



Уральский государственный
аграрный университет

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

АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN
OF THE URALS**

**T. 25, № 02
Vol. 25, No. 02**

2025

Сведения о редакционной коллегии

И. М. Донник (главный редактор), академик РАН, помощник президента Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (Москва, Россия)
О. Г. Лоретц (заместитель главного редактора), ректор Уральского государственного аграрного университета (Екатеринбург, Россия)
П. Сотони (заместитель главного редактора), доктор ветеринарных наук, профессор, академик Венгерской академии наук, академик Польской медицинской академии, ректор Университета ветеринарной медицины Будапешта (Будапешт, Венгрия)

Члены редакционной коллегии

Н. В. Абрамов, Государственный аграрный университет Северного Зауралья (Тюмень, Россия)
Р. З. Аббас, Сельскохозяйственный университет (Фейсалабад, Пакистан)
В. Д. Богданов, член-корреспондент РАН, Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия)
В. Н. Большаков, академик РАН, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)
О. А. Быкова, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
Э. Д. Джавадов, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)
Л. И. Дроздова, Уральский государственный аграрный университет (Екатеринбург, Россия)
А. С. Донченко, академик РАН, Институт экспериментальной ветеринарии Сибири и Дальнего Востока (Новосибирск, Россия)
Б. С. Есенгельдин, Павлодарский педагогический университет (Павлодар, Казахстан)
Н. Н. Зезин, член-корреспондент РАН, Уральский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (Екатеринбург, Россия)
С. Б. Исмурастов, Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова (Костанай, Казахстан)
В. В. Калашников, академик РАН, Отделение сельскохозяйственных наук РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства (Рязань, Россия)
А. Г. Коцаев, 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. Самоделкин, Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия (Нижний Новгород, Россия)
А. А. Стекольников, академик РАН, Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины (Санкт-Петербург, Россия)
В. Г. Тюрин, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии (Москва, Россия)
И. Г. Ушачев, академик РАН, Всероссийский НИИ экономики сельского хозяйства (Москва, Россия)
С. В. Шабунин, академик РАН, Всероссийский научно-

Editorial board

Irina M. Donnik (Editor-in-Chief), academician of the Russian Academy of Sciences, Assistant to the President of the National Research Center “Kurchatov Institute” (Moscow, Russia)
Olga G. Lorets (Deputy Chief Editor), rector of the Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Péter Sótonyi (Deputy chief editor) of doctor of veterinary sciences, professor, academician of Hungarian Academy of Sciences, academician of Polish Medical Academy, rector of University of Veterinary Medicine of Budapest (Budapest, Hungary)

Editorial Team

Nikolay V. Abramov, Northern Trans-Ural State Agricultural University (Tyumen, Russia)
Rao Zahid Abbas, University of Agriculture (Faisalabad, Pakistan)
Vladimir D. Bogdanov, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russia)
Vladimir N. Bolshakov, academician of the Russian Academy of Sciences, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (Ekaterinburg, Russia)
Olga A. Bykova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Eduard D. Dzhavadov, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research and Technological Poultry Institute (St. Petersburg, Russia)
Lyudmila I. Drozdova, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Aleksandr S. Donchenko, academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Experimental Veterinary Science of Siberia and the Far East (Novosibirsk, Russia)
Bauyrzhan S. Yessengeldin, Pavlodar Pedagogical University Republic of Kazakhstan
Nikita N. Zezin, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Ural Research Institute of Agricultural (Ekaterinburg, Russia)
Sabit B. Ismuratov, Kostanay Engineering and Economics University named after M. Dulatov (Kostanay, Kazakhstan)
Valeriy V. Kalashnikov, academician of the Russian Academy of Sciences, Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, the All-Russian Research Institute for Horsebreeding (Ryazan, Russia)
Andrey G. Koshchayev, academician of the Russian Academy of Sciences, Kuban State Agrarian University (Krasnodar, Russia)
Umidjon R. Matyakubov, Urgench State University (Urgench, Uzbekistan)
Vladimir S. Mymrin, “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. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
Olga A. Rushchitskaya, Ural State Agrarian University (Ekaterinburg, Russia)
Aleksandr G. Samodelkin, Nizhny Novgorod State Agricultural Academy (Nizhny Novgorod, Russia)
Anatoliy A. Stekolnikov, academician of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg State Academy of Veterinary Medicine (Saint Petersburg, Russia)
Vladimir G. Tyurin, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology (Moscow, Russia)
Ivan G. Ushachev, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Agricultural Economics (Moscow, Russia)
Sergey V. Shabunin, academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology

Содержание

Агротехнологии

И. Р. Манукян 164
Сравнительная оценка адаптивности сортов озимой пшеницы к условиям предгорной зоны Центрального Кавказа

З. Е. Ожерельева, А. О. Болгова 176
Изучение показателей водного режима сливы разного генетического происхождения в связи с их засухоустойчивостью

В. С. Ржевская, А. В. Омельченко, И. А. Бугара, А. Н. Гусев, А. В. Крыжко, В. С. Паштецкий 191
Влияние микробного консорциума молочнокислых бактерий и дрожжей на урожай и качество зерна некоторых важных сельскохозяйственных культур

Биология и биотехнологии

О. А. Быкова, О. В. Костюнина, А. А. Зырянова, О. А. Шевкунов, А. А. Ярышкин 206
Показатели воспроизводительной способности крупного рогатого скота в зависимости от генотипа

А. А. Гуляева, Т. Н. Берлова, А. А. Галкова, И. Н. Ефремов 217
Хозяйственно ценные признаки сортов сливы поволжской селекции

Д. И. Еремин, В. В. Сахарова, Ю. В. Савельева, П. С. Бататин 230
Лабораторный скрининг сортов овса Тюменской селекции на устойчивость к солевому стрессу

