
 Fig. 5. Appearance of the test sample with the addition of 15 % of plant protein composition No. 2

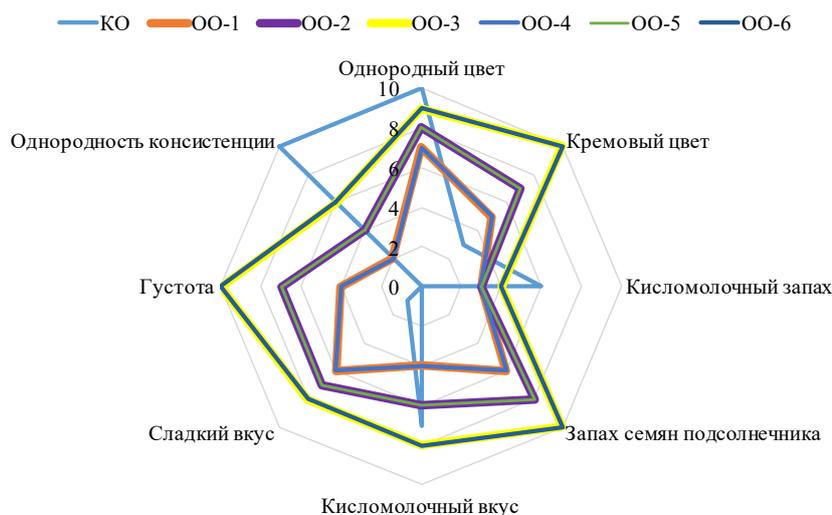


Рис. 4. Результаты органолептической оценки

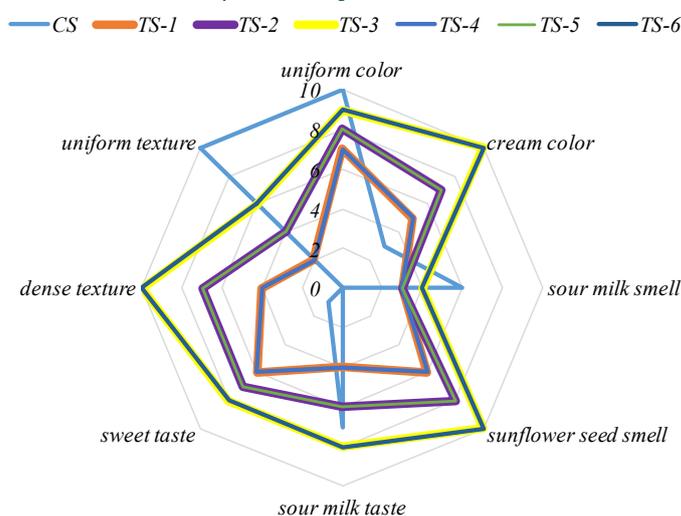


Fig. 4. Results of organoleptic evaluation

Анализ графиков показал, что внесение белковых композиций оказывает стимулирующее действие на кислотообразующую активность пробиотических культур. В то время как контрольный образец (без добавок) к 6 часам достиг кислотности всего 29 °Т, все опытные образцы показали значительно более высокую динамику. Наибольшую активность проявили образцы с 15 % добавки, которые к 5 часам ферментации превысили значение 90 °Т, а к 6 часам достигли 120 °Т и превысили это значение, что соответствует требованиям ГОСТ 32923-2014 (80–120 °Т) для обогащенных пробиотиками продуктов и превышает их. Наблюдалась прямая зависимость между концентрацией белковой добавки и скоростью кислотонакопления.

Микроскопическое исследование подтвердило стимулирующее влияние белковых добавок на рост пробиотической микрофлоры (рис. 3). В контрольном образце наблюдались низкая численность и слабая активность клеток. С увеличением дозировки белковой композиции (от 5 % до 15 %) отмечались рост плотности микробной популяции, улуч-

шение морфологического состояния клеток (четкие контуры, хорошая окрашиваемость) и образование цепочек, что свидетельствует об активном росте и делении.

Органолептическая оценка (рис. 4) выявила формирование у обогащенных образцов специфического аромата семян подсолнечника, интенсивность которого зависела от дозы добавки. Образцы с 15 % белковой композиции, достигшие высокой кислотности (> 120 °Т), приобрели сладковатый вкусовой оттенок с легким кисломолочным привкусом в отличие от нейтрального вкуса контрольного образца.

Визуально все опытные образцы отличались от контрольного большей мутностью и плотностью. Наибольшую густоту и непрозрачный кремовый оттенок имели образцы с 15 % добавки, консистенция которых приближалась к густому питьевому йогурту (рис. 5).

Расчетная массовая доля белка в готовых образцах пропорционально увеличивалась с ростом доли внесенной композиции (таблица 3).

Таблица 3
Массовая доля белка в опытных образцах ферментированного напитка

Образец	Используемая композиция	Доля композиции, %	Массовая доля белка в композиции, %	Массовая доля белка, вносимая композицией в образец, %
ОО-1	№ 1	5	66,45	3,32
ОО-2	№ 1	10	66,45	6,65
ОО-3	№ 1	15	66,45	9,97
ОО-4	№ 2	5	67,25	3,36
ОО-5	№ 2	10	67,25	6,73
ОО-6	№ 2	15	67,25	10,09

Table 3
Mass fraction of protein in experimental samples of fermented beverage

Sample	Composition used	Composition proportion, %	Protein mass fraction in composition, %	Protein mass fraction contributed by the composition to the sample, %
TS-1	No. 1	5	66.45	3.32
TS-2	No. 1	10	66.45	6.65
TS-3	No. 1	15	66.45	9.97
TS-4	No. 2	5	67.25	3.36
TS-5	No. 2	10	67.25	6.73
TS-6	No. 2	15	67.25	10.09

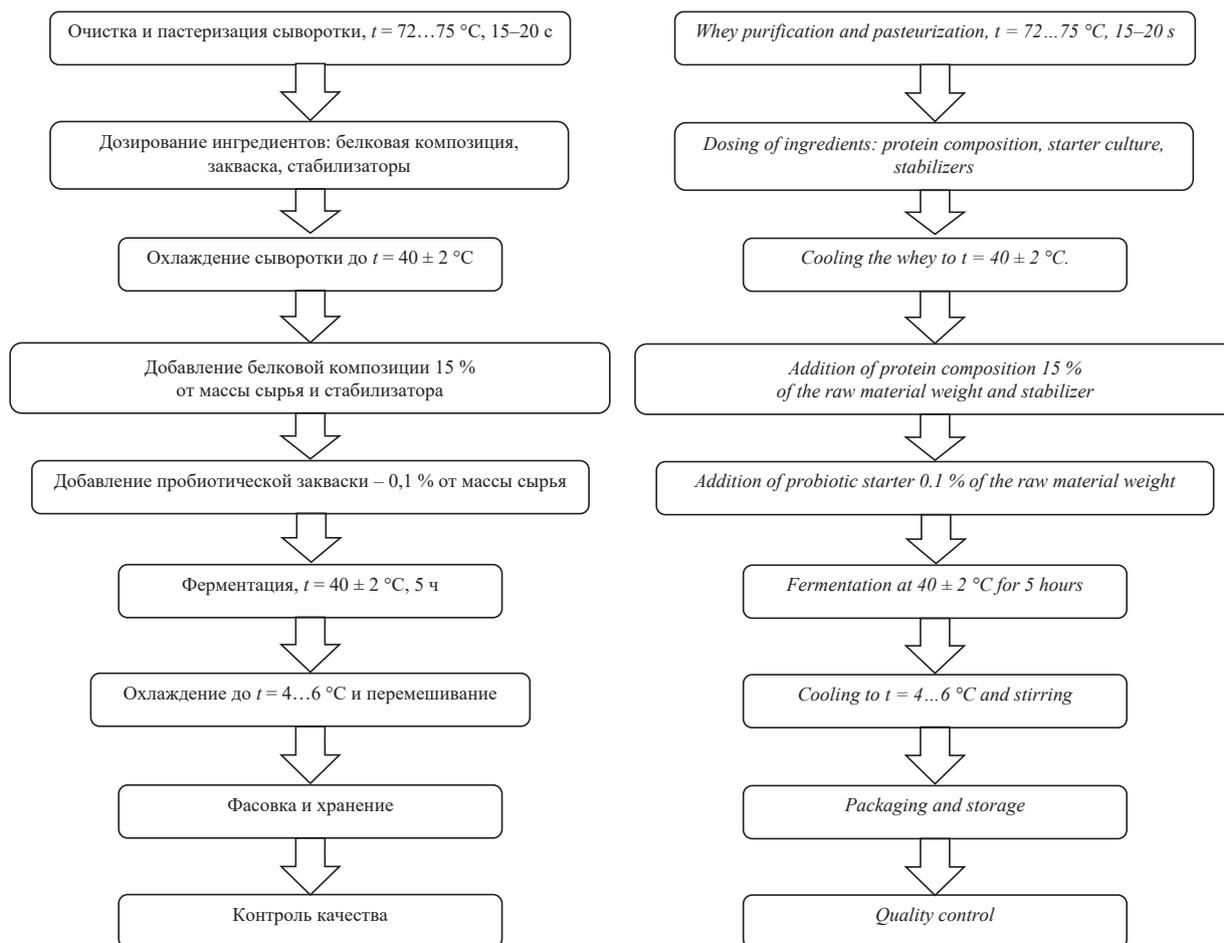


Рис. 6. Технологическая схема производства ферментированного напитка на основе творожной сыворотки с композицией растительных белков

Fig. 6. Flow chart for the production of a fermented drink based on curd whey with a composition of vegetable proteins

Таким образом, внесение 15 % белковой композиции позволяет получить ферментированный напиток с массовой долей белка около 10%, что соответствует критериям высокобелкового продукта.

На основании полученных данных была разработана технологическая схема производства ферментированного напитка (рис. 5) и определены оптимальные технологические параметры: внесение 15 % оптимизированной белковой композиции (№ 1 или № 2) и продолжительность ферментации 5 часов при температуре $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Данный режим обеспечивает достижение требуемой кислотности (не менее $90 ^\circ\text{T}$), высокую численность пробиотической микрофлоры, формирование оптимальной густой консистенции и повышенное содержание белка в готовом продукте.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенное исследование подтвердило перспективность комбинирования творожной сыворотки и растительных белков для получения высокобелкового ферментированного напитка функциональной направленности. Установлена технологическая целесообразность обогащения творожной сыворотки композицией растительных белков (подсолнечного, горохового, белка грецкого ореха, белка абрикосовой косточки). Добавление в количестве

15 % от массы сырья является оптимальным, обеспечивая интенсивное протекание ферментации, достижение требуемой кислотности (более $90 ^\circ\text{T}$ за 5 ч) и формирование привлекательных органолептических свойств. Доказано положительное влияние белковой композиции на рост и активность пробиотических культур, что подтверждается данными микроскопии и динамики титруемой кислотности. Разработаны рецептура и технология производства высокобелкового ферментированного напитка, обеспечивающие массовую долю белка на уровне 10 %. Продукт соответствует критериям функционального питания, обладает сбалансированным аминокислотным профилем и обогащен пробиотиками. Определена практическая значимость работы, заключающаяся в создании конкурентоспособного продукта, который решает две актуальные задачи: рациональную переработку вторичного молочного сырья (сыворотки) и удовлетворение спроса на гибридные растительно-молочные продукты для здорового и спортивного питания.

Таким образом, результаты работы являются научно обоснованными и открывают возможность для промышленной реализации технологии производства функционального ферментированного напитка на основе творожной сыворотки и композиции растительных белков.

Библиографический список

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 880 [Электронный ресурс]. URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/Documents/TR_TS_021_2011.pdf (дата обращения: 12.01.2026).
2. Анализ рынка кисломолочных продуктов в России в 2020–2024 гг., прогноз на 2025–2029 гг. Структура розничной торговли [Электронный ресурс]. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id8467/> (дата обращения: 13.01.2026).
3. Анализ рынка спортивного питания в России в 2020–2024 гг., прогноз на 2025–2029 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id75679> (дата обращения: 13.01.2026).
4. Растительное молоко: тренды рынка, технологии и сравнение с традиционным молоком [Электронный ресурс]. URL: <https://fermasclad.ru/blog/novosti-i-issledovaniya-v-molochnoy-industrii/rastitelnoe-moloko-trendy-rynka-tekhnologii-i-sravnenie-s-traditsionnym-molokom> (дата обращения: 13.01.2026).
5. Кочетова А.С. Производство продуктов животноводства в Российской Федерации в 2024 году: Бюллетень Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. – М.: URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1770189087&tld=ru&lang=ru&name=PROD_2024.xlsx&text (дата обращения: 13.01.2026).
6. Обзор российского рынка молочной сыворотки. Май 2025. Прогноз развития до 2029 года [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/aHZHNrZzJw4g2gTB?ysclid=ml7otr71cw462357057> (дата обращения: 13.01.2026).
7. Паладий И. В., Врабие Е. Г., Спринчан К. Г., Болога М. К. Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение [Электронный ресурс]. ЭОМ. 2021; 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-syvorotka-obzor-rabot-chast-1-klassifikatsiya-sostav-svoystva-proizvodnye-primeneniye> (дата обращения: 12.01.2026).
8. Agarkova E. Yu., Ryazantseva K. A., Kruchinin A. G. Anti-diabetic activity of whey proteins // Food Processing Techniques and Technology. 2020. Vol. 50 (2). Pp. 306–318. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-2-306-318.
9. Витушкина М. А., Дулепова М. А. Сывороточные белки молока и их свойства // Вестник науки. 2020. № 8 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/syvorotochnye-belki-moloka-i-ih-svoystva> (дата обращения: 12.01.2026).

10. Khrantsov A. G. Innovative solutions in milk whey production // Food Processing: Techniques and Technology. 2018. Vol. 3. Pp. 5–15. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-5-15.
11. Pöri P., Lille M., Edelmann M., Aisala H., Santangelo D., Coda R., Sozer N. Technological and sensory properties of plant – based meat analogues containing fermented sunflower protein concentrate // Future Foods. 2023. Vol. 8, No. 3. Article number 100244. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100244.
12. Lille M., Edelmann M., Aisala H., et al. Characterising the composition and physicochemical properties of legume and oilseed protein concentrates to evaluate their potential for high-moisture extrusion processing // Future Foods. 2025. Vol. 12. Article number 100769. DOI: 10.1016/j.fufo.2025.100769.
13. Шагинова Л. О., Крылова И. В., Демьяненко Т. Ф., Доморощенкова М. Л. Исследование процесса получения белкового препарата из семян подсолнечника для использования в пищевой промышленности // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 3. С. 41–50. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-3-41-50.
14. Vartiya P., Kashyap P., Raj B., Sharma M., Adnan M., Ashraf S.A., Mehra R. Modeling and optimization of protein extraction from sunflower seed Cake: RSM and ANN-GA approaches // Journal of Agriculture and Food Research. 2025. Vol. 22. Article number 102088. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102088.
15. Колпакова В. В., Уланова Р. В., Куликов Д. С., Ушкова В. А., Семенов Т. В., Певзнер Л. В. Показатели качества гороховых и тыквенных белковых концентратов // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 4. С. 649–664. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2394.
16. Zhou J., Wang J., Xia W., Peng Y., Yang J., Jin W., Peng D. Functionalizing walnut protein via consecutive purification and ultrasound modification: Self-assembled structure and interfacial properties // Ultrasonics Sonochemistry. 2025. Vol. 120. Article number 107490. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2025.107490.
17. Ojha P., Xia T., Liangfu Z., Qinghai S., Chitrakar B., Karki R., Jianxin T., Jielin L. Unlocking the nutritional profile of apricot (*Prunus armeniaca L*) kernel as a valuable by-product for future exploration // Future Foods. 2025. Vol. 11. Article number 100632. DOI: 10.1016/j.fufo.2025.100632.
18. Кулаков В. Г., Капустин С. В. Применение извлеченных белков из растительного сырья в функциональном и специализированном питании // Овощи России. 2017. № 5. С. 84–87. DOI: 10.18619/2072-9146-2017-5-84-87.
19. Юшков С. Разработка комплексного состава растительных белков, имеющего полноценный набор аминокислот // Бизнес пищевых ингредиентов. 2018. № 1. С. 22–27.
20. Wang W., Liu Y., Liu M., Gao F., Xia B., Zhao R., Yin X., Wang C. Partially substituting whey protein by rice protein hydrolysate to fabricate emulsions: Physicochemical properties, stability and digestion behavior // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2025. Vol. 255. Article number 114917. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2025.114917.
21. Petrariu O.-A., Barbu I.C., Niculescu A.-G., Constantin M., Grigore A. G., Cristian R.-E., Mihaescu G., Vrancianu C. O. Role of probiotics in managing various human diseases, from oral pathology to cancer and gastrointestinal diseases // Frontiers in Microbiology. 2024. Vol. 14. Article number 1296447. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1296447.
22. Плотникова Е. Ю., Захарова Ю. В. Пробиотики в современной медицинской практике: от мифов к научным доказательствам // Медицинский совет. 2025. № 19 (11). С. 197–204. DOI: 10.21518/ms2025-278.
23. Verma D. K., Patel A. R., Tripathy S., Gupta A. K., Singh S., Shah N., Utama G. L., Chávez-González M. L., Zongo K., Banwo K., Niamah A. K., Aguilar C. N. Processing and formulation technology of nutritional and functional food products by utilizing cheese and/or paneer whey: a critical review // Journal of King Saud University Science. 2024. Vol. 36. Article number 103508. DOI: 10.1016/j.jksus.2024.103508.
24. Norouzi Z., Nateghi L., Rashidi L., Movahhed S. Fortification of fermented soy milk using whey protein isolate/gelatin microhydrogels-loaded with sesame bioactive peptides // Food Chemistry: X. 2025. Vol. 31. Article number 103061. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.103061.
25. Смирнова Е. С., Мельникова Е. О., Ражина Е. В., Лопаева Н. Л., Чепуштанова О. В. Разработка рецептуры и технология производства напитка на основе творожной сыворотки с добавлением фруктово-растительного сырья // Новые технологии. 2025. Т. 21, № 2. С. 78–90. DOI: 10.47370/2072-0920-2025-21-2-78-90.
26. Шавыркина Н. А., Обрезкова М. В., Школьникова М. Н. Характеристика ферментированных напитков на основе молочной сыворотки и фруктового сока // Вестник КрасГАУ. 2018. № 2. С. 112–117.
27. Патент РФ № 2 800 121 С1. Сывороточный напиток / Денисов С. В.; заявитель и патентообладатель РОСБИОТЕХ. Заявка № 2022121849 от 11.08.2022. Оpubл. 18.07.2023, Бюл. № 20.
28. Chen L., Wu D., Schlundt J., Conway P. L. Development of a dairy-free fermented oat-based beverage with enhanced probiotic and bioactive properties // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. Article number 609734. DOI: 10.3389/fmicb.2020.609734.
29. El-Batawy O. I., Mahdy S. M., Gohari S. T. Development of functional fermented oat milk by using probiotic strains and whey protein // International Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 14 (1). Pp. 21–28.

30. ГОСТ 32923-2014. Продукты кисломолочные, обогащенные пробиотическими микроорганизмами. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2015. 16 с.

Об авторах:

Светлана Викторовна Стасюк, магистр биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия; ORCID 0009-0004-3600-465X, AuthorID 9378-2784. E-mail: svlanast@mail.ru

Оксана Владимировна Зинина, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск; профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624. E-mail: zininaov@susu.ru

Ольга Петровна Неверова, кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. E-mail: opneverova@mail.ru

References

1. *Technical Regulation of the Customs Union TR CU 021/2011 "On the safety of food products"* (adopted by Decision of the Customs Union Commission No. 880 of December 9, 2011) [Internet]. 2011 [cited 2026 Jan 12]. Available from: http://www.eurasiancommission.org/ru/Documents/TR_TS_021_2011.pdf. (In Russ.)
2. *Analysis of the fermented milk products market in Russia in 2020–2024, Forecast for 2025–2029. Retail Trade Structure* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://businessstat.ru/catalog/id8467>. (In Russ.)
3. *Analysis of the sports nutrition market in Russia in 2020–2024, Forecast for 2025–2029* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://businessstat.ru/catalog/id75679>. (In Russ.)
4. *Plant-based milk: market trends, technologies, and comparison with traditional milk* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://fermasclad.ru/blog/novosti-i-issledovaniya-v-molochnoy-industrii/rastitelnoe-moloko-trendy-rynka-tekhnologii-i-sravnenie-s-traditsionnym-molokom>. (In Russ.)
5. Kochetova A. S. *Production of livestock products in the Russian Federation in 2024: Bulletin of the Federal State Statistics Service* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://fermasclad.ru/blog/novosti-i-issledovaniya-v-molochnoy-industrii/rastitelnoe-moloko-trendy-rynka-tekhnologii-i-sravnenie-s-traditsionnym-molokom>. (In Russ.)
6. *Overview of the Russian dairy whey market. May 2025. Development Forecast until 2029* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://dzen.ru/a/aHZHNrZzJw4g2gTB?ysclid=ml7otr71cw462357057>. (In Russ.)
7. Paladij I. V., Vrabie E. G., Sprinchan K. G., Bologna M. K. *Whey: a review of research. Part 1. Classification, composition, properties, derivatives, and applications. EOM. 2021* [cited 2026 Jan 12]; 1. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-syvorotka-obzor-rabot-chast-1-klassifikatsiya-sostav-svoystva-proizvodnye-primenenie>. (In Russ.)
8. Agarkova E. Yu., Ryazantseva K. A., Kruchinin A. G. Anti-diabetic activity of whey proteins. *Food Processing Techniques and Technology*. 2020; 50 (2): 306–318. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-2-306-318.
9. Vitushkina M. A., Dulepova M. A. Whey proteins and their properties. *Herald of Science*. 2020 [cited 2026 Jan 12]; 8 (29). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/syvorotochnye-belki-moloka-i-ih-svoystva>. (In Russ.)
10. Khramtsov A. G. Innovative solutions in milk whey production. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018; 3: 5–15. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-5-15.
11. Pöri P., Lille M., Edelmann M., Aisala H., Santangelo D., Coda R., Sozer N. Technological and sensory properties of plant – based meat analogues containing fermented sunflower protein concentrate. *Future Foods*. 2023; 8 (3): 100244. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100244.
12. Lille M., Edelmann M., Aisala H., et al. Characterising the composition and physicochemical properties of legume and oilseed protein concentrates to evaluate their potential for high-moisture extrusion processing. *Future Foods*. 2025; 12: 100769. DOI: 10.1016/j.fufo.2025.100769.
13. Shaginova L. O., Krylova I. V., Demyanenko T. F., Domoroshchenkova M. L. Study of a process of obtaining of protein preparation from sunflower seeds for application in food industry. *New Technologies*. 2021; 17 (3): 41–50. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-3-41-50. (In Russ.)
14. Vartiya P., Kashyap P., Raj B., Sharma M., Adnan M., Ashraf S.A., Mehra R. Modeling and optimization of protein extraction from sunflower seed Cake: RSM and ANN-GA approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025; 22: 102088. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102088.
15. Kolpakova V. V., Ulanova R. V., Kulikov D. S., Gulakova V. A., Semenov G. V., Shevyakova L. V. Pea and chickpea protein concentrates: quality indicators. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022; 52 (4): 649–664. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2394. (In Russ.)

16. Zhou J., Wang J., Xia W., Peng Y., Yang J., Jin W., Peng D. Functionalizing walnut protein via consecutive purification and ultrasound modification: Self-assembled structure and interfacial properties. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025; 120: 107490. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2025.107490.
17. Ojha P., Xia T., Liangfu Z., Qinghai S., Chitrakar B., Karki R., Jianxin T., Jieli L. Unlocking the nutritional profile of apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel as a valuable by-product for future exploration. *Future Foods*. 2025; 11: 100632. DOI: 10.1016/j.fufo.2025.100632.
18. Kulakov V. G., Kapustin S. V. Utilization of plant proteins in functional nutrition. *Vegetable crops of Russia*. 2017; 5: 84–87. DOI: 10.18619/2072-9146-2017-5-84-87. (In Russ.)
19. Yushkov S. Development of a complex composition of vegetable proteins having a full set of amino acids. *Business of Food Ingredients*. 2018; 1: 22–27.
20. Wang W., Liu Y., Liu M., Gao F., Xia B., Zhao R., Yin X., Wang C. Partially substituting whey protein by rice protein hydrolysate to fabricate emulsions: Physicochemical properties, stability and digestion behavior. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2025; 255: 114917. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2025.114917.
21. Petrariu O.-A., Barbu I.C., Niculescu A.-G., Constantin M., Grigore A. G., Cristian R.-E., Mihaescu G., Vrancianu C. O. Role of probiotics in managing various human diseases, from oral pathology to cancer and gastrointestinal diseases. *Frontiers in Microbiology*. 2024; 14: 1296447. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1296447.
22. Plotnikova E. Yu., Zakharova Yu. V. Probiotics in current medical practice: from myths to scientific evidence. *Medical Council*. 2025; 19 (11): 197–204. DOI: 10.21518/ms2025-278. (In Russ.)
23. Verma D. K., Patel A. R., Tripathy S., Gupta A. K., Singh S., Shah N., Utama G. L., Chávez-González M. L., Zongo K., Banwo K., Niamah A. K., Aguilar C. N. Processing and formulation technology of nutritional and functional food products by utilizing cheese and/or paneer whey: A critical review. *Journal of King Saud University Science*. 2024; 36: 103508. DOI: 10.1016/j.jksus.2024.103508.
24. Norouzi Z., Nateghi L., Rashidi L., Movahhed S. Fortification of fermented soy milk using whey protein isolate/gelatin microhydrogels-loaded with sesame bioactive peptides. *Food Chemistry: X*. 2025; 31: 103061. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.103061.
25. Smirnova E. S., Melnikova E. O., Razhina E. V., Lopayeva N. L., Chepushtanova O. V. Formulation development and production technology for a drink based on curd whey with the addition of fruit and vegetable raw materials. *New technologies*. 2025; 21 (2): 78–90. DOI: 10.47370/2072-0920-2025-21-2-78-90.
26. Shavyrkina N. A., Obrezkova M. V., Shkolnikova M. N. The characteristics of fermented beverages on the basis of lactoserum and fruit juice. *Bulletin of KSAU*. 2018; 2: 112–117.
27. Patent RF No. 2 800 121 C1. Whey drink / Denisov S. V.; applicant and patent holder ROSBIOTEKH. Application No. 2022121849 dated August 11, 2022. Published July 18, 2023, Bulletin No. 20. (In Russ.)
28. Chen L., Wu D., Schlundt J., Conway P. L. Development of a dairy-free fermented oat-based beverage with enhanced probiotic and bioactive properties. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 609734. DOI: 10.3389/fmicb.2020.609734.
29. El-Batawy O. I., Mahdy S. M., Gohari S. T. Development of Functional Fermented Oat Milk by Using Probiotic Strains and Whey Protein. *International Journal of Dairy Science*. 2019; 14 (1): 21–28.
30. GOST 32923-2014. Fermented milk products enriched with probiotic microorganisms. Specifications. Moscow: Standartinform, 2015. 16 p. (In Russ.)

About the authors:

Svetlana V. Stasyuk, master of science (biotechnology), South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia; ORCID 0009-0004-3600-465X, AuthorID 9378-2784. *E-mail: svlanast@mail.ru*

Oksana V. Zinina, doctor of technical sciences, professor, department of food and biotechnology, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, professor, department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624. *E-mail: zininaov@susu.ru*

Olga P. Neverova, candidate of biological sciences, head of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. *E-mail: opneverova@mail.ru*

Сохранение сельскохозяйственных угодий как фактор резильентности сельских территорий региона

Л. Е. Красильникова¹✉, А. Н. Бударина², Д. А. Баландин³

¹ Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

³ Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермский филиал, Пермь, Россия

✉ E-mail: krasilnikova@pgsha.ru

Аннотация. Цель исследования – изучение процессов сохранения сельскохозяйственных угодий с позиции их воздействия на резильентность (жизнестойкость) сельских территорий. **Методы.** Изучены и интерпретированы труды, посвященные вопросам рационального землепользования в аспектах пространственного развития, устойчивости сельских территорий и эффективного ведения сельскохозяйственной деятельности. На примере субъектов Уральского макрорегиона проанализирована динамика оборота сельскохозяйственных угодий и определены факторы его влияния на резильентность сельских территорий. **Научная новизна** заключается в обосновании вывода о том, что на эффективность оборота сельскохозяйственных угодий благоприятное влияние оказывает качество регулирования земельных отношений, которое выше в промышленно развитых субъектах ввиду восприимчивости к технологическим новшествам в землепользовании, а также наличие комплекса факторов отраслевой производительности как катализатора экономического роста и синергии региональных процессов общественного воспроизводства. **Результаты.** Сформулированы предложения организационно-экономического характера по сохранению сельскохозяйственных угодий и обеспечению резильентности сельских территорий, совершенствованию механизма регулирования рынка земель сельскохозяйственного назначения и осуществлению институционального контроля их оборота. **Практическая значимость** рекомендаций заключается в их потенциальной востребованности в государственном регулировании оборота сельскохозяйственных угодий, обеспечения жизнестойкости сельских территорий и повышения условий жизнедеятельности аграрного населения российских регионов.

Ключевые слова: сельские территории, регион, сельскохозяйственные угодья, мониторинг земельных ресурсов, структура аграрного производства, оборот земель сельскохозяйственного назначения, продовольственный суверенитет, резильентность

Для цитирования: Красильникова Л. Е., Бударина А. Н., Баландин Д. А. Сохранение сельскохозяйственных угодий как фактор резильентности сельских территорий региона // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 353–365. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-353-365>.

Дата поступления статьи: 02.11.2025, **дата рецензирования:** 03.12.2025, **дата принятия:** 05.12.2025.

Preservation of agricultural lands as a factor in the resilience of rural areas of the region

L. E. Krasilnikova¹✉, A. N. Budarina², D. A. Balandin³

¹ Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

³ Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm branch, Perm, Russia

✉ E-mail: krasilnikova@pgsha.ru

Abstract. The aim of the study is to investigate the processes of agricultural land conservation from the perspective of their impact on the resilience (vitality) of rural areas. **Methods.** The papers devoted to the issues of rational land use in the aspects of spatial development, sustainability of rural areas and efficient agricultural management have been reviewed and interpreted. Using the example of the entities of the Ural macroregion, the dynamics of agricultural land turnover has been analyzed and the factors influencing its resilience of rural areas have been identified. **Scientific novelty** lies in the substantiation of the conclusion that the efficiency of agricultural land turnover is favorably influenced by the quality of land relations regulation, which is higher in industrialized entities due to their receptivity to technological innovations in land use, as well as the presence of a set of industry productivity factors as a catalyst for economic growth and synergy of regional social reproduction processes. **Results.** Organizational and economic proposals have been formulated for the conservation of agricultural land and ensuring the resilience of rural areas, improving the mechanism for regulating the agricultural land market and implementing institutional control over their turnover. **The practical significance** of the recommendations lies in their potential relevance in state regulation of agricultural land turnover, ensuring the viability of rural areas, and improving the living conditions of the agricultural population in Russian regions.

Keywords: rural areas, region, agricultural land, land resources monitoring, structure of agricultural production, agricultural land turnover, food sovereignty, resilience

For citation: Krasilnikova L. E., Budarina A. N., Balandin D. A. Preservation of agricultural lands as a factor in the resilience of rural areas of the region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 353–365. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-353-365>. (In Russ.)

Date of paper submission: 02.11.2025, **date of review:** 03.12.2025, **date of acceptance:** 05.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время мировое сообщество использует для сельскохозяйственной деятельности свыше 50 % земли, пригодной для проживания человечества, из которой порядка 5 млрд га занимают сельскохозяйственные угодья, как правило, находящиеся в зоне регулирования национальных институтов управления [1]. В полной мере это относится к современной России, где одной из ключевых задач совершенствования управления земельными отношениями является повышение эффективности агропромышленного землепользования в региональном пространстве страны [2].

Проведенный на подготовительном этапе работы над статьей анализ зарубежных и отечественных источников позволяет судить о развитом теоретическом и методологическом базисе исследования эффективности использования сельскохозяйственных земель как движущем факторе интенсификации аграрного производства, преодолении territori-

ального неравенства и укреплении жизнестойкости территориальных сообществ. В то же время авторы данной работы, признавая существование отдельных исследований в смежных областях научного познания, пришли к выводу о том, что в экономической литературе вопросы сохранения сельскохозяйственных угодий с позиции резильентности сельских территорий раскрыты не в полной мере.

Так, Б. Дэвис, А. Кампос, М. Фароу и П. Уинтерс приводят данные о том, что за последние 60 лет в государствах ОЭСР при переориентации аграрной деятельности на выращивание высокорентабельных культур площадь производства зерновых сократилась почти на 10 % с одновременным трехкратным ростом урожайности. Ими отмечается высокая зависимость данной тенденции от таких факторов, как межгосударственная интеграция и глобализация, изменения климата, отраслевые сдвиги, вызванные технологическими изменениями в землепользовании, возрастающей мобиль-

ности трудовых ресурсов, а также переориентация населения на новые рационы питания. Отдельное внимание данными авторами уделяется вопросам эффективности землепользования и отраслевой производительности как катализатора экономического роста, в том числе в аспектах преодоления продовольственного неравенства и бедности населения слаборазвитых стран, а также в ракурсе зеленой экономики и устойчивого развития в условиях ограниченных ресурсов [3].

В свою очередь, Э. Бутлер, К. О'Донахью и Д. Стайлс, рассматривая функции земель сельскохозяйственного назначения, помимо значимости биофизических характеристик почв, констатируют роль влияния социально-экономических аспектов на эффективность политики земледелия и устойчивость обеспечения населения продовольствием [4]. К. Дурач, Д. Симпсон, Ф. Вингартен и В. Чжаохуэй отмечают необходимость борьбы с эрозией почв и сохранения их плодородия, расширения биоразнообразия агропроизводства и снижения негативной нагрузки на окружающую среду, определяют задачи межгосударственного сотрудничества в удовлетворении мирового сообщества доступными продуктами питания в соответствии с локальными традициями и рационами [5].

Процессы достижения продовольственного суверенитета остаются стратегическим направлением обеспечения жизнестойкости российского общества, выступают фундаментальной основой устойчивости национальной экономики, поддержания должного качества жизни населения страны и образующих ее региональных систем. В этой связи отдельными представителями российского научного сообщества акцентируется значимость научно-методического обеспечения пространственного развития для сохранения сельских территорий при продолжающейся тенденции миграции населения с периферии в центральную часть страны [6]. Также высказывается позиция о том, что достижение целей пространственного развития территорий в главенствующей степени определяется устойчивостью сложившейся системы земледелия, одной из основных задач которой является достижение баланса между вводимыми и выводимыми из оборота землями сельскохозяйственного назначения [7].

В то же время практически весь постсоветский период развития Российской Федерации ознаменовался беспрецедентным выбытием и нерациональным использованием сельскохозяйственных земель в абсолютном большинстве регионов страны, вызванных «шоковой» интеграцией национальной экономики в глобальное пространство; зачастую скоропалительной приватизацией государственного и колхозного земельного фонда; неэквивалентным обменом между городом и деревней; падением престижности аграрного производства и полярной

дифференциацией доходов городских и сельских жителей; миграционными процессами и депопуляцией местного населения. Начиная с 1992 года площадь земель сельскохозяйственного назначения в России сократилась более чем на 40 %, из оборота выбыло порядка 40 млн га [8], что с учетом невысокой относительно среднемирового уровня урожайности основных сельскохозяйственных культур остается существенным вызовом экономической безопасности страны и угрозой благополучия жизнедеятельности населения.

Важно отметить, что реализуемые с начала 2000-х годов программные мероприятия, направленные на поддержку агропромышленного комплекса и обеспечение продовольственной безопасности страны и регионов, позволили достигнуть значимых успехов в восстановлении и развитии многих сфер аграрной деятельности, в том числе в экспорте широкого спектра сельскохозяйственной продукции. Укрепляющийся благодаря мерам государственного протекционизма аграрный сектор экономики на основе консолидации имеющихся ресурсов и реализации потенциалов развития обеспечил запуск резильентных (самовосстановительных) процессов сельских территорий, включая поддержку и развитие социальной сферы, строительство жилья, модернизацию инфраструктурных объектов различного профиля, возведение природоохранных сооружений и комплексов. Проявляется тенденция консолидации сельскохозяйственных угодий крупными аграрными производителями, менее чувствительными к условиям современной экономической неопределенности и их негативным проявлениям [9].

При этом сохраняется проблематика низкой эффективности задействования имеющихся сельскохозяйственных угодий (пашни, пастбищ, земель многолетних насаждений), их оптимального вовлечения в воспроизводственные процессы и предотвращения выбытия из оборота, наличия невостребованных земельных долей. Несомненным фактором, снижающим результативность государственного регулирования оборота земель сельскохозяйственного назначения, остается существенное несоответствие показателей объема сельхозугодий, предоставляемых Росреестром (221,95 млн га), Росстатом (193,35 млн га) и Минсельхозом РФ (197,77 млн га) [10]. Как правило, объясняется это несвоевременным отражением перевода «выморочных» (в результате ликвидации предприятий АПК) сельскохозяйственных угодий (в основном с покровом, зарастающим кустарником и деревьями) в другую категорию земель, прежде всего лесного фонда [11], а также земель населенных пунктов [12]. В числе негативных последствий данного явления для резильентности сельских территорий заслуживает отдельного упоминания проблема налогообложения земель сельскохозяйственного назначения и полно-

ты налоговых поступлений в местные бюджеты [13].

С учетом изложенного следует констатировать существование обширного диапазона научных мнений по применению инструментов сохранения сельскохозяйственных угодий в рамках регулирования оборота земель сельскохозяйственного назначения. В то же время нельзя игнорировать факт недостаточной увязки в научной литературе роли земли – основного средства производства сельской экономики – с вопросами резильентности сельских территорий и повышения жизнестойкости аграрных сообществ в ракурсе реализации политики пространственного развития страны и регионов.

Актуальность обозначенной проблематики предопределяет необходимость проведения детального анализа оборота сельскохозяйственных угодий и тенденций аграрного производства на региональном уровне в задачах формирования нового концептуального видения, отражающего реалии современного этапа развития сельских территорий Российской Федерации.

В данной статье авторы осуществили попытку более детального познания тенденций и закономерностей оборота сельскохозяйственных угодий на современном этапе с позиции аграрной экономики и развития региональных экономических систем, выделяя области их трансдисциплинарного наложения. В рамках исследования был осуществлен обзор зарубежных и российских научных источников в сочетании с аналитической интерпретацией статистической информации, характеризующей оборот сельскохозяйственных земель в ряде субъектов Российской Федерации, для того чтобы определить общесистемные закономерности и региональную специфику сохранения сельскохозяйственных угодий; установить изменения структурных пропорций в составе земель сельских территорий; выявить факторы влияния земельных отношений на резильентность сельских территорий; сформулировать и обсудить предложения, обеспечивающие повышение эффективности землепользования в ракурсе реализации задач пространственного развития.

Методология и методы исследования (Methods)

Настоящей статьей авторы продолжили цикл работ, посвященных резильентности агропромышленных территориально-экономических систем. Ввиду обширности данной проблемы в целях большей детализации и конкретизации тематики настоящей работы в качестве объекта исследования определены сельскохозяйственные угодья субъектов Уральского макрорегиона Российской Федерации.

Целью настоящей статьи являются изучение специфики сохранения сельскохозяйственных угодий в российских регионах и выработка практических предложений по совершенствованию данных процессов.

Для достижения поставленной цели были определены задачи:

- проанализировать и обобщить современную зарубежную и отечественную научную литературу в соответствующих областях научного познания;
- определить факторы влияния оборота сельскохозяйственных угодий на резильентность сельских территорий регионов;
- рассмотреть динамику оборота сельскохозяйственных угодий в субъектах Российской Федерации;
- предложить мероприятия, повышающие эффективность сохранения сельскохозяйственных угодий сельских территорий в процессах пространственного развития российских регионов.

Гипотезой данного исследования выступило предположение о том, что совершенствование процессов сохранения сельскохозяйственных угодий является значимым фактором резильентности сельских территорий регионов Российской Федерации.

Применение пространственно-территориального подхода на уровне субъектов России наряду с агропроизводственным подходом в междисциплинарном ракурсе позволило включить в поле анализа оборота сельскохозяйственных угодий более широкий спектр явлений, отражающих результативность деятельности государственного и муниципального управления не только по сохранению земельного фонда, но и по обеспечению жизнестойкости сельских территорий региона на стратегическую перспективу.

Для достижения заявленных цели и задач исследования, а также доказательства выдвинутой гипотезы применялись традиционные методы научного познания:

- **монографический метод**, использованный для обобщения выработанных в науке и отраженных в экономической литературе представлений о закономерностях развития агропромышленной деятельности, а также сельских территорий в аспектах пространственного развития региональных систем, их способностей к самовосстановлению в процессах преодоления негативных воздействий противостояния внешним и внутренним рискам и угрозам. Данный метод был задействован при аналитической интерпретации выводов современных зарубежных и российских ученых о проблемах рационального землепользования, устойчивости сельских территорий и эффективного ведения сельскохозяйственной деятельности и позволил сформировать позицию авторов по оценке качества регулирования земельных отношений в сельских территориях и результативности сохранения сельскохозяйственных угодий в субъектах Уральского макрорегиона Российской Федерации;

- **метод сравнительного анализа** статистической информации для диагностики показателей,

отражающих структурные деформации в обороте сельскохозяйственных угодий регионов Урала, способствовавший выявлению факторов негативного влияния земельных отношений на резильентность сельских территорий и узких мест в российском земельном законодательстве;

– **графический метод** для отражения тенденций и специфики задействования сельскохозяйственных угодий в зависимости от экономической специализации субъектов РФ, наглядно проиллюстрировавший вывод авторов о том, что на эффективность оборота сельскохозяйственных угодий и устойчивость агропромышленного производства благоприятное влияние оказывают качество регулирования земельных отношений, которое, как правило, выше в промышленно развитых регионах ввиду большей восприимчивости к технологическим новшествам в землепользовании, и наличие комплекса факторов отраслевой производительности как катализатора экономического роста и социальной синергии региональных процессов общественного воспроизводства.

Использование выбранных методов позволило рассматривать связи между показателями и графически иллюстрировать их для большей нагляд-

ности, определять природу и характер воздействия институтов землепользования на резильентность сельских территорий. Достигнутые результаты анализа предоставляют возможность использовать их в процессах повышения эффективности регулирования агропромышленной деятельности и территориального развития, нивелирования имеющихся разрывов между теорией и практикой регионального управления.

Результаты (Results)

В достижении цели и задач настоящего исследования осуществим попытку доказательства ранее выдвинутой гипотезы о влиянии совершенствования процессов сохранения сельскохозяйственных угодий на резильентность сельских территорий. Рассмотрим динамику оборота сельхозугодий в субъектах Уральского макрорегиона Российской Федерации и связанные с ней факторы резильентности сельских территорий.

Уральский макрорегион объединяет 7 субъектов Российской Федерации, отличающихся разнообразной экономической специализацией, спецификой природно-климатических условий и различиями традиционного уклада аграрного населения.

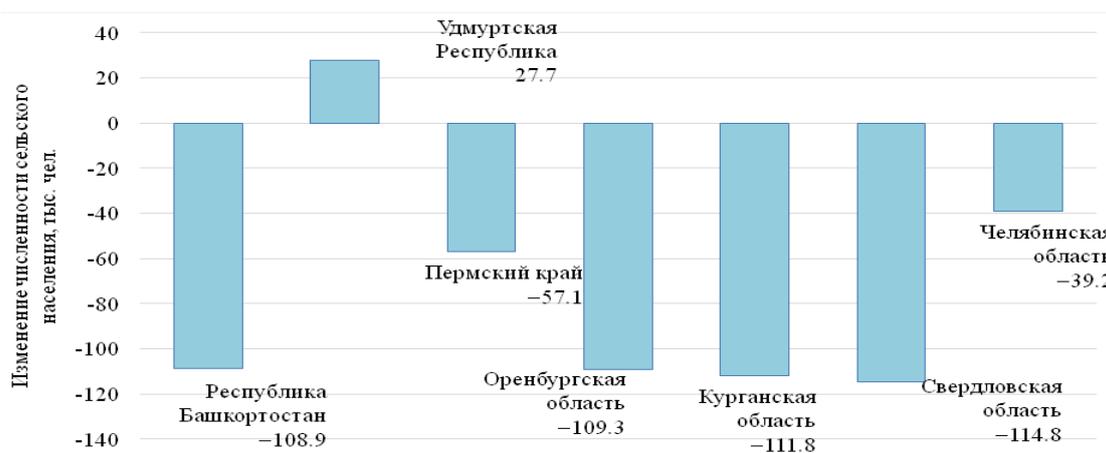


Рис. 1. Изменение численности сельского населения в Уральском макрорегионе за 2008–2024 гг., тыс. чел. Источник: рассчитано авторами на основе данных [14]

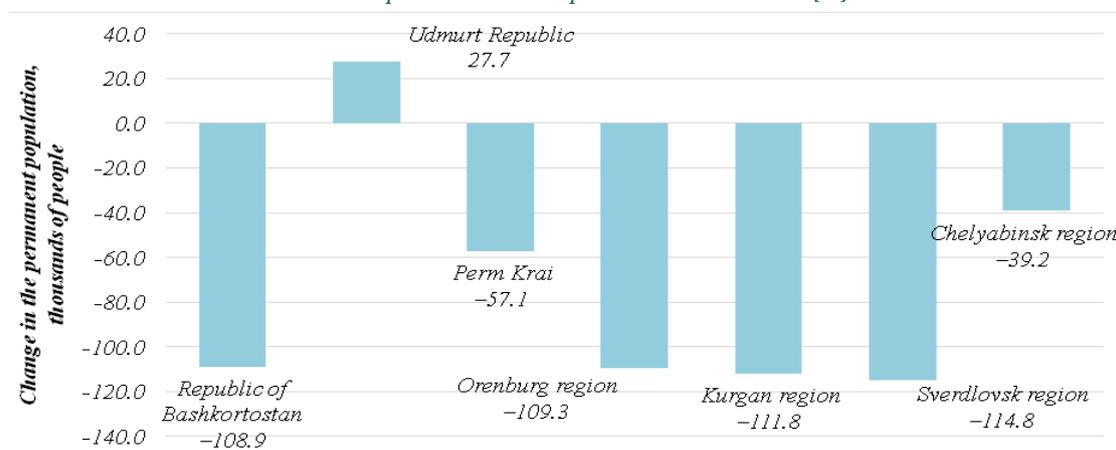


Fig. 1. Change in the rural population in the Ural macroregion from 2008 to 2024, in thousands of people Source: calculated by the authors based on data [14]

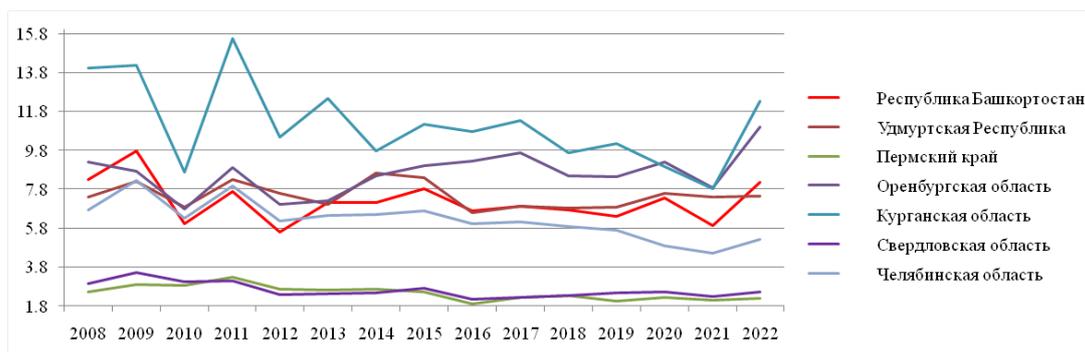


Рис. 2. Изменение доли агропромышленного производства в структуре ВРП субъектов Уральского макрорегиона за 2008–2022 гг., %
Источник: рассчитано авторами на основе данных [14]

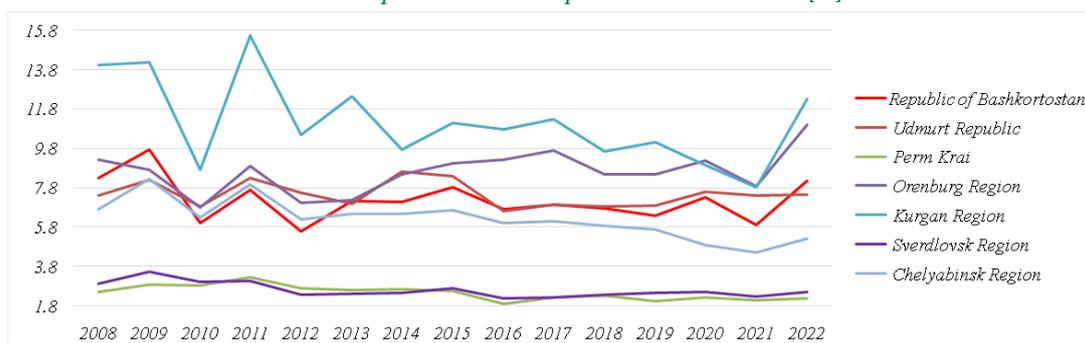


Fig. 2. Change in the share of agro-industrial production in the GRP structure of the Ural macroregion in 2008–2022, %
Source: calculated by the authors based on data [14]

Посттрансформационный период, общесистемные миграционные процессы и тенденции депопуляции аграрного населения по настоящее время оказывают негативное влияние на состояние резильентности сельских территорий анализируемых регионов. На рис. 1 приведены данные об изменении численности сельского населения за 2008–2024 годы.

Содержание рис. 1 иллюстрирует неоднозначную динамику. На фоне увеличения численности аграрного населения Удмуртской Республики остальные регионы показали абсолютное снижение количества сельских жителей за последние 15 лет. При этом сокращение численности наблюдалось как в высокоиндустриализированных Пермском крае, Свердловской и Челябинской областях, так и в промышленно развитой Республике Башкортостан с ее существенно значимой агропромышленной составляющей в структуре региональной экономики, а также в более аграрно ориентированных Курганской и Оренбургской областях. Следует отметить, что наиболее тревожная ситуация наблюдается у Курганской области, где снижение численности сельского населения за рассматриваемый период составило порядка 12 % от общей численности населения региона на начало исследуемого периода. По нашему мнению, такой отрицательной динамике численности аграрных жителей в Курганской области наряду с общесистемными факторами и тенденциями способствовал низкий уровень индустриализации региональной экономики относительно дру-

гих субъектов Уральского макрорегиона. По данному показателю более благоприятную ситуацию у других регионов можно в определенной степени объяснить так называемой «встречной» миграцией, когда жители городов за счет реализации программ коттеджного строительства и дорожного строительства переезжают на постоянное жительство в сельскую местность, сохраняя при этом прежнее место экономической деятельности. В то же время нельзя не отметить системность реализации земельной и экономической политики в Удмуртской Республике, где наряду с устойчивым функционированием индустриального ядра региональная поддержка непосредственных аграрных товаропроизводителей не только позволила обеспечить достойный уровень их жизненного благополучия, но и обеспечила экспансию местной продовольственной продукции в соседние территории.

Исследовательский интерес вызывает динамика изменения доли агропромышленного производства в структуре ВРП с позиции резильентности сельских территорий (рис. 2).

Рис. 2 демонстрирует относительно стабильную долю агропромышленного производства в структуре ВРП у Свердловской области и Пермского края. У Челябинской области прослеживается динамика незначительного снижения данного показателя. Таким образом, можно судить, что на структуре экономики регионов с преобладающей индустриальной специализацией наблюдаемые в последние годы общесистемные решения по поддержке отраслей

АПК отразились в меньшей степени. Государственные меры в области обеспечения продовольственной безопасности и защиты аграриев позволили начиная с периода резкого обострения геополитического противостояния в 2014 году увеличить долю агропромышленного производства в структуре ВРП Оренбургской области. В свою очередь, Республика Башкортостан и Удмуртская Республика показали большую стабильность, в том числе за счет роста промышленного производства. А Курганская область продемонстрировала резкое снижение доли, в том числе за счет увеличения спроса на продукцию так называемого двойного назначения.

Сельскохозяйственную специализацию регионов отражает структура сельскохозяйственных угодий субъектов Уральского макрорегиона (рис. 3).

Несомненно, на структуру сельскохозяйственных угодий субъектов Уральского макрорегиона (практически не меняющуюся в рассматриваемом периоде) оказывают воздействия фактор специализации АПК, в том числе ориентированность на животноводство или растениеводство, а также фактор приверженности традиционному укладу жизнедеятельности у сельского населения.

В задачах исследования считаем важным отразить существенные изменения площади сельскохозяйственных угодий в субъектах Уральского макрорегиона за последние 15 лет (рис. 4).

Как мы видим из рис. 4, за исключением Курганской области, в регионах наблюдалось существенное выбытие из оборота сельскохозяйственных угодий. Антилидер среди субъектов Уральского макрорегиона по данному показателю – Республика Башкортостан (133,6 тыс. га). В этой связи выглядит парадоксальной ситуация в Курганской области, где при снижении структурной составляющей аграрного производства в ВРП наблюдается одновременное увеличение объема сельскохозяйственных угодий при наименьшей отдаче агропромышленного производства с 1 га сельскохозяйственных угодий (рис. 5).

Содержание рис. 5 раскрывает тенденцию более эффективного пользования сельскохозяйственными угодьями в экономически развитых регионах с высокой долей индустриализации. В нашем случае это Свердловская и Челябинская области, Удмуртская Республика и Республика Башкортостан. Несколько худший результат показывает Пермский край, а в числе аутсайдеров находятся аграрные Оренбургская и Курганская области. Можно предположить, что одной из основ эффективной отдачи сельскохозяйственных угодий является качество регулирования земельных отношений в регионе. При этом регулирование земельных отношений более отлажено в индустриальных регионах, где опирается на организационно-административные ресурсы и хозяйственные интересы промышленных и строительных флагманов экономики.