И. А. Капитова, К. В. Павлов 245
Методы извлечения антоцианов из растительного сырья и способы очистки (обзор)

М. В. Кузенко, А. А. Хлебникова, К. Х. Хатков 254
Изучение устойчивости к перезимовке и урожайности зерна коллекционных образцов овса в условиях южно-предгорной зоны Северо-Западного Кавказа

С. И. Лоскутов, Я. В. Пухальский, А. И. Якубовская, И. А. Каменева 264
Влияние режима питания на антиоксидантную активность микрозелени базилика

Д. Г. Погосян, Д. В. Захаров 278
Мясная продуктивность молодняка кроликов на откорме при разном уровне протеина в полнорационных комбикормах

Экономика

А. А. Белолобова, В. В. Есин, С. Л. Бабаринов 290
Развитие ИТ-инфраструктуры предприятия агропромышленного сектора: проблемы и решения

Е. М. Кот, Т. Х. Тогузаяев, М. Ш. Газаева, В. В. Калицкая, Л. А. Степанова 303
Влияние изменений базисных факторов на экономическую эффективность сельского хозяйства России

Л. Б. Медведева, Л. Г. Агапитова, О. Н. Гончаренко 319
Традиционные и современные экспортные возможности аграрной сферы (на примере Тюменской области)

Н. В. Щербакова 337
Моделирование развития северного оленеводства в Российской Федерации на основе системно-динамического подхода

Contents

Agrotechnologies

I. R. Manukyan
Comparative assessment of the adaptability of winter wheat varieties to the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus

Z. E. Ozherelieva, A. O. Bolgova
Study of water regime indicators in plum varieties of different genetic origins in connection with their drought resistance

V. S. Rzhetskaya, A. V. Omelchenko, I. A. Bugara, A. N. Gusev, A. V. Kryzhko, V. S. Pashetskii
The influence of a microbial consortium of lactic acid bacteria and yeast on the grain yield and quality of several important agricultural crops

Biology and biotechnologies

O. A. Bykova, O. V. Kostyunina, A. A. Zyryanova, O. A. Shevkunov, A. A. Yaryshkin
Reproductive capacity indicators of cattle depending on genotype

A. A. Gulyaeva, T. N. Berlova, A. A. Galkova, I. N. Efremov
Economically valuable traits of plum varieties of Volga selection

D. I. Eremin, V. V. Sakharova, Yu. V. Savelyeva, P. S. Batatin
Laboratory screening of Tyumen oat varieties for resistance to salt stress

I. A. Kapitova, K. V. Pavlov
Methods of extracting anthocyanins from plant material and purification techniques (review)

M. V. Kuzenko, A. A. Khlebnikova, K. Kh. Khatkov
Investigation of wintering resistance and grain yield of collection samples of oats in the conditions of the southern foothill zone of the North-Western Caucasus

S. I. Loskutov, Ya. V. Pukhalskiy, A. I. Yakubovskaya, I. A. Kameneva
Influence of nutrient mode on the antioxidant activity of basil microgreens

D. G. Pogosyan, D. V. Zakharov
Meat productivity of young rabbits on fattening with different levels of protein in full-fledged compound feeds

Economy

A. A. Belolobova, V. V. Esin, S. L. Babarinov
Development of the IT infrastructure of the agro-industrial sector: problems and solutions

E. M. Kot, T. Kh. Toguzayev, M. Sh. Gazaeva, V. V. Kalitskaya, L. A. Stepanova
The impact of changes in basic factors on the economic efficiency of Russian agriculture

L. B. Medvedeva, L. G. Agapitova, O. N. Goncharenko
Traditional and modern export opportunities of the agricultural sector (on the example of the Tyumen region)

N. V. Shcherbakova
Modeling the development of northern reindeer husbandry in the Russian Federation based on a system-dynamic approach

Сравнительная оценка адаптивности сортов озимой пшеницы к условиям предгорной зоны Центрального Кавказа

И. Р. Манукян[✉]

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Владикавказского научного центра Российской академии наук, п. Михайловское, Республика Северная Осетия-Алания, Россия

[✉]E-mail: miririna.61@mail.ru

Аннотация. Цель данного исследования заключается в оценке потенциала изучаемых сортов озимой пшеницы по таким параметрам, как продуктивность, экологическая пластичность и устойчивость. Для селекционной работы, направленной на получение сортов с заданными параметрами хозяйственно ценных признаков, требуется соответствующий генетический материал. Генетическое разнообразие селекционного материала, наличие ценных признаков, отвечающих потребностям современного сельскохозяйственного производства, — необходимое условие успешной селекционной работы. Сортообразцы озимой пшеницы были получены из генетической коллекции ВИР им. Вавилова для экологического испытания в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа. Главными параметрами селекционной оценки являлись продуктивность, устойчивость к основным вредоносным заболеваниям и почвенно-климатическим особенностям региона. **Методы.** Проводили оценку на адаптивность и экологическую пластичность различными методами расчета: коэффициент регрессии (B_i), коэффициент гомеостатичности по Хангильдину (Ном), коэффициент адаптивности по Животкову (КА), коэффициент вариации (CV), индекс засухоустойчивости (MSTI), индекс продуктивности растений (ИПР). **Научная новизна.** В результате проведенных исследований были отобраны и вовлечены в селекционный процесс образцы озимой мягкой пшеницы, которые характеризуются высокой и стабильной урожайностью, а также устойчивостью к стрессовым факторам, характерным для региона выращивания. **Результаты.** Сорта Torrild, Kobra, Mereke 70 характеризовались комплексом хозяйственно ценных признаков, так как набрали наименьшую сумму рангов. Данные сорта обладают устойчивостью к варьирующим условиям выращивания, способны формировать высокую продуктивность в различных погодных условиях. Их можно использовать в селекционной практике в качестве доноров полезных признаков для получения адаптированных к условиям региона сортов озимой пшеницы со стабильной продуктивностью. К сортам, отличающимся стабильностью по показателям продуктивности (гомеостатичным), относятся сортообразцы Anara, Farabi, Mereke 70, Ak bidajj, Дон 107. С максимальным проявлением признака засухоустойчивости (MSTI) выделены сорта Torrild, Zhadira, Mereke 70, Ak bidajj, Kobra. По индексу ИПР отличились сорта Torrild и Kobra. Высокой урожайностью и гомеостатичностью (Ном) отличились образцы Torrild, Mereke 70, Ak bidajj, Zhadira, Kobra. Они хорошо отзываются на улучшение условий среды и имеют относительно стабильные показатели урожайности. Эти сорта перспективно использовать в селекции на адаптивность для почвенно-климатических условий предгорной зоны Центрального Кавказа.

Ключевые слова: пшеница озимая мягкая, болезни, хозяйственно полезные свойства, пластичность, сорта, урожайность

Для цитирования: Манукян И. Р. Сравнительная оценка адаптивности сортов озимой пшеницы к условиям предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 164–175. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-164-175>.

Дата поступления статьи: 10.01.2024, **дата рецензирования:** 19.11.2024, **дата принятия:** 02.12.2024.

Comparative assessment of the adaptability of winter wheat varieties to the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus

I. R. Manukyan ✉

North Caucasus Research Institute of Mountain and Piedmont Agriculture – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Mikhailovskoe settlement, Republic of North Ossetia-Alania, Russia

✉ E-mail: miririna.61@mail.ru

Abstract. The purpose of the study is to determine the potential of the studied varieties in terms of productivity and resistance to various stress factors. For breeding work aimed at obtaining varieties with specified parameters of economically valuable traits, appropriate genetic material is required. The genetic diversity of the breeding material, the presence of valuable traits that meet the needs of modern agricultural production, is a necessary condition for successful breeding work. Varietal samples of winter wheat were obtained from the genetic collection of the VIR named after Vavilov for environmental testing in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. The main parameters of the selection assessment were productivity, resistance to major harmful diseases and soil and climatic features of the region. **Methods.** Various calculation methods were used to assess adaptability and environmental plasticity: regression coefficient (Bi), Khangildin homeostatic coefficient (Hom), Zhivotkov coefficient of adaptability (CA), coefficient of variation (CV), Modified Stress Tolerance Index (MSTI), plant productivity index (PPI). **Scientific novelty.** As a result of the studies, samples of winter soft wheat were selected and involved in the selection process, which are characterized by high and stable yields, as well as resistance to stress factors characteristic of the growing region. **Results.** The varieties Torrild, Kobra, Mereke 70 were characterized by a complex of economically valuable traits, since they scored the lowest amount of ranks. These varieties are resistant to varying growing conditions and are capable of generating high productivity in various weather conditions. They can be used in breeding practice as donors of useful traits for obtaining winter wheat varieties adapted to the conditions of the region with stable productivity. Varieties that are homeostatic or poorly responsive to changes in growing conditions include Anara, Farabi, Mereke 70, Ak bidajj, Don 107. The varieties Torrild, Zhadira, Mereke 70, Ak bidajj, Kobra were distinguished with the maximum manifestation of the sign of drought resistance (MSTI). According to the PPI index, the varieties Torrild and Kobra distinguished themselves. Tor samples were distinguished by their high yield and homeostaticity (Hom) the samples of Torrild, Mereke 70, Ak bidajj, Zhadira, Kobra distinguished themselves. They respond well to improved environmental conditions and have relatively stable yields.

Keywords: winter wheat is soft, diseases, economically useful properties, plasticity, varieties, yield

For citation: Manukyan I. R. Comparative assessment of the adaptability of winter wheat varieties to the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 164–175. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-164-175>. (In Russ.)

Date of paper submission: 10.01.2024, **date of review:** 19.11.2024, **date of acceptance:** 02.12.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Повышение продуктивности зернового агроценоза и качества получаемого зерна – главная задача земледелия, растениеводства и селекции. При этом стремятся адаптировать сорта и технологии под специфические почвенно-климатические условия региона, уменьшить разрыв между потенциальной и реальной продуктивностью сортов в условиях сельскохозяйственного производства [1–3]. В связи с этим создание экологически устойчивых сортов, т. е. форм, способных формировать высокую и стабильную урожайность в различных технологических и почвенно-климатических условиях, – одна из актуальных проблем в селекции, а сорта с высоки-

ми биологическими и технологическими качествами представляют селекционную ценность [4; 5].

Повысить урожайность зерна и его качество возможно благодаря внедрению интенсивных сортов озимой пшеницы, способных формировать стабильную урожайность зерна в различных почвенно-климатических условиях.

Лучше всех отзываются на изменяющиеся климатические условия так называемые пластичные сорта, ориентированные на устойчивость к засухе, переувлажнению, разному уровню плодородия почв, вредоносным заболеваниям в регионе и другим стрессовым факторам.

Селекционные программы по созданию адаптивных и пластичных сортов представляют собой определенную систему этапов селекционной проработки исходного материала и сопровождаются комплексной оценкой по главным хозяйственно ценным признакам.

Для предгорной или лесостепной зон Центрального Кавказа важным селекционным признаком является устойчивость к вредоносному комплексу организмов, в том числе к возбудителям болезней: фузариозу колоса, желтой и бурой ржавчинам, пиренофорозу, септориозу и мучнистой росе. К распространенным вредоносным фитофагам относятся различные виды клопов, злаковых мух, пядица, трипсы. За последние годы результаты мониторинга фитосанитарной обстановки на посевах озимых зерновых указывают на изменения в видовом составе вредоносных и доминирующих видов.