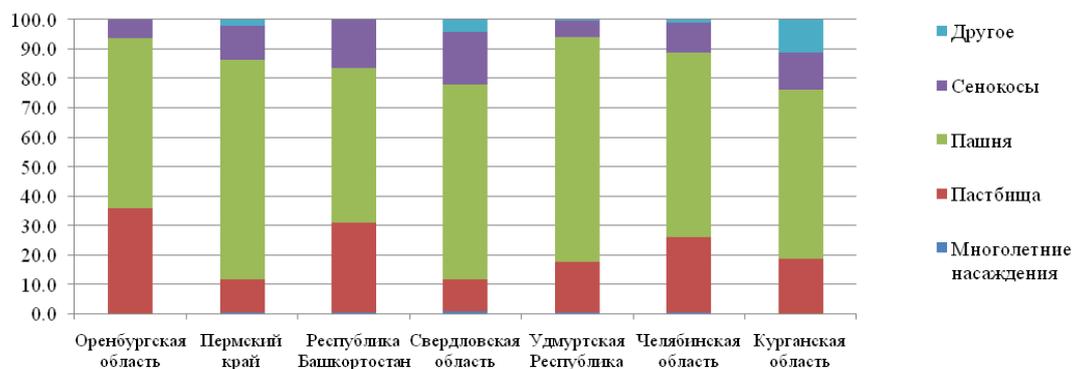


Рис. 3. Структура сельскохозяйственных угодий субъектов Уральского макрорегиона по состоянию на 2024 год, %
Источник: рассчитано авторами на основе данных [14]

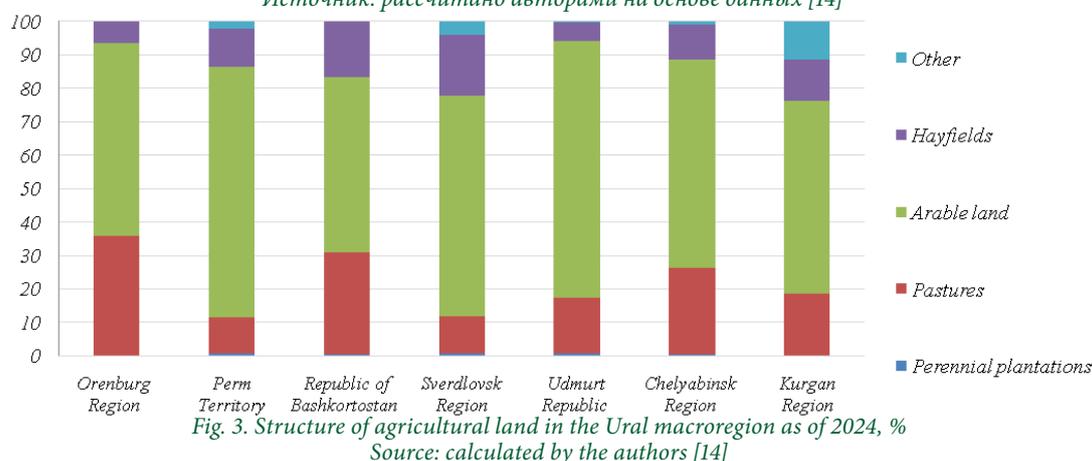


Fig. 3. Structure of agricultural land in the Ural macroregion as of 2024, %
Source: calculated by the authors [14]

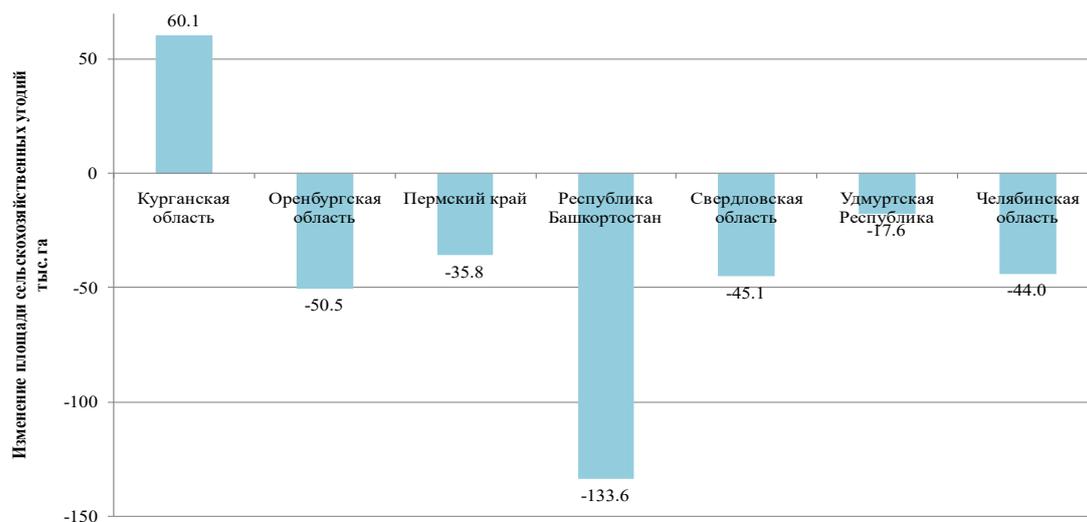


Рис. 4. Изменение площади сельскохозяйственных угодий субъектов Уральского макрорегиона за 2008–2024 гг., тыс. га
Источник: рассчитано авторами на основе данных [14]

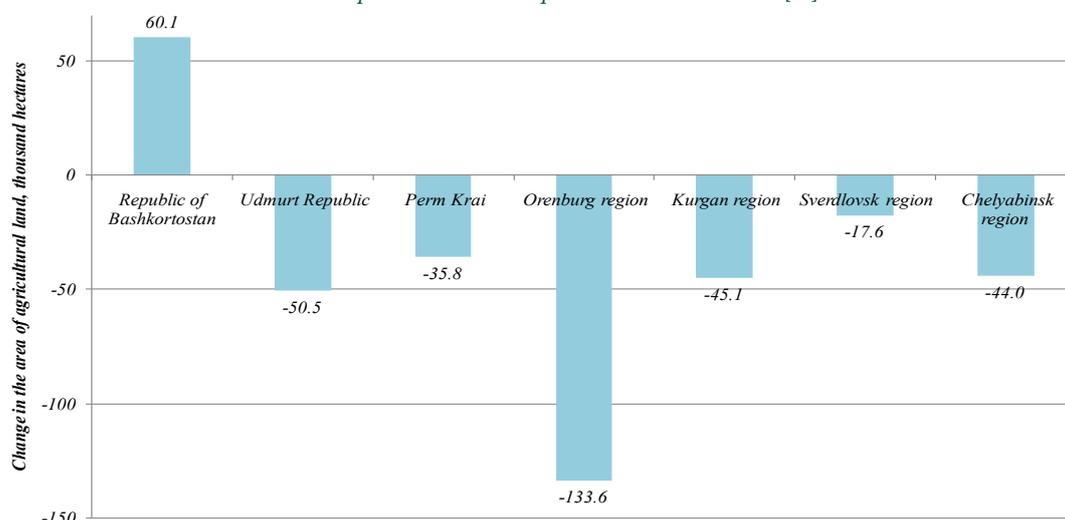


Fig. 4. Change in the area of agricultural land in the Ural macroregion in 2008–2024, thousand hectares
Source: calculated by the authors based on data [14]

Таким образом, проведенный анализ данных регионов с разнонаправленной экономической специализацией (что позволяет претендовать на системность авторских заключений) позволяет сделать вывод о том, что на эффективность оборота сельскохозяйственных угодий и устойчивость агропромышленного производства самое непосредственное благоприятное влияние оказывают качество регулирования земельных отношений, которое, как правило, выше в высокоиндустриализированных и промышленно развитых субъектах Российской Федерации ввиду восприимчивости к технологическим новшествам в землепользовании, а также наличие комплекса факторов отраслевой производительности как катализатора экономического роста и социальной синергии региональных процессов общественного воспроизводства.

Естественно, что примененный подход, основанный на простейших методах сравнительного анализа рядов динамики и в контексте задействи-

ванной статистической информации, не позволяет сформулировать полноценные и исчерпывающие выводы о качественном содержании процессов регулирования земельных отношений в регионах страны и точно оценить их влияние на укрепление жизнестойкости сельских территорий. Свои последующие исследования мы посвятим данному аспекту. В то же время осуществленный нами анализ позволяет обратить внимание на неблагоприятные тенденции в обороте земель сельскохозяйственного назначения (в частности, сельскохозяйственных угодий), несущие угрозу резильентности сельских территорий Уральского макрорегиона.

С учетом изложенного, опираясь на научные источники [15] и руководствуясь собственными убеждениями авторов, можно, помимо проблематики нерационального использования и незадействования сельскохозяйственных угодий, снижения плодородия и деградации почв, отрицательных демографических тенденций, отметить также факторы не-

гитивного влияния земельных отношений на резильентность сельских территорий: несовершенство земельного законодательства, наличие разночтений в толковании законодательных норм и отсутствие системности правоприменительной практики.

Для обеспечения резильентности сельских территорий регионов Российской Федерации и повышения эффективности землепользования мы считаем необходимым:

- совершенствовать механизмы государственного регулирования рынка земель сельскохозяйственного назначения и осуществления институционального контроля их оборота на национальном, региональном и муниципальном уровнях, в том числе посредством перераспределения полномочий с учетом экономической специализации субъекта страны, местной специфики традиционного уклада жизни аграрного населения;

- устранить разночтения в данных Росреестра, Росстата и Минсельхоза РФ об объемах сельскохозяйственных угодий посредством выработки и принятия единого методического подхода к наблюдению;

- активизировать инструменты вовлечения в оборот ранее выбывших земель сельскохозяйственного назначения и невостребованных (в результате реорганизации созданных в эпоху СССР агропромышленных предприятий) сельскохозяйственных угодий [16];

- интенсифицировать проведение культуртехнических работ и мелиоративных мероприятий, повышающих плодородие и предотвращающих деградацию почв [17], а также восстанавливающих их естественное плодородие [18] с привлечением бюджетных инвестиций;

- повышать пользовательские навыки специалистов в области регулирования земельных отношений в применении цифровых средств и современных технологий анализа, мониторинга и контроля землепользования [19].

В качестве рекомендаций, направленных на решение выявленных в результате проведенного анализа специфических проблем субъектов Уральского макрорегиона, считаем возможным назвать:

- формирование условий для продвижения элементов рыночного регулирования оборота земель на основе консолидации социально-экономических, организационно-административных и нормативных методов управления сельскими территориями (в первую очередь для аграрно ориентированных регионов);

- активное применение инструментов перераспределения сельскохозяйственных угодий между эффективными и неэффективными пользователями на основе норм принудительного изъятия и дополнительного налогового обложения неиспользуемых собственниками участков (прежде всего для высокоиндустриализированных и промышленно развитых регионов);

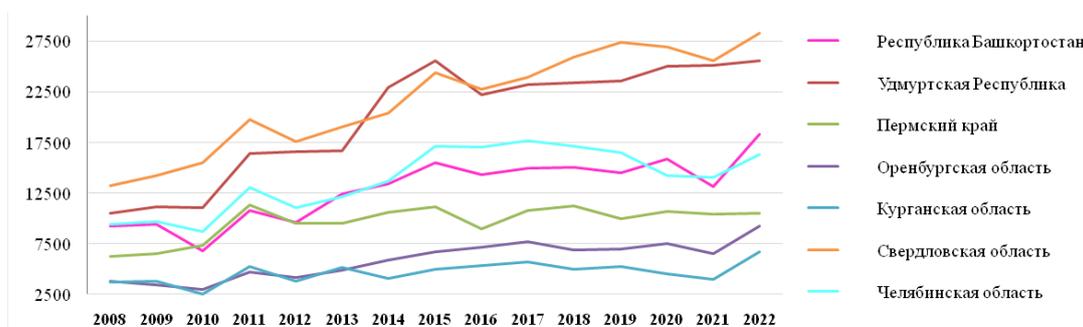


Рис. 5. Динамика отношения объема агропромышленного производства к площади сельскохозяйственных угодий в субъектах Уральского макрорегиона за 2008–2022 гг., руб. на 1 га
Источник: рассчитано авторами на основе данных [14].

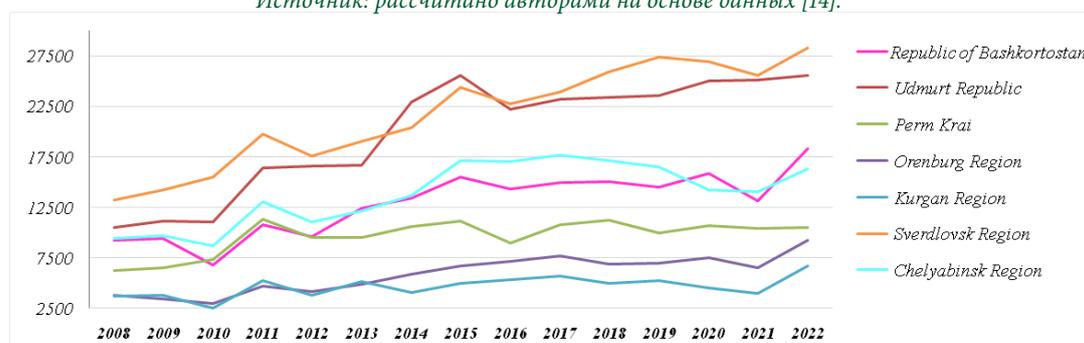


Fig. 5. Dynamics of the ratio of agricultural production volume to the area of agricultural land in the subjects of the Ural macroregion for 2008–2022, rubles per 1 ha
Source: calculated by the authors based on data from [14]

– развитие практики заключения договоров безвозмездного пользования или долгосрочной аренды земельных угодий на льготной основе и с использованием иных мотивационных стимулов с учетом задач пространственного развития и обеспечения продовольственной безопасности регионов (для высокоиндустриализированных и промышленно развитых регионов);

– повышение качества институционального сопровождения землепользования, зонирования, ведения цифрового кадастрового учета, организации межведомственного мониторинга состояния (для аграрно ориентированных регионов);

– привлечение на постоянной основе представителей академической науки, вузов, функционирующих на территории региона, иной научной общественности для выработки научно обоснованных решений, теоретического и методологического обоснования процессов обеспечения жизнестойкости сельских территорий (для всех регионов).

Результативная реализация данных предложений на практике обуславливает необходимость учета и согласования интересов всех акторов земельных отношений в сельских территориях регионов Уральского макрорегиона и страны в целом с соответствующим их закреплением в нормативном поле, отражением в доктрине обеспечения продовольственного суверенитета, стратегиях развития агропромышленной деятельности и пространственного развития, программах устойчивого развития сельских территорий, в том числе за счет выработки решений, удовлетворяющих интересы государства, аграрного бизнеса и сельского населения в сохранении сельскохозяйственных угодий.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Переходя к обсуждению общесистемных закономерностей оборота сельскохозяйственных угодий, хотелось бы отметить, что по результатам исследования мы разделяем научное мнение в части того, что трансформация земельных отношений по настоящее время не обеспечила полноценных условий для рационального использования земельных ресурсов в агропроизводстве и обострила проблему неиспользуемых земель [20]. В этом мы также солидарны с позициями авторов, представленными нами при постановке проблемы настоящей статьи.

Популярная в настоящее время тематика «зеленого перехода», как отмечают К. Шнайдер, А. Кампос, Р. Каватасси и Б. Дэвис, проявляется в появлении сомнений в правильности ориентации на рост аграрного производства из-за растущего антропогенного воздействия на окружающую среду, включая деградацию земель сельскохозяйственного назначения, снижения плодородия почв и глобального изменения климата. В то же время, как отмечают эти исследователи, появляются новые возможности и формируется спрос на формирование более

устойчивых интегрированных агропродовольственных систем, повышение производительности труда в сельскохозяйственном производстве, развитие биоэкономики и структурную трансформацию сельских территорий [21]. Затронутая нами проблематика сохранения сельскохозяйственных угодий как фактора резильентности сельских территорий в определенной степени развивает и дополняет данное направление научного поиска.

В этом же ключе заслуживают внимания выводы И. С. Гагиной о перспективах агропромышленной специализации субъектов Российской Федерации, в которых доля земли сельскохозяйственного назначения (как пространственного базиса укрепления конкурентного позиционирования в окружающем пространстве) в структуре земельного фонда превышает 50 % [22]. Данная позиция была учтена нами при анализе соответствующих показателей субъектов Уральского макрорегиона.

Следует отметить, что у отечественных экономистов, исследующих воспроизводственные процессы в российской аграрной экономике, просматривается позиция, аналогичная взглядам современных зарубежных ученых. Так, А. Е. Шамин, Н. Е. Ребяткина и Т. Ю. Борисова уделяют пристальное внимание вопросам сохранения и приумножения продуктивных свойств сельскохозяйственных угодий на основе природоулучшающего ведения аграрной деятельности с учетом воздействий организационно-экономических, технологических, социально-демографических, природно-климатических и геополитических факторов [23].

Проявляя солидарность с подобным мнением представителей научного сообщества, мы считаем оправданным рассматривать эффективность агропромышленной деятельности в ракурсе следования принципам устойчивого развития и вне отрыва от других многогранных процессов, происходящих в сельских территориях, включая социальные, институциональные и экологические аспекты общественной стабильности и жизнестойкости, то есть принципов, определяющих закономерности пространственного развития на стратегическую перспективу и лежащих в основе резильентности сельских территорий с учетом фактора сохранения сельскохозяйственных угодий.

При формировании перечня мер, необходимых для сохранения сельскохозяйственных угодий, мы опирались на выводы ученых о том, что совершенствование регулирования земельных ресурсов активизирует научную деятельность законодательной и исполнительной власти, отраслевых НИИ и учреждений РАН, вузов, НКО и широкой общественности в области направления настоящего исследования [24].

При совпадении большинства полученных в процессе работы над настоящей статьей результатов с выводами отечественных и зарубежных

авторов хотелось бы отметить оригинальность представленного нами взгляда на факторы резильентности через призму земельных отношений, а также вывода о том, что качество регулирования земельных отношений и эффективность оборота сельскохозяйственных угодий выше в промышленно развитых регионах благодаря восприимчивости к инновациям, что может представлять интерес для научной дискуссии, вносящей новые аспекты в устоявшиеся точки зрения.

Ввиду лимитированного объема настоящей статьи в последующих работах мы предполагаем более детально остановиться на вопросах корреляции экономической специализации регионов и эффективности использования ими сельскохозяйственных угодий в аспектах пространственного развития Российской

Федерации, в частности, в вопросах преодоления сложившейся дифференциации субъектов страны и выработки опережающих решений, обеспечивающих жизнестойкость сельских территорий в условиях воздействий внешних факторов неопределенности.

Практическая значимость достигнутых в ходе настоящего исследования результатов состоит в их потенциальной востребованности в управленческой деятельности органов государственной и муниципальной власти, отраслевого и корпоративного менеджмента, а также перспективном использовании в процессах повышения резильентности сельских территорий в рамках реализации стратегических направлений пространственного развития Российской Федерации и укрепления продовольственного суверенитета страны.

Библиографический список

1. Загидуллина К. Р., Ключниченко В. Н. Особенности учета земель сельскохозяйственного назначения в передовых зарубежных странах // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 7, № 1. С. 35–44.
2. Жуйков В. И., Софьина Е. В. Основные функционалы управления земельными ресурсами, влияющие на земельные отношения, на региональном уровне // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. Т. 1, № 12 (81). С. 45–52. DOI: 10.33938/21121-45.
3. Davis B., Campos A. P., Farrae M., Winters P. Whither the agricultural productivity-led model? Reconsidering resilient and inclusive rural transformation in the context of agrifood systems // Global Food Security. 2024. DOI: 10.1016/j.gfs.2024.100812 2024.
4. Butler A. S., O'Donoghue C., Styles D. Delivering more from land: a review of integrated land use modelling for sustainable food provision // Sustainability. 2024. No. 17 (1). Article number 56. DOI: 10.3390/su17010056.
5. Durach C. F., Simpson D., Wiengarten F., Wu Z. Beyond the yield: enhancing agricultural sustainability through operations management // Journal of Operations Management. 2025. No. 71 (4). Pp. 516–528. DOI: 10.1002/joom.1375.
6. Сизов А. П. Анализ сведений о балансе земель как метод формирования системы показателей пространственного развития территорий // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2020. Т. 64, № 6. С. 700–709. DOI: 10.30533/0536-101X-2020-64-6-700-709.
7. Полякова Л. П. Вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и их эффективное использование // Проблемы рыночной экономики. 2024. № 4. С. 33–47. DOI: 10.33051/2500-2325-2024-4-33-47.
8. Васькин В. Ф., Кузьмицкая А. А., Коростелева О. Н. Состояние и эффективность использование земель сельскохозяйственного назначения в России // Управленческий учет. 2021. Т. 11, № 3. С. 600–608. DOI: 10.25806/uu11-32021600-608.
9. Сагайдак А. Э., Сагайдак А. А. Рентные отношения и современные тенденции развития процесса консолидации земель в сельском хозяйстве // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. Материалы международной (заочной) научно-практической конференции. Нефтекамск, 2021. С. 26–62.
10. Арзамасцева Н. В., Прохорова Н. В., Хамидова Л. Л. Проблема достоверности и полноты информации о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 3. С. 119–128. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-3-119-128.
11. Мутовин С. И., Пыжев А. И. Об экономически рациональном способе использования зарастающих лесом земель сельскохозяйственного назначения // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Гуманитарные науки. 2022. Т. 15, № 12. С. 1902–1907. DOI: 10.17516/1997-1370-0961.
12. Тарбаев В. А., Янюк В. М., Липидина Г. О. Зонирование земель сельскохозяйственного назначения в системе управления земельными ресурсами. Саратов: ООО «Амирит», 2020. 142 с.
13. Калачева И. В., Комарова А. А., Никитина О. И., Федулова Е. А. Бюджетный эффект легализации земель сельскохозяйственного назначения // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2024. Т. 9, № 4 (34). С. 655–666. DOI: 10.21603/2500-3372-2024-9-4-655-666.
14. Федеральная государственная статистическая служба: официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 10.12.2025).

15. Жуйков В. И., Софьина Е. В., Шипунова М. В. Стратегические альтернативы пространственного развития сельскохозяйственного землепользования на территориях нечерноземной экономической зоны России. Москва – Киров – Ижевск: ООО «Издательство «Аверс», 2022. 172 с.

16. Сетуридзе Д. Э. Правовое обеспечение вовлечения в оборот неиспользуемых сельскохозяйственных угодий на примере муниципальных районов Пермского края. Пермь: Пермский институт Федеральной службы исполнения наказаний, 2022. 122 с.

17. Трофимова В. И. Вовлечение неиспользуемых земель в хозяйственный оборот аграрной сферы региона: институциональное регулирование и экономическая целесообразность // Вестник университета. 2024. № 8. С. 95–108. DOI: 10.26425/1816-4277-2024-8-95-108.

18. Барсукова Г. Н., Цораева Э. Н. Мониторинг и охрана земельных ресурсов. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2021. 128 с.

19. Чупина И. П., Зарубина Е. В., Симачкова Н. Н., Журавлева Л. А., Фатеева Н. Б. Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения: проблемы и перспективы совершенствования // International Agricultural Journal. 2023. Т. 66, № 4. С. 1250–1267. DOI: 10.55186/25876740_2023_7_4_15.

20. Сергеева Л. В., Борисова Т. Ю., Митин С. Г., Шамин А. Е. Совершенствование земельных отношений в аграрном секторе экономики. Княгинино: Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 2024. 232 с.

21. Schneider K. R., Cavatassi R., Campos A. P., Davis B. Resilient and inclusive rural transformation in sub-Saharan Africa under climate, demographic, and social change: challenges and opportunities for income growth and job creation // Global Food Security. 2024. Vol. 43. Article number 100815. DOI: 10.1016/j.gfs.2024.100815.

22. Гагина И. С. Взаимосвязь структуры земельного фонда макрорегионов с их экономическими специализациями в рамках реализации стратегии пространственного развития Российской Федерации // Вестник Московского университета МВД России. 2023. № 7. С. 227–236. DOI: 10.24412/2073-0454-2023-7-227-236.

23. Шамин А. Е., Ребяткина Н. Е., Борисова Т. Ю. Развитие воспроизводственных процессов и рынка сельскохозяйственных земель в аграрном секторе экономики. Княгинино: Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 2023. 284 с.

24. Заворотин Е. Ф. Модели и механизмы управления земельными ресурсами в сельском хозяйстве. Саратов: Саратовский источник, 2022. 178 с.

Об авторах:

Людмила Егоровна Красильникова, доктор экономических наук, профессор кафедры бухгалтерского учета и финансов, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-9725-9187, AuthorID 690793.

E-mail: krasilnikova@pgsha.ru

Анастасия Николаевна Бударина, кандидат филологических наук, доцент кафедры менеджмента и экономической теории, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0004-3256-1395, AuthorID 1256635. E-mail: budarina_an@mail.ru

Дмитрий Аркадьевич Баландин, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, Пермский филиал, Пермь, Россия; ORCID 0000-0002-7862-3617, AuthorID 752195. E-mail: balandin.da@uiiec.ru

References

1. Zagidullina K. R., Klyushnichenko V. N. Features of accounting for agricultural land in the leading foreign countries. *Inter Expo Geo-Siberia*. 2022; 7 (1): 35–44. (In Russ.)

2. Zhuykov V. I., Sofyina E. V. Basic land management functionals affecting land relationship at the regional level. *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2021; 12 (81): 45–52. DOI: 10.33938/21121-45. (In Russ.)

3. Davis B., Campos A. P., Farrae M., Winters P. Whither the agricultural productivity-led model? Reconsidering resilient and inclusive rural transformation in the context of agrifood systems. *Global Food Security*. 2024. DOI: 10.1016/j.gfs.2024.100812 2024.

4. Butler A. S., O'Donoghue C., Styles D. Delivering more from land: a review of integrated land use modeling for sustainable food provision. *Sustainability*. 2024; 17 (1): 56. DOI: 10.3390/su17010056.

5. Durach C. F., Simpson D., Wiengarten F., Wu Z. Beyond the yield: enhancing agricultural sustainability through operations management. *Journal of Operations Management*. 2025; 71 (4): 516–528. DOI: 10.1002/joom.1375.

6. Sizov A. P. Analysis of information about the land balance as a method for forming a system of indicators of spatial development of territories. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2020; 64 (6): 700–709. DOI: 10.30533/0536-101X-2020-64-6-700-709. (In Russ.)

7. Polyakova L. P. Involvement in the turnover of agricultural lands and their effective use. *Market Economy Problems*. 2024; 4: 33–47. DOI: 10.33051/2500-2325-2024-4-33-47. (In Russ.)

8. Vas'kin V. F., Kuzmitskaya A. A., Korosteleva O. N. State and efficiency use of agricultural lands in Russia. *Management Accounting*. 2021; 11 (3): 600–608. DOI: 10.25806/uu11-32021600-608. (In Russ.)
9. Sagaydak A. E., Sagaydak A. A. Rent relations and modern trends in the development of land consolidation in agriculture. *Modern science: current problems and ways to solve them: proceedings of the international (correspondence) scientific and practical conference*. Neftekamsk, 2021. Pp. 26–62. (In Russ.)
10. Arzamastseva N. V., Prokhorova N. V., Khamidova L. L. Problem of the accuracy and completeness of information on the status and use of agricultural lands. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021; 3: 119–128. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-3-119-128. (In Russ.)
11. Mutovin S. I., Pyzhev A. I. On an economically rational way to use agricultural land overgrown with forests. *Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences*. 2022; 15 (12): 1902–1907. DOI: 10.17516/1997-1370-0961. (In Russ.)
12. Tarbaev V. A., Yanyuk V. M., Lipidina G. O. Zoning of agricultural lands in the land resources management system. Saratov: Amirit LLC, 2020. 142 p. (In Russ.)
13. Kalacheva I. V., Komarova A. A., Nikitina O. I., Fedulova E. A. Effect of legalization of agricultural land plots on regional budget. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Political, sociological and economic sciences*. 2024; 4 (34): 655–666. DOI: 10.21603/2500-3372-2024-9-4-655-666. (In Russ.)
14. *Federal State Statistical Service: official website* [Internet] [cited 2025 Dec 10]. Available from: <http://www.gks.ru>. (In Russ.)
15. Zhuykov V. I., Sof'ina E. V., Shipunova M. V. *Strategic alternatives for the spatial development of agricultural land use in the territories of the non-chernozem economic zone of Russia*. Moscow – Kirov – Izhevsk: Avers, 2022. 172 p. (In Russ.)
16. Seturidze D. E. *Legal support for the involvement of unused agricultural land in circulation: the example of municipal districts of the Perm region*. Perm: Perm Institute of the Federal Penitentiary Service, 2022. 122 p. (In Russ.)
17. Trofimova V. I. Involving unused land in the economic turnover of the agricultural sector of a region: institutional regulation and economic feasibility. *Vestnik Universiteta*. 2024; 8: 95–108. DOI: 10.26425/1816-4277-2024-8-95-108. (In Russ.)
18. Barsukova G. N., Tsoraeva E. N. *Monitoring and protection of land resources*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, 2021. 128 p. (In Russ.)
19. Chupina I. P., Zarubina E. V., Simachkova N. N., Zhuravleva L. A., Fateeva N. B. Monitoring of agricultural lands: problems and prospects for improvement. *International Agricultural Journal*. 2023; 66 (4): 1250–1267. DOI: 10.55186/25876740_2023_7_4_15. (In Russ.)
20. Sergeeva L. V., Borisova T. Yu., Mitin S. G., Shamin A. E. *Improving land relations in the agricultural sector of the economy*. Knyaginino: Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, 2024. 232 p. (In Russ.)
21. Schneider K. R., Cavatassi R., Campos A. P., Davis B. Resilient and inclusive rural transformation in sub-Saharan Africa under climate, demographic, and social change: Challenges and opportunities for income growth and job creation. *Global Food Security*. 2024; 43: 100815. DOI: 10.1016/j.gfs.2024.100815.
22. Gagina I. S. Relationship of the structure of the land fund of macroregions with their economic specializations within the framework of implementing the strategy of spatial development of the Russian Federation. *Bulletin of the Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia*. 2023; 7: 227–236. DOI: 10.24412/2073-0454-2023-7-227-236. (In Russ.)
23. Shamin A. E., Rebyatkina N. E., Borisova T. Yu. *Development of reproduction processes and the agricultural land market in the agricultural sector of the economy*. Knyaginino: Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, 2023. 284 p. (In Russ.)
24. Zavorotin E. F. *Models and mechanisms for land resource management in agriculture*. Saratov: Saratovskiy Istochnik, 2022. 178 p. (In Russ.)

Authors' information:

Lyudmila E. Krasilnikova, doctor of economic sciences, professor of accounting and finances department, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-9725-9187, AuthorID 690793. *E-mail*: krasilnikova@pgsha.ru

Anastasiya N. Budarina, candidate of philological sciences, associate professor of the department of management and economic theory, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0004-3256-1395, AuthorID 1256635. *E-mail*: budarina_an@mail.ru

Dmitriy A. Balandin, candidate of economic sciences, senior researcher, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm branch, Perm, Russia; ORCID 0000-0002-7862-3617, AuthorID 752195. *E-mail*: balandin.da@utec.ru

Совершенствование межрегиональных продовольственных связей регионов Поволжья

Ю. Г. Полулях, Д. В. Сердобинцев, Л. Ю. Ададимова, Е. А. Алешина[✉]

Поволжский научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия

[✉]E-mail: aleshina-80@mail.ru

Аннотация. В настоящее время развитие экономики нашей страны происходит в условиях агрессивного и непрогнозируемого изменения внешней среды, что актуализирует проблему обоснования направлений преобразования агропродовольственных систем. **Целью** исследования являлся анализ современного состояния межрегиональных продовольственных связей в Российской Федерации (особенно в Приволжском федеральном округе и Поволжском экономическом районе), степени участия в них агропродовольственного комплекса Саратовской области и разработка на этой основе теоретических положений и практических рекомендаций по их совершенствованию для обеспечения ускоренного инновационно-технологического развития региона при удовлетворении потребностей населения в разнообразных и качественных продуктах питания. Применялись общенаучные **методы** исследования экономических проблем развития АПК, в том числе в области конкурентоспособности (на базе теории конкурентного преимущества М. Портера), а также методы сопоставлений, синтеза относительных показателей. Главные **результаты** проведенного исследования: оптимизация межрегиональных продовольственных связей с соблюдением суверенитета каждого региона в основных отраслях аграрного производства, в том числе на основе участия (соучастия) в формировании и развитии специализированных высокотехнологичных зон производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции; достижение компромисса между двумя взаимосвязанными процессами – созданием специализированных высокотехнологичных зон и вывозом значительной части продукции за пределы региона; разработка инструментов развития межрегиональных продовольственных связей с целью обеспечения сбалансированного продовольственного снабжения населения регионов. **Научная новизна** исследования состоит в теоретическом обосновании и разработке механизма сближения уровней развития аграрного сектора экономики различных регионов страны, прежде всего Поволжского экономического района, в том числе Саратовской области; в предложении механизма определения конкурентных преимуществ и конкурентоспособности отраслей и регионов Поволжского экономического района; в создании модели анализа, регулирования и оптимизации объемов реализации аграрной продукции сельскохозяйственными организациями субъектам перерабатывающей промышленности.