Каждое звено селекционного процесса имеет свой методический подход, который должен соответствовать определенным требованиям: прежде всего быть информативным, точным, объективно отражать свойства генотипа селекционного материала и по возможности быть нетрудоемким [7]. Сорта, сочетающие высокий потенциал урожайности и пластичности в изменяющихся экологических условиях среды, являются существенным резервом увеличения производства зерна высокого качества.

Селекция на устойчивость к различным стрессовым факторам и высокую продуктивность – довольно трудная задача. Урожайность рассматривается как результат взаимодействия всего генотипа растения с комплексом факторов окружающей среды, в том числе микроорганизмами, насекомыми, полезными и вредными. Адаптивная селекция отличается от традиционной своей направленностью на почвенно-климатические условия региона возделывания. Уже на первых этапах селекции требуется методология оценки селекционного материала на соответствие генотипа сорта экологическим условиям и устойчивостью к неблагоприятным (лимитирующим) факторам среды. Возникает необходимость создания модели сорта, где представлены основные морфологические и биологические признаки будущего сорта в тесной привязке к почвенно-климатическим особенностям региона возделывания.

Для изучения и описания адаптивных качеств исходного материала рекомендуются различные статистические методы. Они могут отличаться по сложности вычисления, информативности, объективности и разрешающей способности.

Статистические методы позволяют установить достоверность наблюдаемых различий и получить необходимую информацию о потенциальной продуктивности и адаптивности сорта. Практический интерес представляют методики:

– простые в использовании и в то же время информативные, характеризующиеся высокой дифференцирующей (разрешающей) способностью;

– обеспечивающие более точный прогноз урожайности, что очень важно при переходе на современные цифровые технологии в сельском хозяйстве.

Цель данного исследования заключается в оценке потенциала изучаемых сортов озимой пшеницы по таким параметрам, как продуктивность, экологическая пластичность и устойчивость. Сорта, которые способны максимально раскрыть свой потенциал в конкретных агроклиматических условиях, могут стать ценными источниками хозяйственно полезных признаков для создания высокоурожайных и адаптированных к местным условиям сортов озимой пшеницы.

Методология и методы исследования (Methods)

Методы оценки потенциальной продуктивности и адаптивности основаны на сравнении общей адаптивной реакции сортов к конкретным условиям вегетации, которая выражается в реализованной урожайности. Площадь делянок коллекционного питомника – 1 м² в трехкратной повторности, норма высева – 4,5 млн/га. Опыт проводили в 2020–2022 гг.

Для определения экологической пластичности и адаптивности сортов используется известная методика S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина, Л. М. Лопатиной [7; 8]. Коэффициент линейной регрессии (Bi) рассчитывается по соответствующей формуле:

$$Bi = \frac{\sum(x_{ij}l_j)}{\sum l_j^2}$$

К недостаткам этого метода относится необходимость набора (выборки) сортов и длительность исследований, а также зависимость сортовых показателей Bi от значения средней по выборке. При изменении состава выборки значения Bi для того же самого сорта могут измениться.

Гомеостатичность сортов определялась по методике В. В. Хангильдина и М. А. Литвиненко:

$$\text{Hom} = \bar{Xi}^2 / \sigma,$$

где \bar{Xi} – средняя продуктивность i -го сорта за годы испытания; σ – среднее квадратичное отклонение. Методика устанавливает вариабельность продуктивности растений. Лучшие сорта обладают высокой гомеостатичностью и меньше снижают продуктивность в неблагоприятных агроклиматических условиях. Может учитываться урожай с делянки или продуктивность отдельных растений. Вычисляются среднее арифметическое урожая (x) и его среднее квадратическое отклонение. Чем выше гомеостатичность сорта, тем выше значение его показателя [9].

В качестве показателя стабильности продуктивности сортообразцов используется коэффициент вариации по Б. А. Доспехову:

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} * 100 \%,$$

где s – стандартное отклонение;

\bar{X} – среднее значение веса зерна, г [10].

Коэффициент адаптивности (КА) рассчитывался по методике Л. А. Животкова и др.

$$КА = \frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_{ij}} * 100 \%,$$

где \bar{X}_i – средняя продуктивность сорта за годы исследований;

\bar{X}_{ij} – средняя продуктивность изучаемых сортов за годы исследований.

Коэффициент адаптивности выражает общую норму реакции определенной выборки сортов на различные условия среды по годам. Коэффициент адаптивности одного определенного сорта на сложившиеся условия вегетационного периода определяют как отношение его урожайности со средней урожайности всех сортов. Если полученные в ходе расчетов показатели КА превышают 100 %, то такой сорт считается потенциально высокопродуктивным [11].

Модифицированный индекс засухоустойчивости (MSTI) рассчитывается Р. С. Ергебаевой и др.

$$MSTI = k_1 STI = \frac{Y_s^2}{\bar{Y}_s^2},$$

где \bar{Y}_s^2 – среднее значение урожайности всех сортов при засухе;

Y_s^2 – среднее значение урожайности сорта при засухе [12–14].

Индекс продуктивности растений (ИПР) рассчитывали по формуле.

$$ИПР = (ЧЗ \times ВЗ) / ДК,$$

где ЧЗ – число зерен в колосе;

ВЗ – вес зерна с колоса;

ДК – длина колоса [15].

Преимущество индекса заключается в том, что он легко вычисляется на основе трех ключевых параметров продуктивности, сводя их к единому значению. Этот показатель не зависит от среднего значения по всей выборке и обладает высокой дифференцирующей способностью. Оценка типов иммунологической реакции растений на заражение фитопатогенами проводилась в соответствии с общепринятыми методиками, описанными в работах [16; 18; 19].

Для определения характера корреляционных связей использовали градацию: связь слабая – r до 0,30; умеренная – $r = 0,31 \dots 0,50$; значительная – $r = 0,51 \dots 0,70$; сильная – $r = 0,71 \dots 0,90$; очень сильная, близкая к функциональной – r более 0,9 [17; 20].

Результаты (Results)

Почвы предгорной зоны представляют собой среднеспелые черноземы, подстилаемые галечником, который служит естественным дренажом. Галечник не позволяет влаге задерживаться в почве, что делает условия для выращивания сельскохозяйственных культур довольно сложными.

По данным различных исследований, содержание гумуса в этих почвах составляет около 5,34 %. По результатам агрохимического анализа почвы, массовая доля P_2O_5 – 56,4 млн⁻¹, K_2O – 172,4 млн⁻¹, массовая доля обменного аммония – 6,2 млн⁻¹, массовая доля азота нитратов – 10,2 млн⁻¹, рН солевой вытяжки – 5,1. Многолетние наблюдения показывают, что среднегодовое количество осадков в предгорной зоне составляет 734,8 мм, причем основное количество (50 %) выпадает в мае и июне. Погодные условия за годы испытаний были разнообразными: от близких к средним многолетним значениям в 2021 и 2022 годах до засушливых в 2020 году. Это позволило дать объективную оценку селекционным образцам по признакам засухоустойчивости и стабильности.

Условия сева в 2020 году были неблагоприятными из-за значительного недостатка влаги в почве, что отразилось на ГТК, который составлял 0,49–0,66.

В течение зимы снежный покров был неравномерным, а температура воздуха превышала средние многолетние значения. В марте погода была более теплой и влажной, чем обычно, однако влагообеспеченность почвы оставалась недостаточной – всего 10–15 мм влаги в пахотном слое. В мае были сильные дожди, в период налива зерна установилась жаркая погода. Температура воздуха превысила норму на 2,5–3 °С, а количество осадков составило всего 50 % от нормы. Корнеобитаемый слой почвы был практически полностью иссушен, что отразилось на низком значении ГТК – 0,57.

Весенне-летние вегетационные периоды 2021 и 2022 годов характеризовались избыточным увлажнением (ГТК в мае – июле составлял 1,2–1,28). Апрель был самым дождливым месяцем с количеством осадков на 26 мм больше средней многолетней нормы. Относительная влажность воздуха составила 77 %. В период колошения и формирования зерна количество осадков также превысило норму и составило 152–202 %.

Результаты дисперсионного анализа показали, что наибольшее влияние на продуктивность оказали сортовые особенности – 90,1 % (А). Факторы окружающей среды (В) оказали меньшее влияние – 8,42 % (таблица 1).

Дисперсии факторов А и В в большей или меньшей степени оказывают достоверное влияние на продуктивность, на что указывает фактическое значение критерия Фишера (F) $F_{ф} > F_{т}$.

В таблице 2 указаны показатели параметров адаптивности сортов. Варьирование признака «вес зерна колоса» у сортообразцов составило от 3,8 % (Zhadira) до 29,1 % (Kobra). К сортам со степенью варьирования признака до 10 % относятся Torrild, Zhadira, Ak bidajj. Значительная изменчивость признака в зависимости от внешних факторов была характерна для сортов Anara (20,0), Farabi (26,0), Kobra (29,1), Mereke 70 (16,1).

Таблица 1
Результаты дисперсионного анализа по параметрам урожайности сортов

Вид дисперсии	Сумма квадратов отклонений (MS)	Число степеней свободы (df)	Дисперсия, % (σ^2 , SS)	Доля вклада факторов, %	Отклонение дисперсии (F)	
					F ϕ	F τ (95 %)
Суммарная	–	23	–	–	–	–
A (сорт)	0,61	7	4,28	90,1	120,8	2,77
B (год)	0,2	2	0,4	8,42	3,8	3,74
Остаточное	0,005	14	0,07	1,48		

Table 1
Results of the dispersion analysis on the yield parameters of varieties

Type of variance	Sum of squared deviations (MS)	Number of degrees of freedom (df)	Variance, % (σ^2 , SS)	Factor contribution share, %	Variance deviation (F)	
					F ϕ	F τ (95 %)
General	–	23	–	–	–	–
A (variety)	0.61	7	4.28	90.1	120.8	2.77
B (year)	0.2	2	0.4	8.42	3.8	3.74
Residual	0.005	14	0.07	1.48		

Таблица 2
Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по признаку вес зерна колоса и параметрам адаптивности

Сорт	Вес зерна колоса, г	Урожайность, г/м ²	Bi	Hom	CV, %	КА, %	MSTI	ИПР
Torrild	1,73	684,3	1,9	6,0	8,82	154,5	2,4	11,3
Anara	0,53	287,5	0,7	0,5	20,0	45,5	0,15	1,4
Farabi	0,57	330,7	0,03	0,6	26,0	51,8	0,15	1,7
Mereke 70	1,6	647,5	0,5	4,2	16,1	145,5	1,6	7,5
Zhadira	1,5	620,8	1,1	4,0	3,8	137,2	2,1	6,7
Ak bidajj	1,4	560,4	0,6	4,7	7,14	127,3	1,6	4,5
Kobra	1,4	615,0	1,8	4,6	29,1	130,0	1,6	10,2
Дон 107 ст.	1,13	485,8	0,3	0,8	15,6	102,7	1,2	5,2

Table 2
Characteristics of winter soft wheat varieties based on the grain weight of the ear and adaptability parameters