Ключевые слова: продовольствие, душевое потребление, региональная самообеспеченность, дефицит, профицит, регион-донор, регион-реципиент, ресурсы-балансы, механизмы выравнивания, модель оптимизации

Для цитирования: Полулях Ю. Г., Сердобинцев Д. В., Ададимова Л. Ю., Алешина Е. А. Совершенствование межрегиональных продовольственных связей Поволжья в условиях формирования специализированных высокотехнологичных зон // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 366–380. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-366-380>.

Дата поступления статьи: 26.11.2025, **дата рецензирования:** 15.12.2025, **дата принятия:** 24.12.2025.

Improvement of inter-regional food relations in the Volga region

Yu. G. Polulyakh, D. V. Serdobintsev, L. Yu. Adadimova, E. A. Aleshina✉

Povolzhskiy Scientific Research Institute of Economic and Organization of Agroindustrial Complex – Subdivision of the Federal Research Centre “Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences”, Saratov, Russia

✉E-mail: aleshina-80@mail.ru

Abstract. At present, the development of our country’s economy is taking place under conditions of aggressive and unforeseeable changes in the external environment, which raises the problem of justifying the directions of transformation of agro-food systems. **The purpose** of the study was to analyze the current state of interregional food relations in the Russian Federation, especially in the Volga Federal District and the Volga Economic Region, the extent of participation in them of the agro-food complex of Saratov region and development on this basis of theoretical provisions and practical recommendations for their improvement with a view to ensuring accelerated innovation-technological development of the region while meeting the population’s needs for diverse and quality food products. Common scientific **methods** were used to study economic problems of development of the agro-industrial complex, including in the field of competitiveness (based on the theory of competitive advantage M. Porter), as well as methods of comparisons and synthesis of relative indicators. Main **results** of the study: optimization of inter-regional food relations with respect for the sovereignty of each region in the main agricultural production sectors, including on the basis of participation (co-participation) in the formation and development of specialized high-technology zones for the production of selected agricultural products; Achieving a compromise between two interrelated processes – the establishment of specialized high-technology zones and the export of a large part of products outside the region; development of tools for developing interregional food relations in order to ensure a balanced food supply for the population of the regions. **The scientific novelty** of research consists in theoretical substantiation and development of a mechanism for convergence of levels of development of the agricultural sector of the various regions of the country and, above all, the Volga Economic Region and including the Saratov region; proposal of a mechanism for determining competitive advantages and competitiveness of industries and regions of the Volga Economic Region; creation of an analysis model, regulation and optimization of sales volumes of agricultural products by agricultural organizations to the processing industry.

Keywords: food, per capita consumption, regional self-sufficiency, deficit, surplus, region-donor, region-recipient, resources-balances, equalization mechanisms, optimization model

For citation: Polulyakh Yu. G., Serdobintsev D. V., Adadimova L. Yu., Aleshina E. A. Improving interregional food relations in the Volga region in the context of the formation of specialized high-tech zones. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 366–380. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-366-380>. (In Russ.)

Date of paper submission: 26.11.2025, **date of review:** 15.12.2025, **date of acceptance:** 24.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Важным обстоятельством, послужившим аргументом в пользу проведения данного исследования, явилось сотрудничество регионов в области сельского хозяйства, сформировавшееся еще в конце 1990-х годов как способ преодоления политики региональной самообеспеченности [1–4]. Межрегиональные контакты в области сельского хозяйства в стране, в частности в Поволжье, имеют давнюю историю, однако в настоящий момент обострилась проблема организации межрегиональных продовольственных связей с целью выравнивания продуктовой обеспеченности, что определяет актуальность и своевременность исследования. Необходимость его проведения подтверждается весьма суще-

ственной дифференциацией значений показателя «уровень самообеспечения потребностей субъектов РФ в основных видах продуктов питания» [5] (таблица 1).

Исследование потребовало применения ряда эксклюзивных методических приемов и информационных ресурсов. В частности, межрегиональные продовольственные связи сложно представить без использования геоинформационных систем и технологий (ГИС). В основе семантики должны лежать рыночные отношения и прежде всего конкурентоспособность и конкурентные преимущества отраслей, продуктов и регионов. Регулирование межрегиональных и межотраслевых связей нуждается в применении когнитивного моделирования и приемов искусственного интеллекта.

Таблица 1

Уровень самообеспечения субъектов Поволжского экономического района в 2023 г., %

ЭКОНОМИКА

Основные продукты питания	Норма потребления (кг/год/чел)	Республика Калмыкия	Республика Татарстан	Астраханская область	Волгоградская область	Пензенская область	Самарская область	Саратовская область	Ульяновская область	Всего по Поволжью	из них: 5 регионов ПФО	3 региона ЮФО
Численность населения, тыс. чел.		266,8	4 003,0	946,4	2 453,9	1 236,1	3 128	2 385,2	1 172,8	15 592	11 924,9	3 667,1
Зерно	96	210,9	91,9	74,3	316,5	213,3	182,6	376,8	259,8	215,8	224,9	200,6
Мясо	73	158,8	104,0	45,0	75,6	342,9	42,6	69,3	54,9	111,6	122,7	93,1
Молоко	325	57,7	127,8	84,9	107,5	117,8	56,9	107,5	71,1	91,4	96,2	83,4
Яйца	260	18,2	110,2	163,1	99,3	74,8	12,7	129,9	66,2	84,3	78,8	93,5
Картофель	90	13,1	95,0	236,9	66,7	109,8	68,9	58,0	95,8	93,0	85,5	105,6
Овощи и бахчевые	140	41,7	69,2	616,3	258,0	87,9	77,6	106,3	88,1	168,1	85,8	305,3
Фрукты и ягоды	100	5,9	24,1	26,2	65,2	33,1	41,6	49,9	37,5	35,4	37,2	32,4

Примечание. Рассчитано по данным [9]. Источник по нормативам потребления: [5].

Table 1

Level of self-sufficiency of the entities of the Volga Economic Region in 2023, %

Staple foods	Rate of consumption (kg/year/person)	Republic of Kalmykia	Republic of Tatarstan	Astrakhan region	Volgograd region	Penza region	Samara region	Saratov region	Ulyanovsk region	All in the Volga region	of which: 5 regions of the Volga Federal District	3 regions of the Southern Federal District
Population, thousands of people		266.8	4003.0	946.4	2 453.9	1 236.1	3 128	2 385.2	1 172.8	15 592	11 924.9	3 667.1
Grain	96	210.9	91.9	74.3	316.5	213.3	182.6	376.8	259.8	215.8	224.9	200.6
Meat	73	158.8	104.0	45.0	75.6	342.9	42.6	69.3	54.9	111.6	122.7	93.1
Milk	325	57.7	127.8	84.9	107.5	117.8	56.9	107.5	71.1	91.4	96.2	83.4
Eggs	260	18.2	110.2	163.1	99.3	74.8	12.7	129.9	66.2	84.3	78.8	93.5
Potato	90	13.1	95.0	236.9	66.7	109.8	68.9	58.0	95.8	93.0	85.5	105.6
Vegetables and melons	140	41.7	69.2	616.3	258.0	87.9	77.6	106.3	88.1	168.1	85.8	305.3
Fruits and berries	100	5.9	24.1	26.2	65.2	33.1	41.6	49.9	37.5	35.4	37.2	32.4

Note. Calculated according to [9]. Source on consumption norms: [5].

Анализ данных по уровню самообеспеченности населения субъектов Поволжского экономического района, т. е. за счет собственного производства основных видов сельскохозяйственной продукции (таблица 1), показывает, что сельское хозяйство не всех регионов и не по всем основным продуктам питания гарантирует 100-процентный уровень удовлетворения потребностей жителей, хотя при этом имеет место *перепроизводство* (условно) некоторых видов продукции в отдельных регионах. Таким образом, нет ни одного субъекта РФ (из восьми) с полным самообеспечением всеми видами продуктов питания, приведенных в таблице 1, от-

сутствуют и регионы с полным *необеспечением* по всем видам продукции. При этом имеется один вид продукции, которым полностью *не обеспечен* ни один регион, – это «фрукты и ягоды», по которым максимальную обеспеченность (лишь 65,2 %) имеет Волгоградская область.

Методология и методы исследования (Methods)

Поскольку относительных показателей обеспеченности регионов продовольствием (то есть уровня самообеспеченности) для выполнения исследований недостаточно, а имеющиеся показатели производства и потребления, представленные в балансовых таблицах, несопоставимы с расчетными уровнями

обеспеченности, целесообразно применить *метод синтеза относительных показателей* с использованием показателя численности населения [7] и норм потребления продуктов питания [5]. Для этого необходимо выполнить специальную процедуру с целью раскрытия информации, по которой можно рассчитать приведенные в продуктовых (по каждому виду) статистических таблицах уровни самообеспечения. С этой целью обратимся к информации о численности населения РФ в 2023 году и официально установленным нормативам потребления продуктов питания, что позволит восстановить (синтезировать) совокупные потребности населения и объемы производства, а затем сопоставить их, рассчитать дефициты (недостаток) и профициты (избыток) продуктов питания, разделить регионы на реципиентов и доноров.

Все это позволяет заложить основы для формирования механизма распределения избытков продуктов питания, производимых в отдельных регионах, способных стать донорами для регионов с недостатками собственных объемов производства (реципиентов). Понятно, что под механизмом понимается не физическое перемещение из одних регионов в другие, а посредством купли-продажи на межрегиональных торговых площадках или другим способом. Каналы реализации аграрной продукции достаточно подробно представлены в статистической форме «Реализация сельскохозяйственной продукции сельскохозяйственными организациями, не относящимися к субъектам малого предпринимательства, по каналам сбыта» [8; 9]. Необходимо отметить, что распределять таким образом можно исключительно продукцию, произведенную сельскохозяйственными организациями, т. е. распределение на самом деле неполное, но достаточное для использования на начальном этапе, поскольку доля малого бизнеса, во-первых, крайне мала, а во-вторых, там уже функционируют вполне рыночные отношения, к которым нужно приближаться и сельхозорганизациям.

Процесс формирования территориально-отраслевых (межрегиональных) продовольственных связей начинается с доработки имеющейся статистической информации в вышеназванной таблице [8; 9], в которой представлены семь каналов реализации: перерабатывающим предприятиям и организациям оптовой торговли на рынке по бартерным сделкам, в т. ч. перерабатывающим организациям и организациям оптовой торговли по бартерным сделкам; на рынке; потребкооперации; населению; за пределы субъекта РФ, в т. ч. за пределы РФ. Информация представлена по показателям количества реализованной продукции (количество, тонн) и полученной выручки (выручено, млн руб.). Для практического использования ее необходимо доработать, чтобы выяснить, какую долю в общем объеме реализации занимает данный рынок (канал сбыта), а также какова цена реализации продукции на этом рынке. По

полученным ценам можно рассчитать весьма важные показатели: конкурентоспособность продукции данного (каждого) региона и его конкурентные преимущества перед другими регионами.

Для получения иных необходимых для исследования выводов следует сопоставить цены и конкурентные преимущества всех регионов на всех рынках (каналах реализации), выбрать из них два – с минимальными ценами (в целом, в среднем по стране, округу, экономическому району) и максимальными (аналогично). На основе ценовых разниц можно создать механизм формирования и регулирования межрегиональных продовольственных связей.

Результаты (Results)

К сожалению, не по всему перечню культур, учтенных статистикой, можно выполнить полноценные расчеты. В частности, по картофелю, самообеспеченность регионов которым крайне низка, Республика Калмыкия, Пензенская и Ульяновская области в 2023 году не были включены в соответствующую статистическую таблицу, а по Астраханской и Самарской областям не представлена информация, хотя они в таблице присутствовали. В итоге лишь три субъекта имеют информацию о результатах реализации картофеля, однако они не способны улучшить ситуацию по обеспеченности населения этим продуктом, поскольку у них наблюдается дефицит. Только картофелеводы Татарстана имеют возможность вывозить свою продукцию за пределы региона в размере 10,8 % от общего объема реализации, а это всего 1076 т. Прямой противоположностью обеспеченности регионов Поволжья картофелем является ситуация на рынках зерновых и зернобобовых культур, обеспеченность регионов которыми наиболее высокая из всего продуктового перечня.

Низкий показатель самообеспеченности продовольствием некоторых субъектов Российской Федерации при наличии регионов с высокой самообеспеченностью является основанием для принятия мер по ее межрегиональному выравниванию. В то же время это лишь необходимое, но не достаточное условие для формирования или трансформации (реконструкции) уже имеющихся связей. Об их наличии свидетельствует информация таблицы «Реализация сельскохозяйственной продукции...» [9], в которой выделены сведения о реализации продукции за пределы региона, в том числе за пределы страны. Достаточным условием может стать обоснование экономической целесообразности и наличия потенциала для реализации объективных намерений. Поэтому механизм формирования межрегиональных продовольственных связей целесообразно формировать в несколько этапов: оценка современного состояния обеспеченности регионов продовольствием; обоснование объективной необходимости и экономической целесообразности межрегиональных продовольственных связей; раз-

работка методологии их формирования; подключение транспортной и транзакционной составляющих; создание механизма и модели формирования и функционирования эффективных межрегиональных продовольственных связей.

На завершающем этапе может быть разработана таблица-макет главной матрицы оптимизационно-регулирующего механизма межрегиональных продовольственных связей, представляющая собой многофункциональную расчетно-оптимизирующую систему межрегиональных отношений в аграрной сфере. Изначально, когда целью являлось лишь распределение профицита продовольствия регионов-доноров среди регионов-реципиентов, политика и тактика региональных органов управления состояла в максимальном замещении дефицита одних регионов за счет передачи им профицита других. Между тем развивающиеся рыночные отношения требуют достижения экономической эффективности этого процесса. Ситуация на самом деле неоднозначна и требует усложнения механизмов взаимодействия регионов. Поэтому вышеназванная таблица-матрица содержит достаточно много элементов, с помощью которых можно имитировать и анализировать различные ситуации.

Процесс начинается с анализа сложившегося уровня продовольственного самообеспечения субъектов РФ (I этап) (таблица 2, рис. 1), информация о котором приведена Росстатом [6]. В транспонированной таблице 2 применяется авторский алгоритм для перевода относительных величин в абсолютные с последующим расчетом дефицита у одних регионов и профицита у других по основным видам продовольственных продуктов (таблица 2).

Как видно, ситуация с обеспеченностью зерном является вполне позитивной, вследствие чего покрытие дефицита небольшого числа регионов проблемы не представляет. В целом по совокупности двух округов удельный вес дефицита в суммарном профиците составляет лишь 5,4 %. Профицит же имеют 15 регионов, доля которых в общем объеме равна 94,6 %, или в 17,5 раза больше.

Из двух округов более обеспеченным является Южный с долей дефицита в профиците всего 1,55 %, тогда как в Приволжском федеральном округе (ПФО) она более чем в 10 раз выше (15,96 %). Наиболее обеспечены зерном регионы Поволжья (таблица 2, рис. 1). Их обеспеченность составляет 212,2 %. Среди них только два реципиента из восьми – Астраханская область и Республика Татарстан – с обеспеченностью 74,3 % и 91,9 % соответственно. Средняя обеспеченность доноров составляет 221,2 %, а реципиентов – 88,5 %. Суммарно доноры превосходят реципиентов почти в три раза. Говорить о погашении дефицита просто нет необходимости. Совершенно очевидно, что дефицит Астраханской области (–233,5 т) может погасить, например, Республика Калмыкия с профи-

цитом зерна 284 т, но проще (а главное – эффективнее) это могут сделать производители зерна Волгоградской области, профицит которых превышает дефицит Калмыкии в 21,8 раза. В Приволжской части Поволжья (пять регионов ПФО) реципиент тоже только один (из пяти) – это Республика Татарстан с самообеспеченностью 91,9 % в количестве 311,3 т зерна, который многократно может погасить дефицит любого из четырех оставшихся регионов этой части Поволжья. Наиболее предпочтительным является вариант с использованием части профицита Самарской области как ближайшего соседа (рис. 1). На рис. 1 представлены не только регионы Поволжского экономического района (ПЭР), но и другие регионы ПФО, поскольку большая часть регионов Поволжья входит в состав этого округа.

На втором этапе было бы целесообразно определить экономическую эффективность реализации продукции на тех или иных рынках, однако отсутствие информации о понесенных затратах не позволяет вычленивать из полученной выручки прибыль предпринимателей. Сделать это возможно с некоторым допущением: например, приравняв издержки производства к цене реализации продукции на каналах реализации населению через систему общественного питания хозяйства и др. (графа 13) или передачи в собственные несельскохозяйственные подразделения на переработку (графа 15), где цены, как правило, устанавливаются на базе полной себестоимости реализуемой продукции.

В частности, для этого необходимо рассчитать цены реализации на этих каналах, сопоставить их и определить конкурентные преимущества как разницу между средней ценой по РФ и индивидуальными ценами продукции федеральных округов и регионов, а также в расчете на весь объем ее реализации. Коэффициент конкурентоспособности определяется как отношение среднероссийской цены реализации продукции к ценам в округах и регионах. Отрицательная величина указывает на конкурентные потери округов и регионов во всероссийском масштабе. Конкурентоспособность в нашем понимании – это возможность (способность) товаропроизводителя продавать свою продукцию по более низким ценам. Конкурентные преимущества – это количественное измерение конкурентоспособности.

В рамках данного исследования более существенное значение имеет конкурентоспособность продукции, произведенной в различных регионах, и их конкурентные преимущества на межрегиональных рынках или рынках других регионов. В частности, именно такой анализ способствовал обоснованию возможности и необходимости создания на территории Саратовской области специализированной высокотехнологичной зоны по производству пшеницы с целью значительного увеличения объемов ее экспорта. В таблице 3 приведены расчеты этих показателей для регионов Поволжского экономического района.

Анализ состояния самообеспеченности зерном регионов Приволжского и Южного федеральных округов (2023 г. расчетно)

Округи, регионы	Самообеспеченность зерном, 2023 г., %	Численность населения, тыс. чел.	Потребность, т	Производство, т	Дефицит (-) / профицит (+), т	Реципиенты, т	Доноры, т
Нормативы (N)	–	–	96	–	–	–	–
Российская Федерация	173,5	146 150,80	140 304,77	243 428,8	103 124,0	X	X
Южный федеральный округ	394,2	16 624,10	15 959,14	62 910,9	46 951,8	-681,4	43 962,9
Республика Адыгея	125,2	500,6	480,58	601,7	121,1	–	121,1
Республика Калмыкия	210,9	266,8	256,13	540,2	284,0	–	284,0
Республика Крым	252,8	1 909,50	1 833,12	4 634,1	2 801,0	–	2 801,0
Краснодарский край	371,7	5 833,00	5 599,68	20 814,0	15 214,3	–	15 214,3
Астраханская область	74,3	946,4	908,54	675,0	-233,5	-233,5	–
Волгоградская область	316,5	2 453,90	2 355,74	7 455,9	5 100,2	–	5 100,2
Ростовская область	612,8	4 152,50	3 986,40	24 428,7	20 442,3	–	20 442,3
г. Севастополь	16,9	561,4	538,94	91,1	-447,9	-447,9	–
Приволжский федеральный округ	147,0	28 540,80	27 399,17	40 276,8	12 877,6	-2 552,0	15 986,5
Республика Башкортостан	100,6	40 64,30	3 901,73	3 925,1	23,4	–	23,4
Республика Марий Эл	54,8	669,8	643,01	352,4	-290,6	-290,6	–
Республика Мордовия	143,4	765,9	735,26	1054,4	319,1	–	319,1
Республика Татарстан	91,9	4 003,00	3 842,88	3 531,6	-311,3	-311,3	–
Удмуртская Республика	60,2	1 434,60	1 377,22	829,1	-548,1	-548,1	–
Чувашская Республика	121,9	1 167,10	1 120,42	1365,8	245,4	–	245,4
Пермский край	42,2	2 495,30	2 395,49	1 010,9	-1 384,6	-1 384,6	–
Кировская область	98,4	1 129,90	1 084,70	1 067,3	-17,4	-17,4	–
Нижегородская область	191,1	3 060,30	2 937,89	5 614,3	2 676,4	–	2 676,4
Оренбургская область	143,3	1 828,70	1 755,55	2 515,7	760,2	–	760,2
Пензенская область	213,3	1 236,10	1 186,66	2 531,1	1 344,5	–	1 344,5
Самарская область	182,6	3 127,80	3 002,69	5 482,9	2 480,2	–	2 480,2
Саратовская область	376,8	2 385,20	2 289,79	8 627,9	6 338,1	–	6 338,1
Ульяновская область	259,8	1 172,80	1 125,89	2 925,1	1 799,2	–	1 799,2
Всего	230,8	45 164,9	43 358,3	100 074,4	56 716,1	-3 233,4	59 949,4
в т.ч.: ЮФО	371,2	16 624,1	15 959,1	59 240,7	43 281,6	-681,4	43 962,9
ПФО	149,0	28 540,8	27 399,2	40 833,6	13 434,5	-2 552,0	15 986,5
в т.ч: доноры	185,1	13 749,2	13 199,2	24 427,2	11 228,0	-17,4	59 949,4
реципиенты	147,8	21 430,2	20 573,0	30 404,5	9 831,5	-3 233,4	0,0
Разница	81,1	7 681,0	7 373,8	5 977,2	-1 396,5	-3 216,0	-59 949,4
коэффициент (донор / реципиент)	125,2	0,64	0,64	0,80	1,14	-18,54	
Поволжский экономический район	212,2	15 592,00	14 968,32	31 769,80	16 801,48	-544,77	17 346,2
в т.ч.: доноры	269,8	10 642,6	10 216,9	27 563,1	17 346,2	–	17 346,2
реципиенты	88,5	4 949,4	4 751,4	4 206,7	-544,8	-544,8	0,0
Разница	-427,3	5 693,2	5 465,5	-23 356,5	-17 891,0	–	–
коэффициент (донор / реципиент)	304,7	2,15	2,15	6,55	-31,84	-31,84	

Примечание. Рассчитано по данным [6–8]. Источник по нормативам потребления: [5].

Table 2
Analysis of the state of grain self-sufficiency in the regions
of Volga and Southern Federal Districts (2023 estimated)

Counties, regions	Grain self-sufficiency, 2023, %	Population, thousands people	Need, tons	Production, tons	Deficit (-) / surplus (+), tons	Recipients, tons	Donors, tons
Standards (N)	–	–	96	–	–	–	–
Russian Federation	173.5	146 150.80	140 304.77	243 428.8	103 124.0	X	X
Southern Federal District	394.2	16 624.10	15 959.14	62 910.9	46 951.8	-681.4	43 962.9
Republic of Adygea	125.2	500.6	480.58	601.7	121.1	–	121.1
Republic of Kalmykia	210.9	266.8	256.13	540.2	284.0	–	284.0
Republic of Crimea	252.8	1 909.50	1 833.12	4 634.1	2 801.0	–	2 801.0
Krasnodar region	371.7	5 833.00	5 599.68	20 814.0	15 214.3	–	15 214.3
Astrakhan region	74.3	946.4	908.54	675.0	-233.5	-233.5	–
Volgograd region	316.5	2 453.90	2 355.74	7 455.9	5 100.2	–	5 100.2
Rostov region	612.8	4 152.50	3 986.40	24 428.7	20 442.3	–	20 442.3
Sevastopol	16.9	561.4	538.94	91.1	-447.9	-447.9	–
Volga Federal District	147.0	28 540.80	27 399.17	40 276.8	12 877.6	-2 552.0	15 986.5
Republic of Bashkortostan	100.6	40 64.30	3 901.73	3 925.1	23.4	–	23.4
Republic of Mari El	54.8	669.8	643.01	352.4	-290.6	-290.6	–
Republic of Mordovia	143.4	765.9	735.26	1054.4	319.1	–	319.1
Republic of Tatarstan	91.9	4 003.00	3 842.88	3 531.6	-311.3	-311.3	–
Udmurt Republic	60.2	1 434.60	1 377.22	829.1	-548.1	-548.1	–
Chuvash Republic	121.9	1 167.10	1 120.42	1365.8	245.4	–	245.4
Perm region	42.2	2 495.30	2 395.49	1 010.9	-1 384.6	-1 384.6	–
Kirov region	98.4	1 129.90	1 084.70	1 067.3	-17.4	-17.4	–
Nizhny Novgorod region	191.1	3 060.30	2 937.89	5 614.3	2 676.4	–	2 676.4
Orenburg region	143.3	1 828.70	1 755.55	2 515.7	760.2	–	760.2
Penza region	213.3	1 236.10	1 186.66	2 531.1	1 344.5	–	1 344.5
Samara region	182.6	3 127.80	3 002.69	5 482.9	2 480.2	–	2 480.2
Saratov region	376.8	2 385.20	2 289.79	8 627.9	6 338.1	–	6 338.1
Ulyanovsk region	259.8	1 172.80	1 125.89	2 925.1	1 799.2	–	1 799.2
Total	230.8	45 164.9	43 358.3	100 074.4	56 716.1	-3 233.4	59 949.4
including: the Southern Federal District	371.2	16 624.1	15 959.1	59 240.7	43 281.6	-681.4	43 962.9
Volga Federal District	149.0	28 540.8	27 399.2	40 833.6	13 434.5	-2 552.0	15 986.5
of which: donors	185.1	13 749.2	13 199.2	24 427.2	11 228.0	-17.4	59 949.4
recipients	147.8	21 430.2	20 573.0	30 404.5	9 831.5	-3 233.4	0.0
Difference	81.1	7 681.0	7 373.8	5 977.2	-1 396.5	-3 216.0	-59 949.4
ratio (donor/recipient)	125.2	0.64	0.64	0.80	1.14	-18.54	
Volga Economic Region	212.2	15 592.00	14 968.32	31 769.80	16 801.48	-544.77	17 346.2
of which: donors	269.8	10 642.6	10 216.9	27 563.1	17 346.2	–	17 346.2
recipients	88.5	4 949.4	4 751.4	4 206.7	-544.8	-544.8	0.0
Difference	-427.3	5693.2	5465.5	-23356.5	-17891.0	–	–
ratio (donor/recipient)	304.7	2.15	2.15	6.55	-31.84	-31.84	

Note. Calculated according to [6–8]. Source on consumption norms: [5].

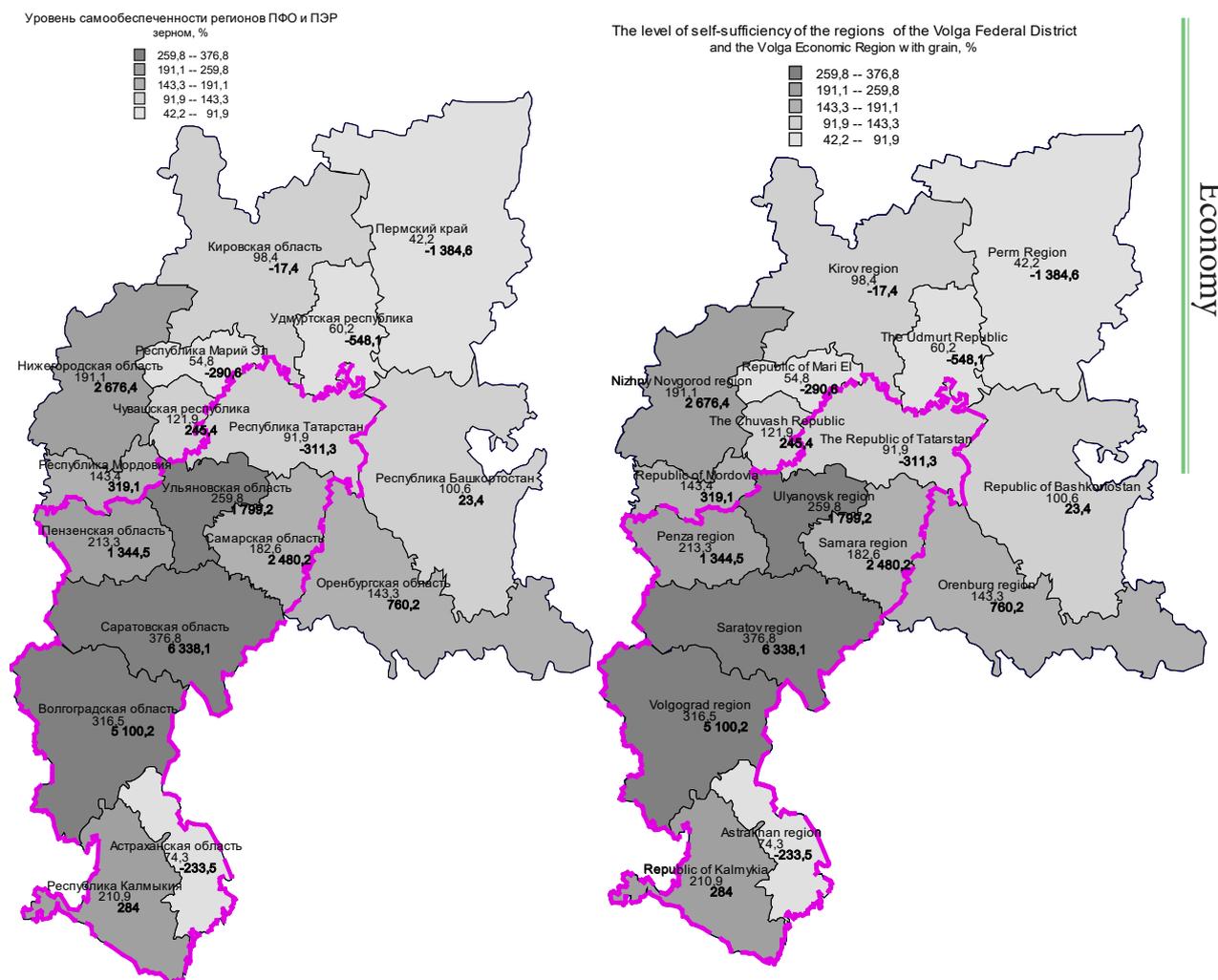


Рис. 1. Уровень самообеспеченности регионов ПФО и ПЭР зерном в 2023 г., %

Информация на карте: верхнее значение – уровень самообеспеченности, %, нижнее значение – дефицит (-) / профицит (+)

Источник: разработано авторами

Как видно, из восьми регионов Поволжского экономического района неконкурентоспособны в основном регионы Южного федерального округа, который в среднем неконкурентоспособен при производстве пшеницы с коэффициентом 0,89, в том числе неконкурентоспособна Республика Калмыкия (0,95). В свою очередь, Астраханская область даже не реализует пшеницу (отсутствуют данные). Из регионов ПФО неконкурентоспособна лишь Самарская область (0,92). Таким образом, регионами-донорами по пшенице в Поволжье могут быть прежде всего Пензенская и Саратовская области с коэффициентом 1,13, а значит, они могут претендовать на статус высокотехнологичной зоны [10; 14].

Тем не менее для полноты анализа необходимо рассмотреть и другие каналы реализации продукции. В частности, для приведенного примера следует обратиться к показателям реализации продукции населению (таблица 4). Анализ показал, что в регионах Поволжского экономического района

Fig. 1. Level of self-sufficiency of the regions of the Volga Federal District and the Volga Economic Region in 2023, %

Information on the map: 1. level of self-sufficiency, %; 2. deficit (-) / surplus (+)

Source: developed by the authors

наиболее низкая цена реализации сложилась, как и в предыдущей таблице, в Саратовской области. На втором месте находятся земледельцы Пензенской области, по Ульяновской области такие данные отсутствуют, а в Самарской – самая высокая цена реализации пшеницы населению.

В отношении суммарного коммерческого эффекта реализации пшеницы в Поволжье следует отметить, что главная закономерность – высокая конкурентоспособность, выраженная или проявляющаяся на различных общероссийских рынках в низких ценах реализации, – обеспечивает товаропроизводителям высокие общие экономические показатели. В данном случае совершенно очевидно, что именно самые низкие цены на пшеницу производителей Саратовской области обеспечили им наиболее высокую эффективность, второе место заняли сельскохозяйственные организации Пензенской области, третье – Самарской области. Неплохой результат получен в Волгоградской области.

Таблица 3

Конкурентоспособность пшеницы, реализованной сельскохозяйственными организациями Поволжского экономического района в 2023 г.

ЭКОНОМИКА

Регион	Реализация продукции перерабатывающим предприятиям			Конкурентные преимущества (базовые)		Коэффициент конкурентоспособности
	Количество, т	Выручено, млн руб.	Цена реализации, руб/т	руб/ед	Всего, млн руб.	Единиц
Российская Федерация	30 854 800	346 691	11 236	–	–	1,00
Южный федеральный округ	8 496 746	106 695	12 557	–1 320,92	–12 267 635	0,89
Республика Калмыкия	15 673	185	11 806	–569,33	–9 567	0,95
Республика Крым	145 745	1 549	10 628	608,40	89 022	1,06
Астраханская область	–	–	–	–	–	–
Волгоградская область	1 141 350	12 248	10 731	504,81	609 699	1,05
Приволжский федеральный округ	5 097 248	51 789	10 160	1 075,95	5 598 972	1,11
Республика Татарстан (Татарстан)	850 309	8 612	10 129	1 107,67	956 766	1,11
Пензенская область	1 032 780	10 308	9 981	1 255,28	1 301 057	1,13
Самарская область	571 624	6 996	12 240	–1 003,42	–574 847	0,92
Саратовская область	604 107	5 986	9 909	1 327,01	827 526	1,13
Ульяновская область	258 638	2 731	10 558	678,50	175 719	1,06

Примечание. Рассчитано авторами по данным [9].

Table 3

Competitiveness of wheat, implemented by agricultural organizations of the Volga Economic Region in 2023

Region	Sales to processing enterprises			Competitive advantages (base)		Competitiveness ratio
	Quantity, tons	Secured, millions of rubles	Selling price, ruble/ton	Rubles/unit	Total, millions of rubles	Units
Russian Federation	30 854 800	346 691	11 236	–	–	1.00
Southern Federal District	8 496 746	106 695	12 557	–1 320.92	–12 267 635	0.89
Republic of Kalmykia	15 673	185	11 806	–569.33	–9 567	0.95
Republic of Crimea	145 745	1 549	10 628	608.40	89 022	1.06
Astrakhan region	–	–	–	–	–	–
Volgograd region	1 141 350	12 248	10 731	504.81	609 699	1.05
Volga Federal District	5 097 248	51 789	10 160	1 075.95	5 598 972	1.11
Republic of Tatarstan	850 309	8 612	10 129	1 107.67	956 766	1.11
Penza region	1 032 780	10 308	9 981	1 255.28	1 301 057	1.13
Samara region	571 624	6 996	12 240	–1 003.42	–574 847	0.92
Saratov region	604 107	5 986	9 909	1 327.01	827 526	1.13
Ulyanovsk region	258 638	2 731	10 558	678.50	175 719	1.06

Note. Calculated by the authors according to [9].

Возвращаясь к проблеме межрегиональных продовольственных связей, необходимо определить их эффективность на основе соответствующих ценовых разниц, учитывая транспортные расходы и транзакционные издержки [15; 16]. В этом случае ценовые разницы следует определять между ценами в регионе реципиента, которые должны быть выше, иначе операция будет нецелесообразной, и ценами в регионах-донорах, где они должны быть ниже ввиду перенасыщенности рынка. Именно отмеченная разница движет продавцами того или иного продукта. С другой стороны, донор обычно

привлекателен для реципиента более низкой ценой в его регионе. Это детерминирует переток продуктов из регионов доноров в регионы-реципиенты.

Формула 1 может выглядеть следующим образом:

$$\mathcal{E}_{d-p} = \frac{C_p - C_d}{(Z_{mn} + Z_{ma})}, \quad (1)$$

где \mathcal{E}_{d-p} – эффективность межрегиональных продовольственных связей (донор – реципиент);

C_p – цена продукции реципиента, тыс. руб/т;

C_d – цена продукции донора, тыс. руб/т;

Z_{mn} – транспортные расходы (руб/т-км); Z_{ma} – транзакционные расходы (руб/т-км).

Таблица 4
Реализация пшеницы населению
(через систему общественного питания хозяйства, выдача и продажа в счет оплаты труда)

Регион	Реализация пшеницы населению			Конкурентные преимущества (базовые)		Коэффициент конкурентоспособности
	Количество, т	Выручено, млн руб.	Цена реализации, руб/т	На единицу	Всего	Единиц
Российская Федерация	533 402	4 256	7 979	0,00	0	1,00
Южный федеральный округ	156 541	1 491	9 526	-1 547,58	-14 372 736	0,84
Республика Калмыкия	985	–	–	7 978,67	134 072	–
Астраханская область	–	–	–	–	–	–
Волгоградская область	24 538	162	6 599	1 379,73	1 666 417	1,21
Приволжский федеральный округ	63 109	428	6 776	1 202,24	6 256 147	1,18
Республика Татарстан	9 888	83	8 429	-450,33	-388 977	0,95
Пензенская область	3 073	16	5 237	2 741,93	2 841 915	1,52
Самарская область	1 263	9	6 857	1 121,81	642 670	1,16
Саратовская область	5 815	18	3 084	4 894,45	3 052 194	2,59
Ульяновская область	342	н/д	–	7 978,67	2 066 312	–

Примечание. Рассчитано авторами по данным [6].

Table 4
Implementation of wheat to the population
(through public food system, distribution and sale against wages)

Region	Sales to population			Competitive advantages (base)		Competitiveness ratio
	Quantity, tons	Secured, millions of rubles	Selling price, ruble/ton	Per unit	Total	Units
Russian Federation	533 402	4 256	7979	0.00	0	1.00
Southern Federal District	156 541	1 491	9 526	-1 547.58	-14 372 736	0.84
Republic of Kalmykia	985	–	–	7 978.67	134 072	–
Astrakhan region	–	–	–	–	–	–
Volgograd region	24 538	162	6 599	1 379.73	1 666 417	1.21
Volga Federal District	63 109	428	6 776	1 202.24	6 256 147	1.18
Republic of Tatarstan	9 888	83	8 429	-450.33	-388 977	0.95
Penza region	3 073	16	5 237	2 741.93	2 841 915	1.52
Samara region	1 263	9	6 857	1 121.81	642 670	1.16
Saratov region	5 815	18	3 084	4 894.45	3 052 194	2.59
Ulyanovsk region	342	No data	–	7 978.67	206 6312	–

Note. Calculated by the authors according to [6].

Кроме того, в данном исследовании необходимо решить достаточно непростую оптимизационную задачу, в которой может быть несколько критериев оптимального распределения продуктовых избытков регионов-доноров между регионами-реципиентами, поэтому предлагается несколько вариантов распределения в зависимости от складывающейся ситуации. Более предпочтительным является мето-

дический подход, который имеет два варианта в зависимости от значения разницы между суммами избытков доноров и дефицитов реципиентов: в случае положительного сальдо сначала распределяются избытки наиболее крупных доноров, в случае отрицательного – удовлетворяются потребности наиболее крупных реципиентов, затем процесс протекает по убыванию отрицательного результата.

Таблица 5

Погашение дефицита самообеспечения мясом в Поволжском экономическом районе в 2023 г.

ЭКОНОМИКА

Регион	2023	Дефицит(-) / избыток (+), т	в том числе		Погашение дефицита	Остаток дефицита, т	Обеспеченность с учетом погаше- ния дефицита (II var), %	Остаток профицита, т
			реципи- енты	доноры				
Российская Федерация	101,7	1813,7	X	X	–	–	–	–
Республика Калмыкия	158,8	114,5	–	114,5	0,0	0,0	100,0	23,48
Астраханская область	45,0	–380,0	–380,0	–	302,1	–77,9	88,72	0,00
Волгоградская область	75,6	–437,1	–437,1	–	347,5	–89,6	95,00	0,00
Республика Татарстан	104,0	116,9	–	116,9	0,0	0,0	100,0	23,97
Пензенская область	342,9	2191,8	–	2191,8	0,0	0,0	–	449,47
Самарская область	42,6	–1310,6	–1310,6	–	1041,8	–268,8	88,23	0,00
Саратовская область	69,3	–534,5	–534,5	–	424,9	–109,6	93,70	0,00
Ульяновская область	54,9	–386,1	–386,1	–	306,9	–79,2	90,75	0,00
Поволжский экономический район	94,5	–625,12	–3048,35	2423,22	2423,2	–625,1	115,80	496,93
в т. ч: доноры	–	2423,2	0,0	2423,2	0,0	0,0	300,0	496,9
реципиенты	–	–3048,3	–3048,3	0,0	2423,2	–625,1	456,4	0,0
Коэффициент (донор/реципиент)	–	–0,79	–0,79		0,00	0,00	0,66	0,00

Примечание. Рассчитано по данным [6].

Table 5

Covering the deficit of self-supply with meat in the Volgograd economic region in 2023

Region	2023	Deficit (-) / surplus (+), tons	including		Closing the deficit	Deficit balance, tons	Provisioning based on deficit settlement (II var), %	Surplus balance, tons
			recipients	donors				
Russian Federation	101.7	1813.7	X	X	–	–	–	–
Republic of Kalmykia	158.8	114.5	–	114.5	0.0	0.0	100.0	23.48
Astrakhan region	45.0	–380.0	–380.0	–	302.1	–77.9	88.72	0.00
Volgograd region	75.6	–437.1	–437.1	–	347.5	–89.6	95.00	0.00
Republic of Tatarstan	104.0	116.9	–	116.9	0.0	0.0	100.0	23.97
Penza region	342.9	2191.8	–	2191.8	0.0	0.0	–	449.47
Samara region	42.6	–1310.6	–1310.6	–	1041.8	–268.8	88.23	0.00
Saratov region	69.3	–534.5	–534.5	–	424.9	–109.6	93.70	0.00
Ulyanovsk region	54.9	–386.1	–386.1	–	306.9	–79.2	90.75	0.00
Volga Economic Region	94.5	–625.12	–3048.35	2423.22	2423.2	–625.1	115.80	496.93
including donors	–	2423.2	0.0	2423.2	0.0	0.0	300.0	496.9
recipients	–	–3048.3	–3048.3	0.0	2423.2	–625.1	456.4	0.0
ratio (donor/recipient)	–	–0.79	–0.79		0.00	0.00	0.66	0.00

Note. Calculated by the authors according to [6].

Кроме того, следует определить, до какой степени повышается уровень обеспеченности потребностей регионов-реципиентов. Разумеется, он не должен быть ниже какого-то порога допустимости (формула 2):

$$y_{pij} \geq y_{pn1}, \quad (2)$$

где y_{pij} – уровень обеспеченности i -го региона по j -му виду продукции, %;

y_{pn1} – установленный допустимый уровень первого этапа выравнивания.

Указанный порог должен быть разным: для регионов-доноров, например, он не должен быть ниже установленной нормы обеспеченности продуктами питания населения; для реципиентов – определенного допустимого уровня продовольственного дефицита. Исходя из этих правил ясно, что начинать процесс распределения следует с доведения до допустимого минимума обеспеченности высокодефицитных регионов, причем за счет высокопрофицитных. После этого приемы могут быть изменены с

переходом на ближайших соседей и другие варианты, в том числе эффективности межрегиональных продовольственных связей (формула 2). Данная схема заложена в соответствующую модель.

Разработанная таблица-макет главной матрицы оптимизационно-регулирующего механизма межрегиональных продовольственных связей представляет собой многофункциональный расчетно-оптимизирующий механизм межрегиональных связей в аграрной сфере. Изначально, когда целью являлось простое распределение профицита продовольствия регионов-доноров среди регионов-реципиентов, стратегия и тактика региональных органов управления могли состоять в максимальном замещении дефицита одних регионов за счет передачи профицита других. Однако развивающиеся рыночные отношения требуют достижения экономической эффективности всеми участниками этого процесса. Разумеется, при этом большое значение имеет расстояние перевозки и транзакционные издержки. Ситуация становится неоднозначной и требует уточнения механизмов взаимодействия регионов. Поэтому названная выше таблица-матрица содержит достаточно много элементов, с помощью которых можно имитировать самые разные ситуации. Она предназначена преимущественно для логистических центров. В частности, в данном случае имеется в виду Распределительный логистический центр Поволжья, который может быть сформирован, например, в Ульяновской области.

В таблице 5 в качестве примера приведены расчеты по распределению профицита регионов-доноров между регионами-реципиентами, причем в наиболее простом варианте, т. е. без учета разниц в ценах реализации продукции регионами-донорами между собой и на фоне цен реализации этой же продукции регионами-реципиентами. Ключевая цель расчета этой таблицы – демонстрация механизма выравнивания обеспеченности регионов основными видами продовольствия.

В данном случае профицита доноров не хватило для полного погашения дефицита реципиентов. Удалось лишь повысить их обеспеченность мясными продуктами. Минимальный уровень составил 88,23 %. Регионы-доноры сохранили для себя полную самообеспеченность.

Поскольку расчеты в таблице 5 строились на данных по уровню самообеспечения продовольствием регионов, в основу которых были положены медицинские нормы потребления и численность населения регионов, то реальность результатов, полученных в рамках данного исследования, требует как минимум некоторого подтверждения современного состояния проблемы продовольственного самообеспечения регионов. Одним из источников информации, подтверждающих полученные результаты, являются статистические данные таблиц

«Ресурсы и использование мяса и мясопродуктов» в Российской Федерации, в данном случае в 2017 году [6]. Хотя данные несколько устарели и порядок цифр может существенно не совпадать, но деление регионов на доноров и реципиенты явно прослеживается, причем вполне соответствует принятому в таблице 2. Об этом свидетельствует сопоставление данных по ввозу и вывозу. В частности, регионы-доноры имеют заметное превышение вывоза над ввозом (в тыс. т мяса и мясопродуктов). Например, Республика Калмыкия: вывоз – 31,8 тыс. т, а ввоз – 0,1 тыс. т. Несколько меньшее превосходство вывоза над ввозом имеет Пензенская область, также являющаяся донором по нашим расчетам: вывоз составил 188,8 тыс. т, ввоз – 71,7 тыс. т, профицит равен 117,1 тыс. т, то есть в 1,63 раза превышает ввоз. Значительно хуже данные Республики Татарстан: вывоз – 108,2 тыс. т против ввоза 104,55 тыс. т, однако и этот регион в современных условиях вполне соответствует статусу региона-донора.

Остальные регионы из таблицы 5 вполне соответствуют статусу реципиента, поскольку объемы ввоза у них заметно превышают данные вывоза, т. е. они имеют следующие дефициты: Астраханская область – 27,3 тыс. т, Волгоградская – 58 тыс. т, Самарская – 100,3 тыс. т, Саратовская – 23,4 тыс. т, Ульяновская – 35,3 тыс. т.

Существенное значение могут иметь уже использованные статистические таблицы «Реализация сельскохозяйственной продукции сельскохозяйственными организациями, не относящимися к субъектам малого предпринимательства». В отличие от информации по ресурсам, в этих таблицах данные об объемах мяса и мясопродуктов приводятся не в совокупности, а по отдельным видам скота и птицы в четырех отдельных таблицах. Наиболее информативной и насыщенной является таблица по реализации мяса крупного рогатого скота, данные которой вполне подтверждают принадлежность к регионам-донорам названных выше субъектов РФ. Об этом свидетельствует раздел таблицы о реализации за пределы субъекта Российской Федерации, в соответствии с которым наибольшее количество говядины реализуют Пензенская область (3773 т, что составляет 26,8 % всей реализованной говядины); Республика Татарстан (3106 т, или 4,7 %). Республика Калмыкия тоже является донором, хотя и с существенно меньшими возможностями (136 т; 16,24 %). Кроме указанных регионов, донорами могут стать Волгоградская (1667 т; 60,31 %) и в меньшей степени Саратовская (445 т; 12,33 %) области.

Из таблицы по реализации свинины также следует, что донором остается Пензенская область, реализующая за пределы региона 14 838 т свинины. Кроме нее, донором может стать Волгоградская область, реализующая за пределы региона 25 355 т свинины (более 96 % всего объема реализации).

Таблица по реализации мяса овец и коз свидетельствует о том, что в Поволжье, как и во всем Приволжском федеральном округе, нет ни одного региона, реализующего баранину и козлятину за пределы своей территории. Что же касается мяса птицы, то здесь крупным донором также может стать Волгоградская область (30 522 т; 36,82 %).

Таким образом, подводя итог анализу реализации за пределы регионов мяса и мясopодуlктов, можно сделать вывод о том, что деление регионов Поволжского экономического района на доноров и реципиентов обосновано методически правильно. Условие осуществления трансфера избытка продукции *i*-го региона-донора *j*-му региону-реципиенту состоит в том, чтобы разница между ценой реализации этой продукции в регионе реципиента превышала аналогичную цену в регионе донора на величину, равную совокупным транспортно-транзакционным затратам в расчете на 1 т продукции, оставляя страховой запас в размере не менее некоторой доли цены региона-донора.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Обобщая содержание представленного исследования, необходимо отметить, что формирование и функционирование межрегиональных продовольственных связей происходит под влиянием четырех факторов. Первый – сложившиеся договоры (соглашения, намерения) региональных органов

власти в части обмена опытом, консультирования и взаимопомощи в области научно-технических и технологических новаций, выполнение совместных инновационных проектов. Второй – традиционные приграничные взаимодействия населения, в том числе производителей аграрной продукции. Третий – постоянное совершенствование логистических систем и торгово-закупочных операций в сфере оптовой и розничной торговли продовольственными товарами. Еще один немаловажный фактор – формирование межрегиональных продовольственных связей в сфере агропродовольственного комплекса непосредственно на региональных цифровых платформах и организация их взаимодействия как между платформами, так и в рамках всероссийской платформы, которую еще предстоит создать [17], о чем заявил Председатель Правительства РФ М. В. Мишустин [18]. Поэтому, разрабатывая и совершенствуя межрегиональные продовольственные связи на основе повышения конкурентоспособности производства и реализации различных видов аграрной продукции в разных регионах страны с учетом почвенно-климатических и транспортно-логистических условий, необходимо иметь в виду, что существуют и другие каналы обеспечения населения страны продовольственными товарами, которые следует непременно учитывать.

Библиографический список

1. Межрегиональные связи. Соглашения между Правительством Саратовской области и Правительствами других регионов [Электронный ресурс]. URL: <https://saratov.gov.ru/gov/auth/mineconom/funksii-izadachi/mezhregionalnye-svyazi.php> (дата обращения: 02.10.2025).
2. Морозова М. П. Оценка эффективности межрегиональных продовольственных связей в рамках логистических интегрированных распределений // Экономика и управление народным хозяйством. 2017. № 2. С. 1–6.
3. Сущность, факторы и принципы межрегиональных торгово-сбытовых продовольственных связей [Электронный ресурс]. URL: https://ozlib.com/964977/ekonomika/suschnost_factory_printsipy_mezhregionalnyh_torgovo_sbytovyh_prodovolstvennyh_svyazey (дата обращения: 02.10.2025).
4. Вартанова М. Л. Совершенствование межрегиональных и межотраслевых связей как основа социально-экономического развития продовольственного рынка страны // Региональные проблемы преобразования экономики. 2016. № 11. С. 21–33.
5. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания (в ред. Приказов Минздрава РФ от 25.10.2019 № 887, от 01.12.2020 № 1276).
6. Уровень самообеспечения основными продуктами питания по Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/K_so.xls (дата обращения: 10.06.2025).
7. Регионы России. Социально-экономические показатели 2024 [Электронный ресурс]. URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/sep_region1.htm (дата обращения: 10.06.2025).
8. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 10.06.2025).
9. Бюллетень о состоянии сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 10.06.2025).
10. Силаева Л. П. Формирование специализированных зон производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на основе совершенствования межрегионального обмена // Прикладные экономические исследования. 2015. № 5 (9). С. 12–20.
11. Нестулаева Д. Р., Афанасьев А. В. Эффективность и технологичность производственной деятельности [Электронный ресурс]. URL: <https://na-journal.ru/4-2023-ekonomika-menedzhment/5005-effektivnost-i-tekhnologichnost-proizvodstvennoi-deyatelnosti> (дата обращения: 20.01.2025).

12. Алпатов А. В., Семкин А. Г. Анализ перспектив формирования специализированных высокотехнологических зон в сельском хозяйстве России // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023. № 11 (105). С. 115–127. DOI: 10.33938/2311-115.

13. Задворнева Е. П., Шмидт Ю. И., Жуплей И. В., Иванова О. Е. О формировании системы регулирования специализированных высокотехнологических зон производства продукции в сельском хозяйстве: теоретический аспект // Journal of Economy and Entrepreneurship. 2023. № 7 (156). С. 26–33. DOI: 10.34925/EIP.2023.156.7.001.

14. Силаева Л. П. Концептуальные основы формирования и развития высокотехнологических зон производства отдельных видов сельскохозяйственной продукции [Электронный ресурс] // Russian Journal of Management. 2023. Т. 11, № 2. URL: <https://rusjm.ru/ru/nauka/article/67244> (дата обращения: 20.01.2025).

15. Транспортно-логистический кластер [Электронный ресурс]. URL: https://investinsamara.ru/city/socs/health/?ELEMENT_ID=92 (дата обращения 19.09.2025).

16. Main Transport: информационный проект по подбору компаний для грузоперевозок [Электронный ресурс]. URL: <https://maintransport.ru/map-router?&go=Оренбург&gp=Ульяновск> (дата обращения: 19.09.2025).

17. Проект Федерального закона «О платформенной экономике в Российской Федерации» (не внесен в ГД ФС РФ) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/87148.html> (дата обращения: 19.09.2025).

18. Мишустин поручил Минтрансу актуализировать транспортную стратегию до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.finmarket.ru/news/6441865> (дата обращения: 14.10.2025).

Об авторах:

Юрий Георгиевич Полулях, доктор экономических наук, действительный член МАИЭС, главный научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия; ORCID 0000-0001-5552-0415, AuthorID 411988. E-mail: populyakh@bk.ru

Дмитрий Валерьевич Сердобинцев, кандидат экономических наук, руководитель подразделения, Поволжский научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия; ORCID 0000-0003-4023-3143, AuthorID 592113. E-mail: dvss@bk.ru

Любовь Юрьевна Ададимова, доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия; ORCID 0000-0001-6133-4686, AuthorID 798470. E-mail: adadimova@inbox.ru

Елена Александровна Алешина, кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Поволжский научно-исследовательский институт экономики и организации агропромышленного комплекса – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», Саратов, Россия; ORCID 0000-0002-0977-7110, AuthorID 257801. E-mail: aleshina-80@mail.ru

References

1. *Interregional relations. Agreements between the Government of Saratov region and governments of other regions* [Internet] [cited 2025 Oct 02]. Available from: <https://saratov.gov.ru/gov/auth/mineconom/funktsii-i-zadachi/mezhregionalnye-svyazi.php>. (In Russ.)

2. Morozova M. P. Evaluation of the effectiveness of interregional food relations in the framework of logistic integrated distributions. *Economics and Management of the Economy*. 2017; 2: 1–6. (In Russ.)

3. *Nature, factors and principles of inter-regional food trade linkages* [Internet]. [cited 2025 Oct 02]. Available from: https://ozlib.com/964977/ekonomika/suschnost_factory_printsipy_mezhregionalnyh_torgovo_sbytovyh_prodovalstvennyh_svyazey. (In Russ.)

4. Vartanova M. L. Improvement of inter-regional and inter-industry connections as the basis of the social-economic development of the food market of the country. *Regional Problems of Economic Transformation*. 2016; 11: 21–33. (In Russ.)

5. *Recommendations on the rational consumption of food products that meet modern requirements of healthy nutrition (in the edition of Orders of the Ministry of Health of the Russian Federation from 25.10.2019 № 887, from 01.12.2020 № 1276)*. (In Russ.)
6. *Level of self-sufficiency in basic foodstuffs by the Russian Federation* [Internet] [cited 2025 Jun 10]. Available from: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/K_so.xls. (In Russ.)
7. *Regions of Russia. Socio-economic indicators 2024* [Internet] [cited 2025 Jun 10]. Available from: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/sep_region1.htm. (In Russ.)
8. *Official website of the Federal State Statistics Service* [Internet] [cited 2025 Jun 10]. Available from: <https://rosstat.gov.ru>. (In Russ.)
9. *Bulletins on the state of agriculture* [Internet]. [cited 2025 June 10]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>. (In Russ.)
10. Silaeva L. P. Formation of specialized areas of production of certain types of agricultural products, raw materials and food on the basis of improvement of inter-regional exchange. *Applied Economic Research*. 2015; 5 (9): 12–20. (In Russ.)
11. Nestulaeva D. R., Afanasyev A. V. *Efficiency and technological capability of production activities* [Internet] [cited 2025 Jan 20]. Available from: <https://na-journal.ru/4-2023-ekonomika-menedzhment/5005-effektivnost-i-tekhnologichnost-proizvodstvennoi-deyatelnosti>. (In Russ.)
12. Alpatov A. V., Semkin A. G. Analysis of prospects for the formation of specialized high-tech zones in agriculture in Russia. *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2023; 11 (105): 115–127. DOI: 10.33938/2311-115. (In Russ.)
13. Zadvorneva E. P., Shmidt Y. I., Zhupley I. V., Ivanova O. E. On the formation of a system of regulation of specialized high-tech production zones in agriculture: theoretical aspect. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2023; 7 (156): 26–33. DOI: 10.34925/EIP.2023.156.7.001. (In Russ.)
14. Silaeva L. P. Conceptual basis of formation and development of high-tech zones of production of selected agricultural products. *Russian Journal of Management* [Internet]. 2023 [cited 2025 Jan 20]; 11 (2). Available from: <https://rusjm.ru/ru/nauka/article/67244>. (In Russ.)
15. *Transport and logistics cluster* [Internet] [cited 2025 Sep 19]. Available from: https://investinsamara.ru/city/socs/heath/?ELEMENT_ID=92. (In Russ.)
16. *Main transport: information project on the selection of companies for freight transport* [Internet] [cited 2025 Sep 19]. Available from: <https://maintransport.ru/map-router?&go=Оренбург&gr=Ульяновск..> (In Russ.)
17. *Draft of the Federal Law “On platform economy in the Russian Federation” (not included in the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation)* [Internet] [cited 2025 Sep 19]. Available from: <https://www.consultant.ru/law/hotdocs/87148.html>] (In Russ.)
18. *Mishustin instructed the Minister of Transport to update the transport strategy until 2030* [Internet] [cited 2025 Oct 14]. Available from: <https://www.finmarket.ru/news/6441865>. (In Russ.)