Variety	Ear grain weight, g	Productivity, g/m ²	Bi	Hom	CV, %	CA, %	MSTI	PPI
Torrild	1.73	684.3	1.9	6.0	8.82	154.5	2.4	11.3
Anara	0.5	287.5	0.7	0.5	20.0	45.5	0.15	1.4
Farabi	0.57	330.7	0.03	0.6	26.0	51.8	0.15	1.7
Mereke 70	1.6	647.5	0.5	4.2	16.1	145.5	1.6	7.5
Zhadira	1.5	620.8	1.1	4.0	3.8	137.2	2.1	6.7
Ak bidajj	1.4	560.4	0.67	4.7	7.14	127.3	1.6	4.5
Kobra	1.4	615.0	1.8	4.6	29.1	130.0	1.6	10.2
Don 107 st.	1.13	485.8	0.3	0.8	15.6	102.7	1.2	5.2

Среди исследуемых сортов пшеницы вес зерна с колоса от 1,0 г и выше был отмечен у следующих: Torrild, Mereke 70, Akbidajj, Zhadira, Kobra и Дон 107 (таблица 2). В то же время у сортов Anara и Farabi этот показатель составил в среднем 0,5 г. Наибольший вес зерна с колоса был зафиксирован у сорта Torrild (1,73 г). Болезни растений возникают в результате сложного взаимодействия между растением, фитопатогеном и окружающей средой. При

одних и тех же экологических условиях вред, наносимый растению, тем больше, чем выше вредоносность патогена и ниже устойчивость сорта. Заболевания различаются по характеру ущерба, который они наносят растению, и в зависимости от того, на каких частях растения они развиваются. Например, фузариоз колоса является особенно опасным, поскольку поражает репродуктивные части растения – колос и зерно.

Устойчивость сортов озимой пшеницы к болезням

Сорт	Тип реакции			
	Фузариоз колоса	Бурая ржавчина	Желтая ржавчина	Пиренофороз
Torrild	MR	MR	MS	R
Anara	S	S	MS	S
Farabi	S	S	S	MS
Mereke 70	MR	MR	MR	MR
Zhadira	MR	R	R	MR
Ak bidajj	MR	MR	MR	MS
Kobra	MR	R	R	R
Дон 107	S	MR	MS	MS

Примечание. Тип реакции растения на внедрение патогена: R – устойчивый, MR – умеренно устойчивый, MS – умеренно восприимчивый, S – восприимчивый.

Table 3

Resistance of winter wheat varieties to diseases

Variety	Type of reaction			
	Fusarium head blight	Leaf rust	Yellow rust	Pyrenophora spot
Torrild	MR	MR	MS	R
Anara	MS	S	MS	S
Farabi	S	S	S	MS
Mereke 70	MR	MR	MR	MR
Zhadira	MR	R	R	MR
Ak bidajj	MR	MR	MR	MS
Kobra	MR	R	R	R
Don 107	S	MS	MS	MS

Note. Type of plant response to pathogen introduction: R – resistant, MR – moderately resistant, MS – moderately susceptible, S – susceptible.

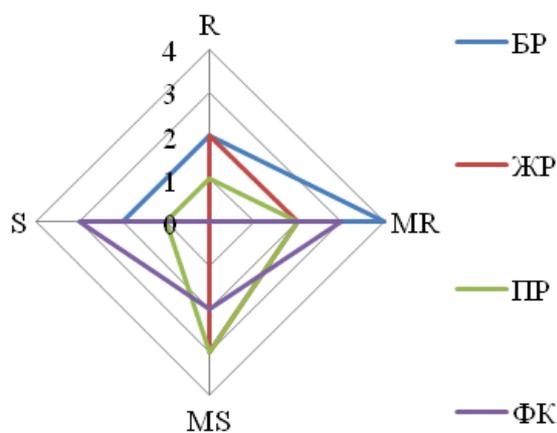


Рис. 1. Распределение количества устойчивых сортов по видам болезней:

BP – бурая ржавчина, JP – желтая ржавчина, PP – пиренофороз, FK – фузариоз колоса

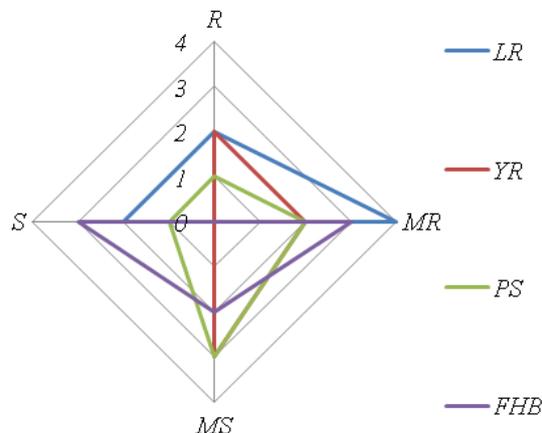


Fig. 1. Distribution of the number of resistant varieties by type of disease:

LR – leaf rust; YR – yellow rust; PS – pyrenophora spot; FHB – Fusarium head blight

Вредоносность листовых пятнистостей значительно ниже. Сорта с комплексной устойчивостью к листовым пятнистостям встречаются нечасто, но есть примеры таких сортов. В наших исследованиях к таким сортам можно отнести Kobra и Torrild (таблица 3, рис. 1).

Коэффициент адаптивности (КА) у данных сортов был высоким: Torrild – 154,5 %, Mereke 70 – 145,5 %, Zhadira – 137,2 %, Kobra – 130,0 %, Ak bidajj – 127,3 %. У сортов Anara и Farabi коэффициент адаптивности оказался ниже 100 %. Для расчета коэффициента адаптивности определяется средний

уровень урожайности по исследуемой выборке сортов, который принимается за 100 %. Затем рассчитывается отношение урожайности каждого сорта к среднесортковой средней урожайности, и полученные результаты умножаются на 100 %. Этот показатель, как считается, отражает адаптивные свойства исследуемых генотипов в конкретных условиях выращивания. Если коэффициент адаптивности превышает 100 %, это свидетельствует о высокоурожайном сорте, устойчивом или толерантном к биотическим и абиотическим стрессовым факторам региона.

Таблица 4

Матрица корреляций между продуктивностью и параметрами адаптивности

Параметры	в/з, г	B_i	Hom	CV, %	КА, %	MSTI	ИПП
в/з, г	1						
B_i	0,622	1					
Hom	-0,164	0,214	1				
CV, %	-0,534	-0,130	0,307	1			
КА, %	0,989	0,617	-0,190	-0,521	1		
MSTI	0,969	0,693	-0,238	-0,623	0,967	1	
ИПП	0,868	0,845	-0,001	0,172	0,869	0,862	1

Table 4

A matrix of correlations between productivity and adaptability parameters

Parameters	Ear grain weight, g	B_i	Hom	CV, %	CA, %	MSTI	PPI
Ear grain weight, g	1						
B_i	0.622	1					
Hom	-0.164	0.214	1				
CV, %	-0.534	-0.130	0.307	1			
CA, %	0,989	0,617	-0.190	-0.521	1		
MSTI	0.969	0.693	-0.238	-0.623	0.967	1	
PPI	0.868	0.845	-0.001	0.172	0.869	0.862	1

Таблица 5

Ранги показателей адаптивности образцов озимой мягкой пшеницы

Сорт	B_i	Hom	CV, %	КА, %	MSTI	ИПП	Σ
Torrild	1	1	6	1	1	1	11
Anara	4	8	3	8	5	8	36
Farabi	8	7	2	7	5	7	36
Mereke 70	6	4	4	2	3	3	22
Zhadira	3	5	5	3	2	4	25
Ak bidajj	5	2	7	5	3	6	28
Kobra	2	3	1	4	3	2	15
Дон 107	7	6	6	6	4	5	33

Table 5

Grades of indicators of adaptability of winter soft wheat samples

Variety	B_i	Hom	CV, %	CA, %	MSTI	PPI	Σ
Torrild	1	1	6	1	1	1	11
Anara	4	8	3	8	5	8	36
Farabi	8	7	2	7	5	7	36
Mereke 70	6	4	4	2	3	3	22
Zhadira	3	5	5	3	2	4	25
Ak bidajj	5	2	7	5	3	6	28
Kobra	2	3	1	4	3	2	15
Don 107	7	6	6	6	4	5	33

Согласно коэффициенту линейной регрессии, значительное увеличение урожайности при улучшении условий выращивания наблюдалось у сортов Kobra и Torrild ($B_i > 1$). Сорта Anara, Farabi, Mereke 70, Ak bidajj и Дон 107 ст. не реагируют на изменения условий ($B_i < 1$). Эти сорта относятся к полунтенсивному типу, и их производство более рентабельно при возделывании на низких агрофонах.

Селекция на гомеостатичность сортов приобретает особое значение в регионах с недостаточным и неравномерным количеством осадков в течение вегетационного периода. Сорта Anara, Farabi и Дон 107 продемонстрировали низкую гомео-

статичность, в то время как сорта Torrild, Mereke 70, Ak bidajj, Zhadira и Kobra показали высокую гомеостатичность.

С максимальным проявлением признака засухоустойчивости (MSTI) были выделены следующие сортообразцы: Torrild – 2,4, Zhadira – 2,1, Mereke 70, Ak bidajj и Kobra – по 1,6. По индексу ИПП отличались сорта Torrild – 11,3 и Kobra – 10,2.

Корреляционный анализ показал сильную связь продуктивности колоса с индексами в пределах $r = 0,86 \dots 0,98$. Между собой индексы также демонстрируют высокую корреляционную связь ($r = 0,6 \dots 0,96$), что подтверждается данными из таблицы 4.