Authors' information:

Yuriy G. Polulyakh, doctor of economic sciences, full member of the International Academy of Investments and Economics in Construction (IAICEC), chief researcher, Povolzhskiy Scientific Research Institute of Economic and Organization of Agroindustrial Complex – Subdivision of the Federal Research Centre “Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences”, Saratov, Russia; ORCID 0000-0001-5552-0415, AuthorID 411988. *E-mail: populyakh@bk.ru*

Dmitriy V. Serdobintsev, candidate of economic sciences, director, Povolzhskiy Scientific Research Institute of Economic and Organization of Agroindustrial Complex – Subdivision of the Federal Research Centre “Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences”, Saratov, Russia; ORCID 0000-0003-4023-3143, AuthorID 592113. *E-mail: dvss@bk.ru*

Lyubov Yu. Adadimova, doctor of economic sciences, leading researcher, Povolzhskiy Scientific Research Institute of Economic and Organization of Agroindustrial Complex – Subdivision of the Federal Research Centre “Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences”, Saratov, Russia; ORCID 0000-0001-6133-4686, AuthorID 798470. *E-mail: adadimova@inbox.ru*

Elena A. Aleshina, candidate of economic sciences, associate professor, leading researcher, Povolzhskiy Scientific Research Institute of Economic and Organization of Agroindustrial Complex – Subdivision of the Federal Research Centre “Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences”, Saratov, Russia; ORCID 0000-0002-0977-7110, AuthorID 257801. *E-mail: aleshina-80@mail.ru*

Анализ процесса стратегирования устойчивого развития агропродовольственного сектора

Д. Ю. Самыгин¹✉, А. В. Носов², Ю. Д. Бахтеев¹, Д. А. Мурзин²

¹ Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

² Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

✉ E-mail: vekont82@pnzgu.ru

Аннотация. Необходимость внесения принципиальных изменений в процесс стратегического планирования развития сельского хозяйства вытекает из качественно новых задач в сфере продовольственной безопасности, связанных с обеспечением конвергенции физической и экономической доступности продукции на уровне рациональных норм потребления. **Цель** работы – подготовить предложения по совершенствованию процесса стратегического планирования устойчивого развития агропродовольственного сектора, соответствующие новым задачам в сфере обеспечения продовольственной безопасности. Предмет исследования – единый процесс целеполагания, планирования и прогнозирования устойчивого развития агропродовольственного сектора. **Методы исследования.** Источники данных – документы по развитию сельского хозяйства и обеспечению продовольственной безопасности, информационные ресурсы Росстата и Минсельхоза РФ. Для обработки данных применялись методы научного обобщения, критического анализа, эмпирического исследования, балансовой увязки, логического умозаключения и теоретического моделирования. **Результаты.** Выявлена слабая преемственность целей и задач в документах целеполагания, прогнозирования и планирования. Отмечается низкое соответствие применяемых индикаторов задачам в сфере развития сельского хозяйства и обеспечения продовольственной безопасности. Установлена недостаточная связь документов на отраслевом и региональных уровнях. Определено отсутствие зависимости целевых индикаторов и ресурсов, предусмотренных для их достижения. **Научная новизна.** Получены данные о степени гармонизации процесса стратегического планирования устойчивого развития сельского хозяйства с задачами в сфере обеспечения продовольственной безопасности. Позволило сформулировать направления совершенствования концептуальных основ, отражающих в процессе стратегирования триединство взаимоувязанных, с одной стороны, приоритетов, целей и задач, с другой стороны, курса действий и мероприятий по их достижению, с третьей стороны, ресурсного обеспечения сбалансированного с индикаторами желаемого состояния объекта планирования в перспективе. Научные разработки будут полезны участникам стратегического планирования АПК на этапах целеполагания, прогнозирования и планирования устойчивого развития агропродовольственного сектора.

Ключевые слова: процесс стратегического планирования, целеполагание, прогнозирование, планирование, устойчивое развитие, агропродовольственный сектор, продовольственная безопасность

Для цитирования: Самыгин Д. Ю., Носов А. В., Бахтеев Ю. Д., Мурзин Д. А. Анализ процесса стратегирования устойчивого развития агропродовольственного сектора // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 381–393. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-381-393>.

Дата поступления статьи: 19.05.2025, **дата рецензирования:** 19.11.2025, **дата принятия:** 25.12.2025.

Analysis of the process of strategizing sustainable development of the agri-food sector

D. Yu. Samygin¹✉, A. V. Nosov², Yu. D. Bakhteev¹, D. A. Murzin³

¹ Penza State University, Penza, Russia

² Penza State Agrarian University, Penza, Russia

✉ E-mail: vekont82@pnzgu.ru

Abstract. The need to introduce fundamental changes in the process of strategic planning for agricultural development stems from qualitatively new tasks in the field of food security related to ensuring the convergence of physical and economic availability of products at the level of rational consumption standards. **The purpose** of the study is to provide proposals for improving the process of strategic planning for sustainable development of the agri-food sector, corresponding to new tasks in the field of food security. The subject of the study is a single process of goal-setting, planning and forecasting of sustainable development of the agri-food sector. **Research methods.** Data sources are documents on the development of agriculture and food security, information resources of Rosstat and the Ministry of Agriculture of the Russian Federation. The methods of scientific generalization, critical analysis, empirical research, balance linkage, logical inference and theoretical modeling were used to process the data. **Results.** Weak continuity of goals and objectives in goal-setting, forecasting and planning documents was revealed. Low compliance of the applied indicators with the objectives in the field of agricultural development and food security is noted. Insufficient connection of documents at the industry and regional levels has been established. The lack of dependence of target indicators and resources provided for their achievement has been determined. **Scientific novelty.** Data on the degree of harmonization of the process of strategic planning of sustainable development of agriculture with the tasks in the field of ensuring food security have been obtained. It has allowed formulating directions for improving conceptual foundations that reflect in the process of strategizing the trinity of interrelated, on the one hand, priorities, goals and objectives, on the other hand, the course of action and measures to achieve them, on the third hand, resource provision balanced with indicators of the “desired” state of the planning object in the future. Scientific developments will be useful for participants in strategic planning of the agro-industrial complex at the stages of goal-setting, forecasting and planning of sustainable development of the agro-food sector.

Keywords: strategic planning process, goal setting, forecasting, planning, sustainable development, agri-food sector, food security

For citation: Samygin D. Yu., Nosov A. V., Bakhteev Yu. D., Murzin D. A. Analysis of the process of strategizing sustainable development of the agri-food sector. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 381–393. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-381-393>. (In Russ.)

Date of paper submission: 19.05.2025, **date of review:** 19.11.2025, **date of acceptance:** 25.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Сравнительно недавно закону «О стратегическом планировании в РФ» исполнилось уже 10 лет. Как отмечает академик РАН Г. В. Беспехотный [1], в сельском хозяйстве фактическая отработка механизмов государственного планирования началась еще в 2006 году с принятием ФЗ «О развитии сельского хозяйства». Почти за 20-летний период формирования системы планирования и прогнозирования в АПК накоплен богатый опыт по разработке, принятию и реализации различных документов на отраслевом и территориальном уровнях. Теперь важно проанализировать действующие меры, выявить сложившиеся тенденции, определить нерешенные проблемы, наметить пути совершенствования. Особенно ценно это сделать в контексте решения поставленной в Доктрине продовольственной

безопасности в 2020 году задачи по обеспечению физической и экономической доступности пищевой продукции на уровне рациональных норм потребления для каждого гражданина страны.

Добиться конвергенции спроса и предложения продукции на агропродовольственном рынке в новой точке равновесия достаточно сложно, особенно в условиях многочисленных вызовов. Академики РАН А. И. Алтухов [2] и В. Г. Закшевский [3] констатируют, что успехи отмечаются по ряду направлений развития и скороспелым отраслям. По исследованиям ученых [4; 5], в основном это касается объемов выпуска отдельных видов сельскохозяйственной продукции. Его рост без существенных изменений в покупательной способности доходов населения пока сопровождаются только наращиванием экспорта товаров, но не ростом их потре-

ния на внутреннем продовольственном рынке [6; 7]. Достижения по уровню пороговых значений самообеспечения некоторых видов продукции вообще достигнуты за счет снижения их производства и потребления на душу населения [8; 9].

В этой связи значимость и масштабность новой задачи в сфере обеспечения продовольственной безопасности таковы, что определяющее значение для ее решения имеет грамотно выстроенный процесс стратегического планирования в агропродовольственном секторе. На этапах этого процесса определяются желаемые цели развития, курс действий и ресурсы для их достижения. Научная проработанность названных элементов во многом зависит от уровня качества плановой работы в органах управления и стратегирования АПК.

Материалы и методы исследования (Methods)

Исследование основано на положении о том, что устойчивое развитие агропродовольственного сектора и обеспечение продовольственной безопасности – это комплексная задача, стоящая перед стратегическим планированием. На это обстоятельство особое внимание в своих исследованиях обращал академик РАН И. Г. Ушачев с соавторами [10], указывая на единство целей и результатов аграрной и социально-экономической политики страны.

В теоретическом аспекте авторы статьи придерживаются мнения академика РАН Э. Н. Крылатых и ее коллег [11], что агропродовольственная сфера

представляет собой сферу производства и сферу потребления (обращения) продукции как неразрывно существующих экономических категорий. За формирование физической доступности продукции на уровне рациональных норм отвечает сфера производства, за формирование экономической доступности – сфера потребления. Задача стратегического планирования в агропродовольственной сфере – обеспечить формирование названных аспектов продовольственной безопасности в заданных параметрах на сбалансированной основе. В этой связи под устойчивым развитием агропродовольственного сектора понимается такой процесс социально-экономических изменений, результатом которого является балансирование физической и экономической доступности продукции на уровне рациональных норм потребления.

Цель работы – проанализировать и дать предложения по совершенствованию процесса стратегического планирования устойчивого развития агропродовольственного сектора, соответствующие новым задачам в сфере обеспечения продовольственной безопасности.

Предмет исследования – процесс целеполагания, планирования и прогнозирования устойчивого развития агропродовольственного сектора.

В основе изучения концептуальной линии процесса стратегического планирования лежит принцип «от целеполагания до реализации» (таблица 1).

Таблица 1
Концептуальная линия процесса и документов стратегического планирования устойчивого развития агропродовольственного сектора

Миссия, цель и задачи				Курс действий для достижения целей		Мероприятия и ресурсы обеспечения задач
ФЗ «О развитии сельского хозяйства»	Доктрина продовольственной безопасности РФ	Приказ Минздрава РФ о нормах рационального питания	Концепция развития внутренней продовольственной помощи в РФ	Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ до 2030 г.	Стратегия пространственного развития	Госпрограмма развития сельского хозяйства

Источник: составлено авторами.

Table 1
The conceptual line of the process and documents of strategic planning for the sustainable development of the agri-food sector

Mission, purpose and objectives				Course of action to achieve goals		Activities and resources to support tasks
Federal Law "On the Development of Agriculture"	Doctrine of food security of the Russian Federation	Order of the Ministry of Health of the Russian Federation on the norms of rational nutrition	Concept for the development of domestic food aid in the Russian Federation	Strategy for the development of the agro-industrial and fisheries complexes of the Russian Federation until 2030	Spatial development strategy	State program for agricultural development

Source: compiled by the authors.

При исследовании нормативно-правовых актов в сфере стратегического планирования АПК авторы исходили из того, что они должны логично сочетаться с процессом от формирования целей до реализации курса действий и предоставления ресурсов для их достижения.

В этом контексте изучены:

1) преемственность приоритетов, целей и задач в документах целеполагания, прогнозирования и планирования;

2) соответствие применяемых индикаторов задачам в сфере развития сельского хозяйства и обеспечения продовольственной безопасности;

3) оценка качества прогнозов (отклонение фактических от прогнозных расчетных значений);

4) связь документов на федеральном (отраслевом) и региональных уровнях;

5) связь целевых индикаторов и ресурсов, предусмотренных для их достижения.

В качестве данных для исследования использовались:

– результаты научных разработок ученых и специалистов в области стратегического планирования отраслей и сфер экономики;

– целевые индикаторы, критерии, объемы средств поддержки и другие показатели, отраженные в нормативно-правовых актах по продовольственной безопасности и стратегированию сельского хозяйства;

– информационные ресурсы Федеральной службы статистики и Министерства сельского хозяйства РФ.

Для обработки данных применялись методы научного обобщения, критического анализа, эконометрического анализа, балансовой увязки, логического умозаключения и теоретического моделирования.

Результаты (Results)

Как уже было отмечено, аграрная отрасль стала пилотной по отработке механизмов стратегического планирования сфер экономики. К настоящему времени здесь накоплен значительный опыт по формированию и реализации документов развития сельского хозяйства и обеспечению продовольственной безопасности. Из них можно отметить ПНП «Развитие АПК» от 2006 года, две доктрины (от 2010 и 2020 годов), две госпрограммы (от 2008 и 2012 годов), Стратегию развития АПК до 2030 года, Концепцию внутренней продовольственной помощи и др. Главное в том, что эти документы положили начало действенной системе государственного планирования в органах управления АПК. Положительно следует оценить структуру и содержание этих документов, которые формулируют цели и задачи, устанавливают индикаторы их достижения, определяют мероприятия, предусматривают некоторое ресурсное обеспечение. На первом этапе исследования проведена оценка последовательности в документах стратегического планирования (таблица 2).

Оценка преемственности приоритетов и целей показывает, что зачастую наблюдается их повтор или схожее содержание (при разных формулировках) по всему перечню документов, разрабатываемых на уровнях целеполагания, прогнозирования и планирования. Логически правильно, если цели реализации документов планирования и программирования будут, по сути, выступать задачами к целям, указанным в документах прогнозирования, а те, в свою очередь, задачами к целям, указанным в документах целеполагания. Такой подход, как указывают авторы [16], предполагает, что в Стратегии развития АПК основной упор должен быть сделан на курс действий и мероприятий, с помощью которых достигаются цели Доктрины продовольственной безопасности. Например, для наращивания производства и обеспечения физической доступности продукции важно создать условия для процесса воспроизводства вложенных ресурсов на расширенной основе, увеличивать финансовые результаты аграрного бизнеса. Ряд ученых [17] справедливо отмечает, что для формирования экономической доступности важно стимулировать спрос на продукцию, обеспечив рост реальных доходов населения и стабилизацию цен на продовольствие. Целесообразно отразить и мероприятия, на основе которых будет реализован планируемый курс действий. Например, какими мероприятиями планируется повысить инвестиционную активность товаропроизводителей, увеличить рост вложений в производственные мощности, необходимые для наращивания выпуска и экспорта товаров.

С методической точки зрения желательно, чтобы Госпрограмма как документ планирования отражала ресурсное обеспечение курса действий и мероприятий, которые направлены на достижение целей. В этом плане документ в своем содержании слабо раскрывает объем требуемых инвестиций и направления финансирования отраслей, в том числе за счет бюджетов всех уровней.

На этапе оценки соответствия применяемых индикаторов поставленным задачам в сфере развития сельского хозяйства и обеспечения продовольственной безопасности выявлено, что достаточно часто для оценки предполагаемых достижений используются:

– по развитию сельского хозяйства – индексы производства продукции;

– по обеспечению продовольственного суверенитета – пороговые значения уровня самообеспечения продукцией.

В первом случае сложно изучить достижения и тенденции в сфере потребления (например, на основе индекса потребления продукции), хотя эта необходимость вытекает из постановки самой задачи в Доктрине 2020 года. Во втором случае рост пороговых значений уровня самообеспеченности, математически может быть достигнут и при снижении уровней производства и потребления на душу населения.

Исследование преимущества в документах целеполагания, прогнозирования и планирования развития агропродовольственного сектора

Документ	Ориентиры, приоритеты, цели	Целевые индикаторы
Доктрина продовольственной безопасности РФ (далее Доктрина)	Обеспечение населения страны безопасной, качественной и доступной сельскохозяйственной продукцией, сырьем и продовольствием в объемах, обеспечивающих рациональные нормы потребления пищевой продукции; обеспечение продовольственной независимости, обеспечение физической и экономической доступности для каждого гражданина страны пищевой продукции, соответствующей обязательным требованиям, в объемах не меньше рациональных норм потребления пищевой продукции, необходимой для активного и здорового образа жизни	Уровень самообеспечения; отношение фактического потребления основной пищевой продукции на душу населения к рациональным нормам ее потребления, отвечающим требованиям здорового питания; отношение фактической обеспеченности населения разными видами торговых объектов по продаже продовольственных товаров и объектами по реализации продукции общественного питания к установленным нормативам; другие
Стратегия развития АПК (далее Стратегия)	Обеспечение долгосрочного и перспективного развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов, импортозамещения критически важных видов продукции агропромышленного комплекса, усиления продовольственной безопасности, развития новых направлений экспорта, эффективного управления землями сельхозназначения	Индексы производства продукции агропромышленного комплекса; индекс физического объема инвестиций в основной капитал; объем экспорта продукции агропромышленного комплекса; валовая добавленная стоимость; площадь вовлеченных в оборот земель; уровень самообеспечения по видам продукции
Госпрограмма развития сельского хозяйства (далее Госпрограмма)	Обеспечение продовольственной безопасности, развитие экспорта продукции агропромышленного комплекса, развитие растениеводства и животноводства, развитие пищевой и перерабатывающей промышленности, развитие субъектов малого предпринимательства, цифровизация отраслей и подотраслей, селекция и генетика, внедрение новых видов сервисов, услуг и решений, позволяющих оптимизировать производственные и логистические процессы	Индексы производства продукции сельского хозяйства и производства пищевых продуктов; уровень среднемесячной начисленной заработной платы работников сельского хозяйства; объем экспорта продукции агропромышленного комплекса; произведенная валовая добавленная стоимость, создаваемая в сельском хозяйстве; индекс физического объема инвестиций в основной капитал; индекс производительности труда; среднесписочная численность работников в сельском хозяйстве
Концепция внутренней продовольственной помощи (далее Концепция)	Обеспечение экономической и физической доступности для отдельных категорий граждан Российской Федерации качественных продуктов питания, способствующих сохранению и укреплению здоровья населения	Обеспеченность отдельных категорий граждан высококачественным сбалансированным питанием с учетом рациональных норм потребления пищевых продуктов; охват обучающихся в образовательных организациях сбалансированным (по рациональным нормам потребления пищевых продуктов), безопасным и качественным питанием; увеличение удельного веса российской сельхозпродукции и продовольствия в обеспечении системы внутренней продовольственной помощи в Российской Федерации

Источник: составлено авторами на основе [12–15].

A study of continuity in documents on goal-setting, forecasting and planning for the development of the agri-food sector Table 2

<i>Document</i>	<i>Landmarks, priorities, goals</i>	<i>Target indicators</i>
<i>Doctrine of Food Security of the Russian Federation (hereinafter referred to as the Doctrine)</i>	<i>Providing the country's population with safe, high-quality and affordable agricultural products, raw materials and food in quantities that ensure rational standards of food consumption; ensuring food independence, ensuring physical and economic accessibility for every citizen of the country of food products that meet mandatory requirements, in quantities no less than rational standards of food consumption necessary for an active and healthy lifestyle</i>	<i>Level of self-sufficiency; the ratio of the actual consumption of basic food products per capita to rational standards of its consumption that meet the requirements of healthy nutrition; the ratio of the actual provision of the population with different types of retail outlets for the sale of food products and facilities for the sale of public catering products to established standards; others</i>
<i>Strategy for the development of the agro-industrial complex (hereinafter referred to as the Strategy)</i>	<i>Ensuring long-term and prospective development of the agro-industrial and fisheries complexes, import substitution of critically important types of products of the agro-industrial complex, strengthening food security, developing new export directions, and effective management of agricultural lands</i>	<i>Indices of production of agricultural products; index of physical volume of investments in fixed capital; volume of exports of agricultural products; gross value added; area of land involved in circulation; level of self-sufficiency by types of products</i>
<i>State Program for the Development of Agriculture (hereinafter referred to as the State Program)</i>	<i>Ensuring food security, developing exports of agricultural products, developing crop and livestock production, developing the food and processing industry, developing small businesses, digitalizing industries and sub-industries, breeding and genetics, introducing new types of services, services and solutions that optimize production and logistics processes</i>	<i>Indices of agricultural production and food production; the level of average monthly accrued wages of agricultural workers; the volume of exports of agricultural products; the produced gross added value created in agriculture; the index of physical investment in fixed capital; the index of labor productivity; the average number of employees in agriculture</i>
<i>The concept of domestic food aid (hereinafter referred to as the Concept)</i>	<i>Ensuring economic and physical accessibility for certain categories of citizens of the Russian Federation of high-quality food products that contribute to the preservation and strengthening of public health</i>	<i>Provision of certain categories of citizens with high-quality balanced nutrition taking into account rational norms of food consumption; coverage of students in educational institutions with balanced (according to rational norms of food consumption), safe and high-quality nutrition; increase the share of Russian agricultural products and food in ensuring the system of domestic food aid in the Russian Federation</i>

Source: compiled by the authors based on [12–15].

Важное упущение в документах стратегического планирования АПК, на наш взгляд, – отсутствие индикаторов, характеризующих уровень воспроизводства ресурсов производителей и уровень покупательной способности доходов населения как ключевые факторы формирования физической и экономической доступности продукции. Среди таких индикаторов явно напрашиваются показатели доходности продукции и рентабельности бизнеса, уровень цен на покупку продукции, уровень доходов населения и т. п.

Одна из самых проблемных зон, на наш взгляд, в том, что подавляющая часть целевых индикаторов получена прогнозным путем, который, как правило, предполагает копирование сложившейся тенденции «от достигнутого» и перенесение ее на состояние

объекта планирования в перспективе. Хотя для планирования целевого уровня развития сельского хозяйства наилучшим образом подходит принцип «от желаемого». В этой связи проведена оценка соответствия базовых, прогнозных и фактических значений, отраженных в Госпрограмме и годовом отчете Минсельхоза РФ о ее реализации (таблица 3).

Фактическое значение ниже базового (2022 год) по 4 важным показателям: индексу производства продукции сельского хозяйства, произведенной валовой добавленной стоимости, индексу производительности труда, среднесписочной численности работников. Также изначально заложены (план на 2023 год) ниже уровня 2022 года значения по 6 из 8 индикаторов, в особенности настораживают прогнозные значения индикаторов, характеризующих

основные факторы производства – основной капитал и трудовые ресурсы. Здесь авторам непонятна смысловая нагрузка прогнозных значений такого индикатора, как индекс физического объема инвестиций в основной капитал (сразу были заложены ниже базового значения). Считаем, что для достижения амбициозных целей в сфере обеспечения продовольственной безопасности опираться на динамику ресурсов развития АПК следует в последнюю очередь.

Существенные (более 30 %) отклонения фактических значений от плановых (хотя и положительные) наблюдаются сразу по 6 индикаторам. Здесь недостаток процедур планирования заключается в

низкой точности и надежности прогнозов. Считаем, что в данном случае прогнозные оценки индикаторов сильно занижены. Опираясь на сложившуюся динамику, можно констатировать, что они не отражают картину желаемого развития, так как сразу были ориентированы на базовый уровень, в связи с чем и были перевыполнены.

Результаты анализа достижения плановых значений по госпрограммам субъектов РФ показывают, что участники стратегического планирования по сельскому хозяйству в регионах достаточно осторожно «назначают» значения целевых индикаторов развития отраслей АПК (таблица 4).

Таблица 3
Оценка качества прогнозов госпрограммы в 2023 году

Индикаторы	Значение			Отклонение факта	
	2022 г.	план	факт	от плана	от 2022 г.
Индекс производства продукции сельского хозяйства (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года, %	110,5	100,9	110,2	9,3 п. п.	-0,3 п. п.
Индекс производства пищевых продуктов (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года, %	105,3	101,9	111,6	9,7 п. п.	11,2 п. п.
Среднемесячная начисленная заработная плата работников сельского хозяйства, руб.	47 178	41 168	54 635	32,7 %	15,81 %
Объем экспорта продукции агропромышленного комплекса (в сопоставимых ценах), млрд долл.	28,0	28,0	37,6	34,3 %	34,29 %
Произведенная валовая добавленная стоимость, создаваемая в сельском хозяйстве, млрд руб.	5 276,8	3 882,2	5 061,9	30,4 %	-4,07 %
Индекс физического объема инвестиций в основной капитал к 2020 году, %	102,7	83,7	103,3	23,4 п. п.	0,58 п. п.
Индекс производительности труда к предыдущему году, %	110,1	102	102	0,0 п. п.	-7,36 п. п.
Среднесписочная численность работников в сельском хозяйстве, чел.	996 294	997 281	979 405	-1,8 %	-1,70 %

Источник: составлено авторами на основе [18; 19].

Table 3
Assessment of the quality of forecasts of the state program in 2023

Indicators	Value			Deviation of fact from	
	2022	plan	fact	plan	2022
Agricultural production index (in comparable prices) compared to 2020, %	110.5	100.9	110.2	9.3 p. p.	-0.3 p. p.
Food production index (in comparable prices) compared to 2020, %	105.3	101.9	111.6	9.7 p. p.	11.2 p. p.
Average monthly accrued wages of agricultural workers, rubles	47 178	41 168	54 635	32.7 %	15.81 %
Volume of exports of agricultural products (in comparable prices), billion dollars	28.0	28.0	37.6	34.3 %	34.29 %
Gross added value produced in agriculture, billion rubles	5 276.8	3 882.2	5 061.9	30.4 %	-4.07 %
Index of physical volume of investments in fixed capital by 2020, %	102.7	83.7	103.3	23.4 p. p.	0.58 p. p.
Labor productivity index compared to the previous year, %	110.1	102	102	0.0 p. p.	-7.36 p. p.
Average number of employees in agriculture, people	996 294	997 281	979 405	-1.8 %	-1.70 %

Source: compiled by the authors based on [18; 19].

Таблица 4

Анализ уровня плановых значений и его достижения по госпрограммам развития сельского хозяйства субъектов РФ

ЭКОНОМИКА

Индикаторы	Число регионов, в которых	
	план ниже базового значения	не достигнуто плановое значение
Среднемесячная начисленная заработная плата работников сельского хозяйства	2	20
Индекс производства продукции сельского хозяйства (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года	8	30
Индекс производства пищевых продуктов (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года	9	20

Источник: составлено авторами на основе [18; 19].

Table 4

Analysis of the level of planned values and its achievement under state programs for the development of agriculture in the constituent entities of the Russian Federation

Indicators	Number of regions in which	
	plan below baseline	the planned value was not achieved
Average monthly accrued wages of agricultural workers	2	20
Agricultural production index (in comparable prices) compared to 2020	8	30
Food production index (in comparable prices) compared to 2020 level	9	20

Source: compiled by the authors based on [18; 19].

Из 82 субъектов РФ некоторая доля регионов запланировала уровень целевых индикаторов ниже достигнутого в 2022 году (базового) уровня: по среднемесячной заработной плате работников сельского хозяйства – почти 2,5 % регионов, по индексу производства продукции сельского хозяйства – около 9,8% регионов, по индексу производства пищевых продуктов – 11,0 % регионов. При этом не достигли заложенных на 2023 год значений по первому индикатору 24,4 % регионов, по второму – 36,6 %, по третьему – 24,4 %. В связи с этим напрашивается вывод о необходимости не только скорректировать подходы к планированию целевых индикаторов развития сельского хозяйства, но и совершенствовать методы их достижения в интересах решения задач продовольственной безопасности.

На следующем этапе проведена оценка корреляции плановых (прогнозных) значений индикаторов развития сельского хозяйства, отраженных в федеральной и региональных Госпрограммах (таблица 5).

Результаты анализа взаимосвязки плановых индикаторов Госпрограммы развития сельского хозяйства на федеральном и региональных уровнях показывают:

- по индексам производства продукции сельского хозяйства и производства пищевых продуктов различия между средним (медианным) значением на региональном и федеральном уровнях достигают 2,7 процентных пункта;

- показателю среднемесячной зарплаты отклонение несущественно, но разница между минимальным и максимальным прогнозным значением между регионами достигает 5,3 раза. В данном случае принцип социально-экономического выравнивания регионов не выдерживается.

На последнем этапе проведена оценка балансовой увязки плановых (прогнозных) значений индикаторов и ресурсов, отраженных в Госпрограмме развития сельского хозяйства (таблица 6).

Результаты анализа увязки целевых индикаторов и бюджетных ресурсов, выделенных для их достижения, показывают, что коэффициент корреляции между значениями показателей и значениями субсидий достаточно низкий, существенно ниже рекомендуемого уровня 0,7. При этом не прослеживаются никакие возможные функциональные зависимости целевых индикаторов и субсидий (таблица 7).

Результаты эконометрического моделирования показывают, что связь субсидий, выделенных для достижения индикаторов, достаточно сложно описать с помощью широко известных функционалов. Наилучшее значение коэффициента детерминации наблюдается в степенных и полиномиальных моделях только на уровне 5–13 %, что считается неприемлемым для дальнейшего изучения. Здесь напрашивается вывод об отсутствии балансовой увязки между целевыми индикаторами и ресурсным обеспечением устойчивого развития агропродовольственного сектора. Все это в очередной раз указывает на огромную научную проблему и необходимость ее решения в обозримом будущем.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, результаты исследования показали отсутствие гармонизации процесса стратегического планирования развития сельского хозяйства и обеспечения продовольственной безопасности как комплексной проблемы, вытекающей из необходимости формирования физической и экономической доступности продукции во взаимосвязке с рациональными нормами потребления. Во-первых,

наблюдается низкая преемственность приоритетов, целей и задач в документах целеполагания, прогнозирования и планирования. Зачастую приоритеты дублируются из одного документа в другой, в том числе путем введения других категорий, имеющих схожее содержание, либо подменяются целями и задачами. Во-вторых, среди ключевых индикаторов устойчивого развития агропродовольственного сектора достаточно часто встречаются индекс производства продукции и пороговые значения уровня самообеспечения, которые никак не характеризуют достижения и положительные тенденции в сфере норм здорового питания. В этом контексте исследовать полученные результаты целесообразнее на основе системного подхода к оценке индикаторов, характеризующих уровень самообеспечения, динамику производства и потребления продукции, уровень воспроизводства ресурсов производителей и уровень покупательной способности доходов населения. В-третьих, подавляющая часть целевых индикаторов получена на основе прогнозных оценок, которые, как правило, предполагают копирова-

ние тенденции «от достигнутого» и перенесение ее на состояние объекта планирования в перспективе. При этом прогнозные оценки индикаторов, опираясь на базовый уровень, были изначально занижены, что и способствовало их перевыполнению. Для оценки целевого уровня развития сельского хозяйства наилучшим образом подходит планирование «от желаемого». Особенно это важно для оценки ресурсов развития АПК, где следует не опираться на сложившуюся динамику, а определять их необходимый объем и ставить задачи по его изысканию. В-четвертых, наблюдается слабая синхронизация прогнозных значений индикаторов развития сельского хозяйства, отраженных в федеральной и региональных госпрограммах. Некоторые индикаторы между отраслевой и территориальными программами, а также между программами субъектов РФ различаются в несколько раз. В-пятых, балансовая увязка целевых индикаторов и бюджетных ресурсов, выделенных для их достижения, практически отсутствует. Связь субсидий и прогнозов не описывается никакими из известных функционалов.

Таблица 5

Оценка взаимосвязи плановых индикаторов Госпрограммы развития сельского хозяйства на федеральном и региональных уровнях

Индикаторы	Описательная статистика по индикаторам региональных госпрограмм (РГП)			Федеральная госпрограмма (ФГП)	Отклонение ФГП от индикаторов РГП	
	Среднее	Медиана	Соотношение максимального и минимального		Среднего	Медианы
Среднемесячная начисленная заработная плата работников сельского хозяйства, руб.	40 601	41 360	5,32 раза	41 168	+1,40 %	-0,46 %
Индекс производства продукции сельского хозяйства (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года, %	103,6	102,6	1,31 раза	100,9	-2,7 п. п.	-1,7 п. п.
Индекс производства пищевых продуктов (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года, %	104,6	103,0	1,46 раза	101,9	-2,7 п. п.	-1,1 п. п.

Источник: составлено авторами на основе [18; 19].

Table 5

Evaluation of the relationship between the planned indicators of the State Program for the Development of Agriculture at the federal and regional levels

Indicators	Descriptive statistics on indicators of regional state programs (RSP)			Federal State Program (FSP)	Deviation of FSP from RSP indicators	
	Average	Median	Maximum to minimum ratio		Average	Medians
Average monthly accrued wages of agricultural workers, rubles	40 601	41 360	5.32 times	41 168	+1.40 %	-0.46 %
Agricultural production index (in comparable prices) compared to 2020, %	103.6	102.6	1.31 times	100.9	-2.7 p. p.	-1.7 p. p.
Food production index (in comparable prices) compared to 2020 level, %	104, 6	103.0	1.46 times	101.9	-2.7 p. p.	-1.1 p. p.

Source: compiled by the authors based on [18; 19].

Таблица 6
Оценка увязки целевых индикаторов и ресурсов (субсидий) устойчивого развития агропродовольственного сектора

Индикатор	Коэффициент корреляции
Среднемесячная начисленная заработная плата работников сельского хозяйства, руб.	-0,06
Индекс производства продукции сельского хозяйства (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года, %	0,30
Индекс производства пищевых продуктов (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года, %	0,29

Источник: составлено авторами на основе [18; 20].

Table 6
Evaluation of the linkage between target indicators and resources (subsidies) for sustainable development of the agri-food sector

Indicator	Correlation coefficient
Average monthly accrued wages of agricultural workers, rubles	-0.06
Agricultural production index (in comparable prices) compared to 2020, %	0.30
Food production index (in comparable prices) compared to 2020 level, %	0.29

Source: compiled by the authors based on [18; 20].

Таблица 7
Оценка функциональной зависимости целевых индикаторов и ресурсов (субсидий) устойчивого развития агропродовольственного сектора

Индикатор	Коэффициент детерминации в моделях					Релевантная модель	Фактор
	Линейная	Логарифмическая	Экспоненциальная	Полномиальная	Степенная		
Среднемесячная начисленная заработная плата работников сельского хозяйства (Y_1), руб.	0,00	0,04	0,00	0,03	0,05	$Y_1 = 49\,566 \times X^{0,034}$	X – субсидии, выделенные для достижения целевых индикаторов
Индекс производства продукции сельского хозяйства (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года (Y_2), %	0,09	0,11	0,09	0,10	0,11	$Y_2 = 93,07 \times X^{0,015}$	
Индекс производства пищевых продуктов (в сопоставимых ценах) к уровню 2020 года (Y_3), %	0,09	0,11	0,09	0,13	0,11	$Y_3 = -2 \times 10^{-7} \times X^2 + 0,003 \times X + 101,1$	

Источник: составлено авторами на основе [18; 20].

Table 7
Evaluation of the functional dependence of target indicators and resources (subsidies) for sustainable development of the agri-food sector

Indicator	Coefficient of determination in models					Relevant model	Factor
	Linear	Logarithmic	Exponential	Polynomial	Degree		
Average monthly accrued wages of agricultural workers (Y_1), rubles	0,00	0,04	0,00	0,03	0,05	$Y_1 = 49\,566 \times X^{0,034}$	X – subsidies allocated to achieve target indicators
Agricultural production index (in comparable prices) compared to 2020 (Y_2), %	0,09	0,11	0,09	0,10	0,11	$Y_2 = 93.07 \times X^{0,015}$	
Food production index (in comparable prices) compared to 2020 level (Y_3), %	0,09	0,11	0,09	0,13	0,11	$Y_3 = -2 \times 10^{-7} \times X^2 + 0.003 \times X + 101.1$	

Source: compiled by the authors based on [18, 20]

Библиографический список

1. Беспехотный Г. В. Планирование господдержки сельскохозяйственных предприятий: централизация или «регионализация»? // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2020. № 11. С. 11–15. DOI: 10.31442/0235-2494-2020-0-11-11-15.
2. Алтухов А. И. Приоритеты в обеспечении продовольственной безопасности в условиях глобальных вызовов // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 8. С. 2–11. DOI: 10.32651/248-2.
3. Закшевский В. Г., Богомолова И. П., Василенко И. Н., Ибрагимов Р. И. Развитие агропродовольственного сектора России в условиях современных вызовов // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2025. № 1 (119). С. 20–31. DOI: 10.33938/251-20.
4. Ksenofontov M. Y., Polzikov D. A., Gol'denberg I. A., Sitnikov P. V. Methodological problems of the formation of the concept of food security in Russia // Studies on Russian Economic Development. 2018. Vol. 29, No. 5. Pp. 551–557. DOI: 10.1134/S1075700718050088.
5. Самыгин Д. Ю., Иванов А. А., Губанова Е. В. Стратегические прогнозы частичного равновесия физической и экономической доступности продукции // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 6. С. 111–120. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-111-120.
6. Киселев С. В., Ромашкин Р. А., Белугин А. Ю. Агропродовольственный экспорт России до 2030 г.: прогноз на основе модели частичного равновесия // Журнал Новой экономической ассоциации. 2022. № 4 (56). С. 69–90. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-56-4-4.
7. Erokhin V. Samygin D., Gao T. Spatial development of agricultural production in Russia: The comparative advantages approach // Journal of Infrastructure, Policy and Development. 2024. Vol. 8, No. 8. Article number 5614. DOI: 10.24294/jipd.v8i8.5614.
8. Сутыгина А. И. Национальная продовольственная независимость в условиях кризиса // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 6. С. 2–8.
9. Жилияков Д. И., Петрушина О. В. Разработка модели и методики оценки эффективности государственного регулирования развития сельского хозяйства // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 4 (75). С. 169–179.
10. Ушачев И. Г., Колесников А. В. Научные подходы к оценке обеспечения продовольственной безопасности и продовольственной независимости Российской Федерации // АПК: экономика, управление. 2022. № 3. С. 3–18. DOI: 10.33305/223-3.
11. Крылатых Э. Н., Фролова Е. Ю. О методологии анализа агропродовольственных рынков как базы прогнозирования их развития // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2021. № 5. С. 2–7. DOI: 10.31442/0235-2494-2021-0-5-2-7.
12. Указ Президента РФ от 21.01.2020 № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/73438425> (дата обращения: 20.02.2025).
13. Постановление Правительства РФ от 14.07.2012 № 717 (ред. от 25.12.2024) «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/70210644> (дата обращения: 20.02.2025).
14. Распоряжение Правительства РФ от 03.07.2014 № 1215-р «Об утверждении Концепции развития внутренней продовольственной помощи в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/70689502> (дата обращения: 20.02.2025).
15. Распоряжение Правительства РФ от 08.09.2022 № 2567-р (ред. от 07.02.2025) «Об утверждении Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/405272287> (дата обращения: 20.02.2025).
16. Барышников Н. Г., Самыгин Д. Ю., Жилияков Д. И., Петрушина О. В. Стратегические подходы и методы отраслевого и территориального планирования аграрного сектора // Международный сельскохозяйственный журнал. 2025. Т. 68, № 1 (403). С. 90–94. DOI: 10.55186/25876740_2025_68_1_90.
17. Мусьял А. В., Жилияков Д. И., Виткалова С. О., Петрушина О. В. Взаимосвязь финансовой устойчивости и эффективности деятельности на предприятиях свиноводческой отрасли // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 10. С. 1359–1370. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-10-1359-1370.
18. Годовой отчет о ходе реализации Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717, за 2023 год [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/activity/state-support/programs/program-2013-2020/> (дата обращения: 11.02.2025).
19. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 4 июля 2024 г. № 1755-р О национальном докладе о ходе и результатах реализации в 2023 г. Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, утвержденной

постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717 [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/409312192/> (дата обращения: 11.02.2025).

20. Информация о доведении средств государственной поддержки до бюджетополучателей за 2023 год [Электронный ресурс]. URL: <https://mcs.gov.ru/activity/state-support/funding/info-arkhiv1275> (дата обращения: 10.03.2025).

Об авторах:

Денис Юрьевич Самыгин, доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и финансы», Пензенский государственный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-5715-1227, AuthorID 519460. E-mail: vekont82@pnzgu.ru

Алексей Викторович Носов, кандидат экономических наук, проректор по научно-исследовательской работе, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-1112-3116, AuthorID 662303. E-mail: nosov.a.v@pgau.ru

Юсеф Джафярович Бахтеев, доктор экономических наук, профессор кафедры «Менеджмент и государственное управление», Пензенский государственный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0002-2147-8682, AuthorID 270611. E-mail: udbahteev@yandex.ru

Денис Александрович Мурзин, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Финансы и информатизация бизнеса», Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0009-0009-0764-9391, AuthorID 636341. E-mail: murzin.d.a@pgau.ru

References

1. Bepakhotnyy G. V. Planning of state support for agricultural enterprises: centralization or “regionalization”? *Economy of Agricultural and Processing Enterprises*. 2020; 11: 11–15. DOI: 10.31442/0235-2494-2020-0-11-11-15. (In Russ.)
2. Altukhov A. I. Priorities in ensuring food security in the context of global challenges. *Economy of Agriculture in RUSSIA*. 2024; 8: 2–11. DOI: 10.32651/248-2. (In Russ.)
3. Zakshevskiy V. G. Bogomolova I. P., Vasilenko I. N., Ibragimov R. I. Development of the agri-food sector of Russia in the face of modern challenges. *Economy, Labor, Management in Agriculture*. 2025; 1 (119): 20–31. DOI: 10.33938/251-20. (In Russ.)
4. Ksenofontov M. Y., Polzиков D. A., Gol'denberg I. A., Sitnikov P. V. Methodological Problems of the Formation of the Concept of Food Security in Russia. *Studies on Russian economic development*. 2018; 29 (5): 551–557. DOI: 10.1134/S1075700718050088.
5. Samygin D. Yu., Ivanov A. A., Gubanova E. V. Strategic forecasts of partial equilibrium of the products physical and economic accessibility. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (6): 111–120. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-111-120. (In Russ.)
6. Kiselev S. V., Romashkin R. A., Belugin A. Yu. Russia's agri-food exports until 2030: Projection from a partial equilibrium model. *Journal of the New Economic Association*. 2022; 4 (56): 69–90. DOI: 10.31737/2221-2264-2022-56-4-4. (In Russ.)
7. Erokhin V. Samygin D., Gao T. Spatial development of agricultural production in Russia: the comparative advantages approach. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. 2024; 8 (8): 5614. DOI: 10.24294/jipd.v8i8.5614.
8. Sutygina A. I. National food independence in crisis. *Economics of Agriculture of Russia*. 2020; 6: 2–8. (In Russ.)
9. Zhilyakov D. I., Petrushina O. V. Building of the model and methodology for assessing the effectiveness of state regulation of agricultural development. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2022; 15 (4): 169–179. (In Russ.)
10. Ushachev I. G., Kolesnikov A. V. Scientific approaches to assessing food security and food independence of the Russian Federation. *AIC: Economics, Management*. 2022; 3: 3–18. DOI: 10.33305/223-3. (In Russ.)
11. Krylatykh E. N., Frolova E. Yu. On the methodology of analysis of agri-food markets as a basis for forecasting their development. *Economics of Agricultural and Processing Enterprises*. 2021; 5: 2–7. DOI: 10.31442/0235-2494-2021-0-5-2-7. (In Russ.)
12. Decree of the President of the Russian Federation of 21.01.2020 No. 20 “On approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation” [Internet] [cited 2025 Feb 20]. Available from: <https://base.garant.ru/73438425>. (In Russ.)
13. RF Government Resolution No. 717 of 14.07.2012 (as amended on 25.12.2024) “On the State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials, and Food Markets” [Internet] [cited 2025 Feb 20]. Available from: <https://base.garant.ru/70210644>. (In Russ.)

14. RF Government Order No. 1215-r of 03.07.2014 “On Approval of the Concept for the Development of Domestic Food Aid in the Russian Federation” [Internet] [cited 2025 Feb 20]. Available from: <https://base.garant.ru/70689502>. (In Russ.)

15. RF Government Order No. 2567-r of 08.09.2022 (as amended on 07.02.2025) “On Approval of the Strategy for the Development of the Agro-Industrial and Fisheries Complexes of the Russian Federation through 2030” [Internet] [cited 2025 Feb 20]. Available from: <https://base.garant.ru/405272287>. (In Russ.)

16. Baryshnikov N. G., Samygin D. Yu., Zhilyakov D. I., Petrushina O. V. Strategic approaches and methods of sectoral and territorial planning of the agricultural sector. *International Agricultural Journal*. 2025; 68 (1): 90–94. DOI: 10.55186/25876740_2025_68_1_90. (In Russ.)

17. Musyal A. V., Zhilyakov D. I., Vitkalova S. O., Petrushina O. V. The relationship of financial stability and efficiency of activities at the enterprises of the pig industry. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (10): 1359–1370. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-10-1359-1370. (In Russ.)

18. Annual report on the implementation of the State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets, approved by Decree of the Government of the Russian Federation of July 14, 2012 No. 717, for 2023 [Internet] [cited 2025 Feb 11]. Available from: <https://mcx.gov.ru/activity/state-support/programs/program-2013-2020>. (In Russ.)

19. Order of the Government of the Russian Federation of July 4, 2024 No. 1755-r On the national report on the progress and results of the implementation in 2023 of the State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Agricultural Products, Raw Materials and Food Markets, approved by Decree of the Government of the Russian Federation of July 14, 2012 No. 717 [Internet] [cited 2025 Feb 11]. Available from: <https://base.garant.ru/409312192>. (In Russ.)

20. Information on the delivery of state support funds to budget recipients for 2023 [Internet] [cited 2025 Mar 10]. Available from: <https://mcx.gov.ru/activity/state-support/funding/info-arkhiv1275>. (In Russ.)

Authors' information:

Denis Yu. Samygin, doctor of economic sciences, professor, Penza State University, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-5715-1227, AuthorID 519460. *E-mail: vekont82@pnzgu.ru*

Aleksey V. Nosov, candidate of economic sciences, vice-rector for research, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-1112-3116, AuthorID 662303. *E-mail: nosov.a.v@pgau.ru*

Yusef D. Bakhteev, doctor of economic sciences, professor, Penza State University, Penza, Russia; ORCID 0000-0002-2147-8682, AuthorID 270611. *E-mail: udbahteev@yandex.ru*

Denis A. Murzin, candidate of economic sciences, associate professor, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0009-0009-0764-9391, AuthorID 636341. *E-mail: murzin.d.a@pgau.ru*

Оценка уровня продовольственного самообеспечения индустриального региона (на примере Свердловской области)

И. П. Чупина[✉], В. И. Набоков, Т. В. Зырянова

Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

[✉]E-mail: irinacupina716@gmail.com

Аннотация. Продовольственная независимость страны и ее регионов является неотъемлемой частью экономической безопасности, уровень которой зависит от самообеспеченности основными сельскохозяйственными продуктами внутреннего рынка. **Цель** статьи заключается в анализе и оценке самообеспеченности основными сельскохозяйственными продуктами индустриального региона. В работе применяются комплексные **методы**: анализ действующего законодательства (Указ Президента Российской Федерации «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации»); статистический анализ результатов реализации государственной поддержки, федеральных и региональных программ по модернизации сельскохозяйственных отраслей региона; приведен сравнительный метод оценки продовольственной независимости регионов Уральского федерального округа. Метод факторного анализа показывает зависимость фактического объема производства видов продукции в регионе в конечном и базовом периоде. **Научная новизна** исследования состоит в авторском подходе к оценке уровня устойчивости продовольственного самообеспечения индустриального региона при помощи коэффициента устойчивости продовольственного самообеспечения, а также фактического объема производства в конечном и базовом периоде. Основные **результаты** исследования, отраженные в тексте статьи, демонстрируют, что поддержка отечественного АПК является необходимым условием для выполнения нормативов Доктрины продовольственной безопасности в стране и отдельно в каждом ее регионе. Отмечается позитивная динамика в дальнейшем развитии отраслей сельского хозяйства с применением инновационных технологий.

Ключевые слова: продовольственная независимость, сельскохозяйственное производство, Доктрина продовольственной безопасности, импортозамещение, трансформация производственных мощностей

Для цитирования: Чупина И. П., Набоков В. И., Зырянова Т. В. Оценка уровня продовольственного самообеспечения индустриального региона (на примере Свердловской области) // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 394–404. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-394-404>.

Дата поступления статьи: 12.01.2025, **дата рецензирования:** 21.12.2025, **дата принятия:** 26.12.2025.

Assessment of the level of food self-sufficiency in an industrial region (using the Sverdlovsk region as an example)

I. P. Chupina[✉], V. I. Nabokov, T. V. Zyryanova
Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia
[✉]E-mail: irinacupina716@gmail.com

Abstract. Food independence of the country and its regions is an integral part of economic security, the level of which depends on self-sufficiency in basic agricultural products on the domestic market. **The purpose** of this article is to analyze and evaluate self-sufficiency in basic agricultural products in an industrial region. The study utilizes a combination of **methods**: an analysis of current legislation (Decree of the President of the Russian Federation “On Approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation”); a statistical analysis of the results of state support, federal and regional programs for the modernization of agricultural sectors in the region; and a comparative method for assessing the food independence of regions in the Ural Federal District. The factor analysis method shows the dependence of the actual volume of production of types of products in the region in the final and base periods. **The scientific novelty** of this study lies in the author's approach to assessing the sustainability of food self-sufficiency in an industrial region using the regional food self-sufficiency sustainability index, as well as the actual production volume in the final and base periods. The main **results** of the study, presented in the text of the article, demonstrate that support for the domestic agricultural sector is a necessary condition for meeting the standards of the Food Security Doctrine in the country and in each of its regions. Positive trends in the further development of agricultural sectors using innovative technologies are noted.

Keywords: food independence, agricultural production, food security doctrine, import substitution, transformation of production capacities

For citation: Chupina I. P., Nabokov V. I., Zyryanova T. V. Assessment of the level of food self-sufficiency of an industrial region (using the Sverdlovsk region as an example). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02); 394–404. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-394-404>. (In Russ.)

Date of paper submission: 12.01.2025, **date of review:** 21.12.2025, **date of acceptance:** 26.12.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Доктрина продовольственной безопасности в РФ, утвержденная 01 февраля 2010 года, с изменениями и дополнениями от 10 марта 2025 года является основным документом государственной экономической политики в области обеспечения продовольственной безопасности страны [1]. По итогам 2024 года РФ занимает первое место по экспортным поставкам пшеницы, ячменя и подсолнечного масла. Российская продукция сельского хозяйства экспортируется в 160 стран мира.

Продовольственная безопасность является одним из основных направлений национальной безопасности и выступает существенным фактором сохранения суверенитета страны. Санкции против Российской Федерации повысили значимость продовольственной безопасности страны за счет собственных ресурсов самообеспечения сельскохозяйственной продукцией, а ненадежность зарубежных компаний, которые прекратили поставку продовольственных товаров в Россию, сделали приоритетом самообеспеченность регионов России основными продуктами питания. Возникла необхо-

димость в качественной модернизации внутреннего производства в сфере АПК для импортозамещения. В условиях нарастающих вызовов, связанных с глобальными изменениями в мировой торговле и политике, в числе приоритетов встали задачи ускоренной и качественной трансформации производственных мощностей, рационального использования ресурсов и повышения конкурентоспособности отечественной продукции [11].

Методология и методы исследования (Methods)

Методология основана на комплексном подходе к исследованию продовольственного самообеспечения регионов страны с использованием интегральных показателей. Теоретической основой служат статистические данные по устойчивому развитию сельскохозяйственных организаций, эффект мультипликатора в экономике сельских регионов. В качестве методов исследования применяется статистический анализ данных по самообеспеченности России и регионов Уральского федерального округа основными сельскохозяйственными продуктами отечественного производства; сравнительный анализ дает представление о регионах Уральского

федерального округа по самообеспеченности основными видами продукции; метод факторного анализа позволяет анализировать коэффициент устойчивости продовольственного самообеспечения региона, в который входят фактический объем производства сельскохозяйственной продукции в регионе, численность населения, сумма значений нормативов питания и индекс расхода ресурсов. Так как Свердловская область является индустриальным регионом и по географическому положению находится на территории суровых климатических условий, то полная самообеспеченность региона основными сельскохозяйственными продуктами может быть только по таким показателям, как яйцо, рыбная продукция и картофель. Полностью обеспе-

чить население региона овощной продукцией, зерном и ягодными культурами в настоящее время не представляется возможным. Это показано в таблице 1. Несмотря на то что в Свердловской области успешно работает Свердловская опытная станция по садоводству, которая выводит сорта ягодных и плодовых культур, пригодных для сурового уральского климата, пока этого недостаточно для полного самообеспечения региона. Необходимо создание фруктово-ягодных садов в каждом муниципальном районе Свердловской области, как это было до 1990-х годов. Тогда каждый муниципалитет будет вносить свой вклад в самообеспеченность Свердловской области овощными, ягодными культурами и фруктами.

Таблица 1
Самообеспеченность основными продуктами питания населения РФ, %

№ п/п	Основные виды сельскохозяйственных продуктов	Норма обеспеченности в соответствии с Доктриной	Самообеспеченность РФ	Самообеспеченность Уральского федерального округа	Самообеспеченность Свердловской области
1	Зерно	95	191	96	62
2	Сахар	90	101	100	100
3	Растительное масло	90	192	100	100
4	Мясо и мясопродукты	85	101	85	55
5	Молоко и молокопродукты	90	85	73	78
6	Яйцо	90	98	114	111
7	Рыба и рыбопродукты	85	165	106	104
8	Картофель	95	94	95	89
9	Овощи и бахчевые	90	88	46	33
10	Фрукты и ягоды	60	47	19	25
11	Соль пищевая	85	64	63	63

Table 1
Self-sufficiency in basic food products of the population of the Russian Federation, %

Item No.	Main types of agricultural products	Standard of security in accordance with the Doctrine	Self-sufficiency of the Russian Federation	Self-sufficiency of the Ural Federal District	Self-sufficiency of the Sverdlovsk region
1	Wheat	95	191	96	62
2	Sugar	90	101	100	100
3	Vegetable oil	90	192	100	100
4	Meat and meat products	85	101	85	55
5	Milk and dairy products	90	85	73	78
6	Egg	90	98	114	111
7	Fish and fish products	85	165	106	104
8	Potato	95	94	95	89
9	Vegetables and melons	90	88	46	33
10	Fruits and berries	60	47	19	25
11	Table salt	85	64	63	63

Результаты (Results)

Продовольственная независимость определяется уровнем самообеспеченности страны необходимыми продовольственными продуктами в процентном соотношении и объемом потребления. Поэтому по данным показателям мы имеем следующие значения, которые представлены в таблице 1 [4].

Доля импортной соли на российском рынке за последние три года составляет в среднем 32 %. Основными поставщиками соли в РФ являются Беларусь и Казахстан, также поставляют Иран, Турция и Азербайджан. Внутренний рынок данным продуктом обеспечивают Приволжский федеральный округ, где находятся крупные соляные месторождения – Баскунчакское и Илецкое, а также Сибирский федеральный округ, занимающий второе место по объемам соли на внутреннем рынке [12].

Импорт сахара, несмотря на полную самообеспеченность, увеличился в 2024 году на 43 % и составил 273 тыс. тонн. Практически весь импортный сахар поставляется из Республики Беларусь [7].

Из таблицы 1 видно, что самообеспеченность фруктами и ягодами в целом по стране ниже порогового значения Доктрины продовольственной безопасности на 13 %, а в Уральском федеральном округе и Свердловской области эти показатели составляют не более 19 % и 25 % соответственно [5].

Внушительные объемы импортных поставок сохраняются за цитрусовыми, бананами, виноградом. Климатические условия России не позволяют производить также такие культуры, как инжир и финики. Основных поставщиков фруктов и ягодных культур в РФ рассмотрим в таблице 2 [6; 14].

Таблица 2

Основные экспортеры фруктов и ягодных культур в РФ

№ п/п	Страна-производитель	Основные виды поставок фруктов и ягод в РФ
1	Эквадор	Бананы, ананасы, кофе
2	Турция	Томаты, цитрусовые, виноград (40 % импорта в РФ), орехи
3	Марокко	Мандарины, ранние овощи, клубника, кабачки, томаты
4	Китай	Картофель, лук, чеснок, капуста, томаты, яблоки
5	Аргентина	Цитрусовые (лимоны), груши, яблоки, виноград
6	Нидерланды	Овощи (картофель, лук, томаты, перец) и фрукты
7	Индия	Бананы, манго, ананасы, папайя и гуава
8	Египет	Цитрусовые, экзотические фрукты (манго, ананасы, папайя и гуава)
9	Азербайджан	Яблоки, груши, персики, слива, вишня, дыни, арбузы, томаты, перцы, кабачки, огурцы, лук, чеснок, сухофрукты
10	Узбекистан	Виноград
11	Армения	Финики, инжир, томаты, перец, кабачки, ягодные культуры, огурцы, сухофрукты, лук, чеснок
12	Иран	Салатные овощи, перец, кабачки
13	Республика Беларусь	Корнеплоды (морковь, репа, свекла, сельдерей, редис)

Table 2
The main exporters of fruits and berries in the Russian Federation

Item no.	Country of origin	Main types of fruit and berry supplies to the Russian Federation
1	Ecuador	Bananas, pineapples, coffee
2	Turkey	Tomatoes, citrus fruits, grapes (40 % of imports to the Russian Federation), nuts
3	Morocco	Tangerines, early vegetables, strawberries, zucchini, tomatoes
4	China	Potatoes, onions, garlic, cabbage, tomatoes, apples
5	Argentina	Citrus fruits (lemons), pears, apples, grapes
6	Netherlands	Vegetables (potatoes, onions, tomatoes, peppers) and fruits
7	India	Bananas, mangoes, pineapples, papayas and guavas
8	Egypt	Citrus fruits, exotic fruits (mango, pineapple, papaya and guava)
9	Azerbaijan	Apples, pears, peaches, plums, cherries, melons, watermelons, tomatoes, peppers, zucchini, cucumbers, onions, garlic, dried fruits
10	Uzbekistan	Grape
11	Armenia	Dates, figs, tomatoes, peppers, zucchini, berries, cucumbers, dried fruits, onions, garlic
12	Iran	Salad vegetables, peppers, zucchini
13	Republic of Belarus	Root vegetables (carrots, turnips, beets, celery, radishes)

Несмотря на то что российский рынок овощей и фруктово-ягодной продукции ежегодно увеличивается на 8–10 %, импортная зависимость еще довольно существенна. Одна из причин импортных поставок в страну фруктов – непригодные климатические условия [13]. Например, бананы и некоторые экзотические фрукты в стране можно выращивать только в тепличных условиях, для чего потребуются огромные инвестиционные вложения. Причиной импортных поставок овощей является отсутствие современных технологий по хранению овощей и фруктов. Поскольку не можем сохранить свою продукцию, закупаем импортную [2; 15].

Одним из интересных фактов является импорт картофеля из Китая. Самообеспеченность РФ картофелем составляет более 100 %, Россия является третьим в мире государством по объему производства картофеля. Но дело в том, что из Китая везти картофель на Дальний Восток проще и дешевле,

чем из отдаленных регионов страны. Картофель в Россию поставляют и Нидерланды, которые увеличили свой экспорт за последние два года в среднем на 40 %. Причина закупок импортного картофеля заключается и в том, что в России данный продукт потребляют в большом количестве, а современных овощных хранилищ по-прежнему не хватает для хранения [9].

За последние 10 лет сельское хозяйство страны достигло значительных успехов по импортозамещению яблок, груш и бахчевых культур. Доля отечественных яблок выросла с 30 % до 80 %. Основными производителями являются хозяйства Краснодарского и Ставропольского краев, а также Северной Осетии. Большую долю вносят и фермерские хозяйства в центральной части страны. Увеличивается доля отечественных ягодных культур: винограда, малины, клубники. Данные показатели рассмотрим в таблицах 3 и 4 [10].

Таблица 3
Производство фруктов в РФ (в хозяйствах всех категорий), тыс. тонн

Год	Яблоки	Абрикосы	Груши	Сливы	Персики и нектарины
2020	2041	73	74	182	39
2021	2215	79	79	198	43
2022	2380	85	85	212	46
2023	2083	74	76	189	42
2024	2085	76	78	195	44

Table 3
Fruit production in the Russian Federation (in farms of all categories), thousand tons

Year	Apples	Apricots	Pears	Plums	Peaches and nectarines
2020	2041	73	74	182	39
2021	2215	79	79	198	43
2022	2380	85	85	212	46
2023	2083	74	76	189	42
2024	2085	76	78	195	44

Таблица 4
Производство ягод в РФ (в хозяйствах всех категорий), тыс. тонн

Год	Вишня	Черешня	Виноград	Смородина	Малина	Клубника	Арбузы	Крыжовник
2020	255	52	682	437	182	218	1584	73
2021	277	55	751	474	198	237	1899	79
2022	296	59	890	485	210	245	1883	86
2023	268	56	884	531	219	261	1770	87
2024	271	58	892	499	211	263	1821	88

Table 4
Berry production in the Russian Federation (in farms of all categories), thousand tons

Year	Cherry	Cherries	Grape	Currant	Raspberry	Strawberry	Watermelons	Gooseberry
2020	255	52	682	437	182	218	1584	73
2021	277	55	751	474	198	237	1899	79
2022	296	59	890	485	210	245	1883	86
2023	268	56	884	531	219	261	1770	87
2024	271	58	892	499	211	263	1821	88

Самообеспеченность Уральского федерального округа основными продуктами питания представлена в таблицах 5–8.

Для сохранения урожая картофеля в регионах УФО ежегодно строятся картофелехранилища и овощехранилища. На начало 2025 года Уральский федеральный округ обеспечен местами для хранения картофеля и овощей на 89 %.

Из таблиц 5–8 видно, что самообеспеченность Уральского федерального округа и отдельно взятой Свердловской области основными продуктами почти соответствует показателям Доктрины продовольственной безопасности, за исключением фруктов и ягодных культур [8].

Таблица 5
Производство молока в хозяйствах всех категорий в 2024 году в регионах Уральского федерального округа

Место в рейтинге	Регионы УФО	Производство молока (тыс. тонн)	Поголовье КРС в хозяйствах всех категорий (тыс. голов)	Надой молока на одну корову в с/х организациях в 2024 г. (кг)
1	Свердловская область	880	258	10 400
2	Тюменская область	525	196	8 900
3	Челябинская область	352	204	8 300
4	Курганская область	159	120	6 020
5	Ханты-Мансийский автономный округ	20,3	12,8	4 400
6	Ямало-Ненецкий автономный округ	2,8	1,1	4 360

Table 5
Milk production in farms of all categories in 2024 in the regions of the Ural Federal District

Place in the ranking	Regions of the Ural Federal District	Milk production (thousand tons)	Cattle population in farms of all categories (thousands of heads)	Milk yield per cow in agricultural organizations in 2024 (kg)
1	Sverdlovsk region	880	258	10 400
2	Tyumen region	525	196	8 900
3	Chelyabinsk region	352	204	8 300
4	Kurgan region	159	120	6 020
5	Khanty-Mansi Autonomous Okrug	20,3	12,8	4 400
6	Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	2,8	1,1	4 360

Таблица 6
Валовой сбор картофеля в хозяйствах всех категорий в Уральском федеральном округе (тыс. тонн)

Уральский федеральный округ	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Место, занимаемое в РФ
Свердловская область	206	240	253	6
Курганская область	112	104	102	44
Челябинская область	191	206	219	13
Тюменская область	130	136	148	17
Ханты-Мансийский автономный округ	12	14	14	68
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,8	0,7	0,8	82

Table 6
Gross potato harvest in farms of all categories in the Ural Federal District (thousand tons)

Ural Federal District	2022	2023	2024	Place occupied in the Russian Federation
Sverdlovsk region	206	240	253	6
Kurgan region	112	104	102	44
Chelyabinsk region	191	206	219	13
Tyumen region	130	136	148	17
Khanty-Mansi Autonomous Okrug	12	14	14	68
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	0.8	0.7	0.8	82

Таблица 7

Валовой сбор овощей открытого грунта в Уральском федеральном округе (тыс. тонн)

Уральский федеральный округ	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Место, занимаемое в РФ
Свердловская область	32	34	36	23
Курганская область	22	17	19	46
Челябинская область	34	46	49	22
Тюменская область	30	29	31	26
Ханты-Мансийский автономный округ	0,6	0,4	0,4	69
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,1	0,1	0,1	83

Table 7

Gross harvest of open-field vegetables in the Ural Federal District (thousand tons)

Ural Federal District	2022	2023	2024	Place occupied in the Russian Federation
Sverdlovsk region	32	34	36	23
Kurgan region	22	17	19	46
Chelyabinsk region	34	46	49	22
Tyumen region	30	29	31	26
Khanty-Mansi Autonomous Okrug	0.6	0.4	0.4	69
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	0.1	0.1	0.1	83

Таблица 8

Валовой сбор плодово-ягодных культур в хозяйствах всех категорий в Уральском федеральном округе (тыс. тонн)

Уральский федеральный округ	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Место, занимаемое в РФ
Курганская область	19	17	18	50
Свердловская область	52	50	53	21
Тюменская область	20	21	23	48
Челябинская область	43	45	45	26
Ханты-Мансийский автономный округ	6	5	7	65
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,0	0,0	0,0	83

Table 8

Gross harvest of fruit and berry crops in farms of all categories in the Ural Federal District (thousand tons)

Ural Federal District	2022	2023	2024	Place occupied in the Russian Federation
Kurgan region	19	17	18	50
Chelyabinsk region	52	50	53	21
Tyumen region	20	21	23	48
Chelyabinsk region	43	45	45	26
Khanty-Mansi Autonomous Okrug	6	5	7	65
Yamalo-Nenets Autonomous Okrug	0.0	0.0	0.0	83

Для преодоления порогового значения Доктрины продовольственной безопасности по фруктам и ягодным культурам в Свердловской области эти задачи решает Свердловская опытная станция по садоводству (Свердловская ССС). Основной задачей станции является совершенствование ассортимента плодовых и ягодных культур для условий Урала. Ежегодно на опытной станции создаются новые высокоурожайные сорта фруктов и ягод для зоны рискованного земледелия. По данным таблицы 9 проанализируем работу Свердловской ССС в государственном реестре селекционных достижений РФ.

Большое значение в преодолении пороговых значений Доктрины продовольственной безопас-

ности по овощным культурам имеет и кафедра овощеводства и плодородства имени Н. Ф. Коняева в УрГАУ. Научные разработки кафедры рассмотрим в таблице 10.

В Артемовском районе Свердловской области в питомнике «Сады Урала» имени А. Н. Миролеевой также занимаются выращиванием плодово-ягодных культур.

В 2018 году первый промышленный фруктовый сад в Свердловской области был заложен студентами факультета агротехнологий и землеустройства Уральского государственного аграрного университета. Было высажено 480 саженцев яблонь и груш уральской селекции.

**Сорта плодовых и ягодных культур селекции Свердловской ССС,
включенные в Государственный реестр селекционных достижений на 2025 год**

№ п/п	Саженцы	Сорта культуры
1	Яблоня – 20 сортов	Аксена, Серебряное копытце, Горнист и др.
2	Груша – 11 сортов	Радужная, Чусовая, Заречная и др.
3	Малина – 10 сортов	Высокая, Бархатная, Муза и др.
4	Жимолость – 15 сортов	Нимфа, Полянка Котова, Золушка и др.
5	Черная смородина – 10 сортов	Добрый Джинн, Фортуна, Славянка и др.
6	Красная смородина – 5 сортов	Йонкер ван Тетс, Ненаглядная, Ред лейк и др.
7	Белая смородина – 2 сорта	Уральская десертная, Уральская белая
8	Облепиха – 7 сортов	Пантелеевская, Чуйская, Великан и др.
9	Черная рябина – 1 сорт	Арония
10	Вишня степная – 10 сортов	Мечта Зауралья, Ожерелье, Пламенная и др.
11	Вишня песчаная – 4 сорта	Кармен, Эстафета, Северянка и др.
12	Земляника – 9 сортов	Виола, Орлец, Акварель и др.
13	Крыжовник – 3 сорта	Северянин, Уральский виноград, Демидовский
14	Слива китайская – 6 сортов	Пионерка, Содружество, Завет и др.

**Table 9
Fruit and berry crop varieties bred by the Sverdlovsk horticultural selection station,
included in the State Register of Breeding Achievements for 2025**

Item No.	Saplings	Crop varieties
1	Apple – 20 varieties	Aksena, Serebryanoye kopyttse, Gornist, Silver Hoof, Bugler, etc.
2	Pear – 11 varieties	Raduzhnaya, Chusovaya, Zarechnaya, etc.
3	Raspberry – 10 varieties	Vysokaya, Barkhatnaya, Muza, etc.
4	Honeysuckle – 15 varieties	Nimfa, Polyanka Kotova, Zolushka, etc.
5	Black currant – 10 varieties	Dobryy Dzhinn, Fortuna, Slavyanka, etc.
6	Red currant – 5 varieties	Jonkheer van Tets, Beloved, Red Lake, etc.
7	White currant – 2 grades	Ural'skaya desertnaya, Ural'skaya belaya
8	Sea buckthorn – 7 varieties	Panteleevskaya, Chuyskaya, Velikan, etc.
9	Black rowan – 10 variety	Aronia
10	Steppe cherry – 10 varieties	Mechta Zaural'ya, Ozherel'ye, Plamennaya, etc.
11	Sand cherry – 4 varieties	Karmen, Estafeta, Severyanka, etc.
12	Strawberries – 9 varieties	Viola, Orlets, Akvarel', etc.
13	Gooseberry – 3 varieties	Severyanin, Ural'skiy vinograd, Demidovskiy
14	Chinese plum – 6 varieties	Pionerka, Sodruzhestvo, Zavet, etc.

**Таблица 10
Технологии выращивания овощных культур,
разработанные кафедрой овощеводства
и плодородства**

№ п/п	Разработанные технологии
1	Выращивание огурца (<i>Cucumis sativus</i> L.) в условиях малообъемной гидропоники в защищенном грунте
2	Выращивание индетерминантных гетерозисных гибридов томата в условиях тепличной малообъемной гидропоники
3	Производство оригинального, элитного и репродукционного семенного картофеля на Среднем Урале
4	Выращивание кабачка на Среднем Урале
5	Выращивание зеленых и пряно-вкусовых овощных культур
6	Выращивание огурца в весенних необогреваемых теплицах на Среднем Урале
7	Выращивание томата в защищенном грунте на Среднем Урале

**Table 10
Vegetable growing technologies developed
by the Department of vegetable
and fruit growing**

Item no.	Developed technologies
1	Growing cucumber (<i>Cucumis sativus</i> L.) in low-volume hydroponics in protected soil
2	Growing indeterminate heterotic tomato hybrids in greenhouse low-volume hydroponics
3	Production of original, elite and reproductive seed potatoes in the Middle Urals
4	Growing zucchini in the Middle Urals
5	Growing green and spicy vegetable crops
6	Growing cucumbers in unheated spring greenhouses in the Middle Urals
7	Growing tomatoes in protected ground in the Middle Urals

На территории Свердловской области более 60 тысяч садоводов, которые выращивают ягодные культуры на своих садовых участках, что составляет 20 % от потребности региона в данной продукции. По многим показателям самообеспеченности Свердловская область входит в число 20 лидирующих регионов. Например, 6-е место у Свердловской области по самообеспеченности яйцом, 7-е место по производству молочной продукции. Свердловская область лидирует по производству молока среди других регионов Уральского федерального округа. В 39 сельскохозяйственных организациях удой каждой коровы превысил 8 тыс. кг. Лидерами по производству молока на одну корову стали СПК «Килачевский» (12 500 кг на одну корову), ОАО «Птицефабрика „Свердловская“» (11 100 кг).

В связи с тем, что природно-климатические условия на Урале довольно суровые, большая часть овощных культур в регионе производится в хозяйствах населения: примерно 60 % картофеля и более 45 % овощных культур.

Из областного бюджета ежегодно выделяются средства и на развитие аквакультуры в регионе. К предприятиям данного вида относятся ООО «Рефтинский рыбхоз», ООО СХП «РыбПромКомплекс», ООО «Глория – Фиштур» и другие предприятия аквакультуры.

Если говорить о самообеспеченности основными продуктами сельского хозяйства индустриального региона, то здесь нужно знать, какой ценой расхода ресурсов достигается продовольственное самообеспечение региона.

Расчет коэффициента устойчивости роста производства сельскохозяйственной продукции в Уральском федеральном округе и его субъектах осуществляется по следующим формулам:

$$\bar{Q}_i^{\text{пп}} = \frac{\sum_{i=1}^t Q_i}{t}. \quad (1)$$

$$\bar{Q}_i^{\text{по}} = \frac{\sum_{i=1}^t Q_i^{\text{по}}}{t}. \quad (2)$$

где $(\bar{Q}_i^{\text{пп}})$ – среднее значение производства, $(\bar{Q}_i^{\text{по}})$ – среднее значение потребления i -го вида агропродукции.

Из этого следует, что экономическими инструментами поддержки сельскохозяйственных производителей являются, как и ранее, субсидирование части процентной ставки по кредитам; осуществление лизинговых операций с техникой; страхование посевов сельскохозяйственных культур; предоставление субсидий из федерального и региональных бюджетов на осуществление мероприятий по развитию отдельных отраслей АПК региона и переходу на новые технологии.

АПК региона обладает значительным техническим потенциалом для обеспечения механизацией всех процессов производства продукции. В сельскохозяйственных организациях активно внедряется автоматизация в производственных процессах. Практически на всех молочных фермах региона внедряются роботизированные системы доения.

Основными направлениями по обеспечению продовольственной безопасности Свердловской области на 2026 год являются:

- создание условий для удовлетворения спроса населения на сельскохозяйственную продукцию;
- поддержка малого бизнеса в сельской местности;
- повышение эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения на территории региона;
- повышение социальной инфраструктуры села;
- развитие аграрной науки в регионе.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Подводя итоги, нужно отметить следующие моменты. Для дальнейшего развития АПК страны и ее регионов необходима дальнейшая модернизация сельского хозяйства для обеспечения продовольственной независимости.

Обеспечение продовольственной независимости страны будет развиваться успешно при выполнении следующих требований:

- обеспеченность внутреннего рынка основными отечественными видами сельскохозяйственной продукции;
- повышение нормативных требований по безопасности продовольствия;
- экономическая доступность качественных продуктов для населения страны;
- своевременное выявление и прогнозирование внутренних и внешних угроз продовольственной безопасности страны [3].

В Свердловской области необходимо возродить опыт предшествующих десятилетий, когда в каждом муниципалитете региона успешно развивались плодпитомники, которые обеспечивали жителей своего района и жителей Свердловской области овощами, фруктами и ягодными культурами. Возрождение данного направления имеет большое значение по преодолению отставания по показателям потребления фруктов и ягодных культур в регионе.

Недостаточное количество ягодных культур и фруктов, когда спрос превышает отечественное производство, приводит к тому, что цена на данные виды продукции намного превышает ее себестоимость и поэтому для многих жителей региона практически остается недоступной.

На начало 2026 года в Свердловской области можно назвать единственный ягодный кооператив в Сысертском городском округе, основателем которого является М. В. Шкляр. Это самая большая ягод-

ная плантация в регионе (15 га). В кооператив вошли несколько фермерских хозяйств: КФХ Шкляр, КФХ Банных, КФХ Костарев, «Перепелочка» Баклыковых и ИП Аксентьев. Еще одним примером является компания «Внеземное» где клубнику стали выращивать методом аэропоники.

По выращиванию овощных культур нужно отметить, что примерно 60 % овощей в регионе выращивается в КФХ и ЛПХ. И здесь также необходимо создавать кооперативы по сбыту продукции, поскольку не все фермеры и личные подсобные хозяйства имеют возможность самостоятельно реа-

лизовать свою продукцию. Если такие кооперативы будут созданы в каждом муниципальном округе, то ситуация будет меняться в лучшую сторону.

Независимость от импорта основных видов сельскохозяйственной продукции является основным условием национальной продовольственной безопасности страны и ее регионов, поэтому региональные и местные власти должны всячески содействовать предпринимателям для создания кооперативов по производству и сбыту овощей, фруктов и ягодных культур.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» (с изменениями на 10 марта 2025 года) [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564161398> (дата обращения: 20.01.2026).
2. Деева О. С. Обеспечение продовольственной безопасности в регионах Российской Федерации // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 12-1. С. 54–61. DOI: 10.17513/vaael.1964.
3. Ергунова О. Т., Пьянкова С. Г., Митрофанова И. В. Трансформация традиционного сельского хозяйства как условие усиления продовольственной безопасности регионов // Научные исследования и разработки. Экономика. 2022. Т. 10, № 6. С. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.12737/2587-9111-2022-10-6-27-34>
4. Киреева Н. А. Продовольственная безопасность России в контексте новых вызовов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2025. № 5. С. 676–683. DOI: 10.55186/25876740_2025_68_5_676.
5. Криулина Е. Н., Оганян Л. Р. Продовольственная безопасность региона: сущность, оценка, прогноз // АПК: Экономика, управление. 2023. № 8. С. 23–33. DOI: 10.33305/238-23.
6. Липатова Л. Н. Ранжированная оценка продовольственной безопасности регионов Приволжского федерального округа // Регионоведение. 2025. Т. 33, № 3. С. 406–423. DOI: 10.15507/2413-1407.129.033.202503.406-423
7. Мельников Б. А. Продовольственная самообеспеченность регионов Российской Федерации // Экономическая безопасность. 2024. Т. 7, № 7. С. 1923–1946. DOI: 10.18334/ecsec.7.7.121450
8. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> (дата обращения: 20.01.2026).
9. Прудюс Е. В. Продовольственная безопасность – фундамент экономической безопасности страны // Проблемы рыночной экономики. 2023. № 2. С. 112–124. DOI: 10.33051/2500-2325-2023-2-112-124.
10. Соргутов И. В. Санкции как основной фактор политики протекционизма и импортозамещения в АПК России // Russian Economic Bulletin. 2022. Т. 5, № 1. С. 279–282. DOI: 10.24891/ri.19.1.4.
11. Самообеспечение основными продуктами питания в РФ, 2018–2022 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://foodsmi.com/statistika-i-issledovaniya/samoobespechenie-osnovnymi-produktami-pitaniya-v-rf-2018-2022-gg> (дата обращения: 14.01.2026).
12. Косьмин А. Д., Кузнецова О. П., Кузнецов В. В., Кузнецова С. В. Современное состояние продовольственной безопасности Российской Федерации // Продовольственная политика и безопасность. 2023. Т. 10, № 1. С. 29–48. DOI: 10.18334/ppib.10.1.116664.
13. Nicholson C. F., Stephens E. C., Kopainsky B., Jones A. D., Parsons D., Garrett J. Food security outcomes in agricultural systems models: current status and recommended improvements // Agricultural Systems. 2021. Vol. 188. Article number 103028. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.103028.
14. Caccavale O. M., Giuffrida V. The proteus composite index: towards a better metric for global food security // World Development. 2020. Vol. 126. Article number 104709. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104709.
15. Bach-Faig A., Wickramasinghe K., Panadero N., et al. Consensus-building around the conceptualisation and implementation of sustainable healthy diets: a foundation for policymakers // BMC Public Health. 2022. Vol. 22. Article number 1480. DOI: 10.1186/s12889-022-13756-y.

Об авторах:

Ирина Павловна Чупина, доктор экономических наук, профессор кафедры философии, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2875-3306, AuthorID 648263. E-mail: Irinacupina716@gmail.com

Владимир Иннокентьевич Набоков, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры менеджмента и экономической теории, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8789-6062, AuthorID 391586. *E-mail: nv1472@yandex.ru*

Татьяна Владимировна Зырянова, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры бухгалтерского учета и аудита, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0146-247X, AuthorID 328866. *E-mail: tatyana.vlad.zyr@yandex.ru*

References

1. Decree of the President of the Russian Federation “On Approval of the Doctrine of Food Security of the Russian Federation” (as amended on March 10, 2025) [Internet] [cited 2026 Jan 20]. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/564161398>. (In Russ.)
2. Deeva O. S. Ensuring food security in the regions of the Russian Federation. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2021; 12 (1): 54–61. DOI: 10.17513/vael.1964. (In Russ.)
3. Ergunova O. T., Pyankova S. G., Mitrofanova I. V. Transformation of traditional agriculture as a condition for strengthening food security in the regions. *Research and Development. Economics*. 2022; 10 (6): 27–34. DOI: 10.12737/2587-9111-2022-10-6-27-34. (In Russ.)
4. Kireeva N. A. Food security of Russia in the context of new challenges. *International Agricultural Journal*. 2025; 5: 676–683. DOI: 10.55186/25876740_2025_68_5_676. (In Russ.)
5. Kriulina E. N., Oganyan L. R. Food security of the region: essence, assessment, forecast. *AIC: Economics, Management*. 2023; 8: 23–33. DOI: 10.33305/238-23. (In Russ.)
6. Lipatova L. N. Ranked assessment of food security in the Volga Federal District regions. *Regionology*. 2025; 33 (3): 406–423. DOI: 10.15507/2413-1407.129.033.202503.406-423. (In Russ.)
7. Melnikov B. A. Food self-sufficiency of the regions of the Russian Federation. *Economic Security*. 2024; 7 (7): 1923–1946. DOI: 10.18334/ecsec.7.7.121450. (In Russ.)
8. *Official website of the Federal State Statistics Service* [Internet] [cited 2026 Jan 20]. Available from: <http://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>. (In Russ.)
9. Prudius E. V. Food security – the foundation of the country's economic security. *Problems of the Market Economy*. 2023; 2: 112–124. DOI: 10.33051/2500-2325-2023-2-112-124. (In Russ.)
10. Sorgutov I. V. Sanctions as the main factor in the policy of protectionism and import substitution in the agro-industrial complex of Russia. *Russian Economic Bulletin*. 2022; 5 (1): 279–282. DOI: 10.24891/ni.19.1.4. (In Russ.)
11. Self-sufficiency in basic food products in the Russian Federation, 2018–2022 [Internet] [cited 2026 Jan 20]. Available from: <https://foodsmi.com/statistika-i-issledovaniya-/samoobespechenie-osnovnymi-produktami-pitaniya-v-rf-2018-2022-gg>. (In Russ.)
12. Kosmin A. D., Kuznetsova O. P., Kuznetsov V. V., Kuznetsova S. V. The current state of food security in the Russian Federation. *Food Policy and Security*. 2023; 10 (1): 29–48. DOI: 10.18334/ppib.10.1.116664. (In Russ.)
13. Nicholson C. F., Stephens E. C., Kopainsky B., Jones A. D., Parsons D., Garrett J. Food security outcomes in agricultural systems models: current status and recommended improvements. *Agricultural Systems*. 2021; 188: 103028. DOI: 10.1016/j.agry.2020.103028.
14. Caccavale O. M., Giuffrida V. The proteus composite index: towards a better metric for global food security. *World Development*. 2020; 126: 104709. DOI: 10.1016/j.worlddev.2019.104709.
15. Bach-Faig A., Wickramasinghe K., Panadero N., et al. Consensus-building around the conceptualisation and implementation of sustainable healthy diets: a foundation for policymakers. *BMC Public Health*. 2022; 22: 1480. DOI: 10.1186/s12889-022-13756-y.

Authors' information:

Irina P. Chupina, doctor of economic sciences, Professor at the department of philosophy, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2875-3306, AuthorID 648263. *E-mail: Irinacupina716@gmail.com*

Vladimir I. Nabokov, doctor of economic sciences, Professor, Professor at the department of management and economic theory, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8789-6062, AuthorID 391586. *Email: nv1472@yandex.ru*

Tatyana V. Zyryanova, doctor of economic sciences, professor, professor at the department of accounting and auditing, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0146-247X, AuthorID 328866. *E-mail: tatiana.vlad.zyr@yandex.ru*

Учредитель и издатель:

Уральский государственный аграрный университет

Адрес учредителя, издателя и редакции:

620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42



**Уральский государственный
аграрный университет**

Founder and publisher:

Ural State Agrarian University

Address of founder, publisher and editorial board:

620075, Russia, Ekaterinburg, 42 K. Liebknecht str.

Подписной индекс 16356 в объединенном каталоге «Пресса России»

Редакция журнала:

В. С. Кухарь – кандидат экономических наук, шеф-редактор

А. В. Ерофеева – редактор

Н. А. Предеина – верстка, дизайн

Editorial:

V. S. Kukhar – candidate of economic sciences, chief editor

A. V. Erofeeva – editor

N. A. Predeina – layout, design

Учредитель и издатель: Уральский государственный аграрный университет.

Адрес учредителя, издателя и редакции: 620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Ответственный редактор: факс (343) 350-97-49.

E-mail: agro-ural@mail.ru (для материалов).

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Все публикуемые материалы проверяются в системе «Антиплагиат».

Выписка из реестра зарегистрированных средств массовой информации:

Серия ПИ № ФС77-90205 от 07 октября 2025 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского 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: 27.02.2026 г. Усл. печ. л. 23,2. Авт. л. 18,8.

Тираж: 100 экз. Цена: в розницу свободная.



**ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ
(ВАК)**

При Министерстве образования и науки
Российской Федерации



**Food and Agriculture Organization
of the United Nations**



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