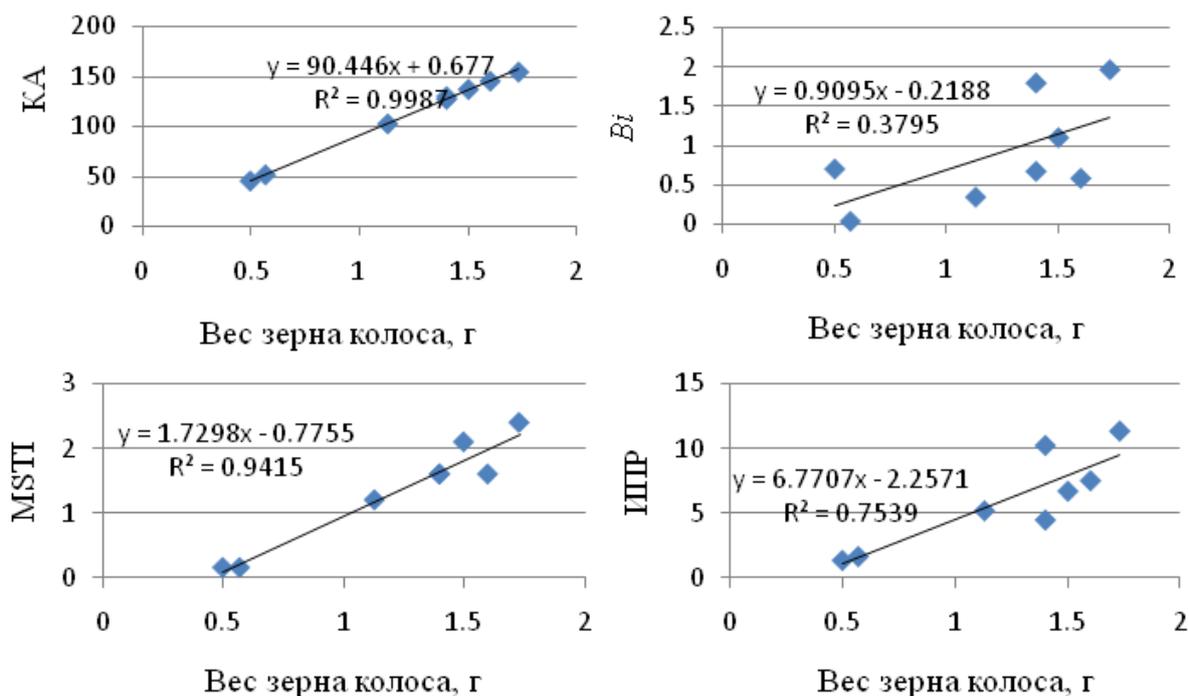


Рис. 2. Уравнение регрессии и линия тренда между показателями адаптивности и продуктивностью

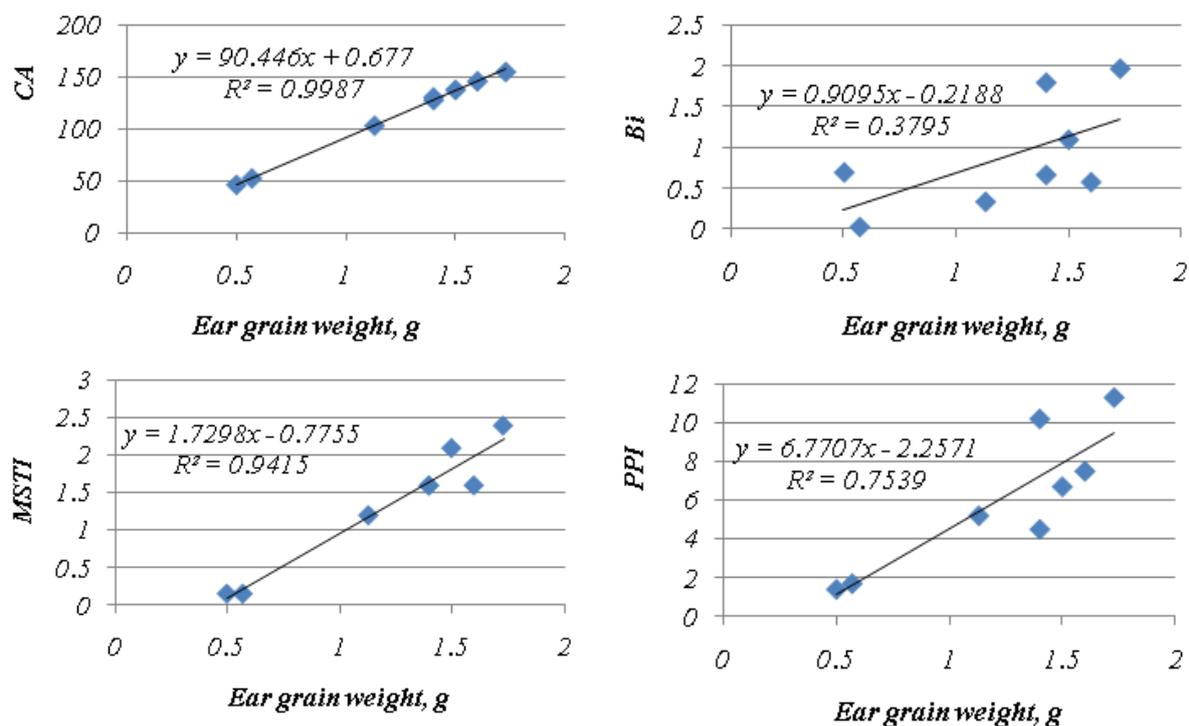


Fig. 2. Regression equation and trend line between adaptability and productivity indicators

Регрессионный анализ позволяет получить линейное уравнение, по которому можно рассчитать значения Y (продуктивности) по значению X . Величина достоверности R^2 для коэффициента адаптивности индекса ИПР и MSTI довольно высокая и составляет 0,75 и 0,99 (рис. 2).

Оценка генотипов только одним методом не может дать полной картины их свойств. Так, показатель экологической пластичности Bi позволяет

разделить факторы среды на предсказуемые (сорта, фитосанитарная ситуация, технология возделывания) и непредсказуемые (климатические условия).

Непредсказуемые факторы среды отличаются большим разнообразием и помогают выявить пластичные и непластичные сорта, то есть узкоспециализированные и широкоспециализированные. Как показывает практика, необходимы оба типа сортов. Именно такие сорта могут создавать мозаику посе-

вов на всей площади зернового агроценоза, что способствует расширению генетического разнообразия и повышению устойчивости пшеницы к неблагоприятным факторам среды (болезням, вредителям, недостатку влаги, высоким или низким температурам и другим). Генетическое разнообразие сортов и различия в широте нормы реакции генотипов позволяют максимально эффективно использовать весь спектр агроэкологических условий региона.

Полную информацию об адаптивных характеристиках сорта к конкретным условиям возделывания можно получить при использовании нескольких статистических методов, а также метода ранжирования полученных сортовых показателей по сумме рангов. Ранжирование проводится следующим образом: первый ранг присваивается наиболее высокому показателю, далее по мере убывания, а последний ранг присваивается самому низкому показателю (таблица 5). Лучшие образцы набирают минимальный суммарный балл.

В нашем эксперименте наименьшая сумма рангов (от 12 до 22) была получена для сортов Torrild, Kobra и Mereke 70. Эти сорта отличаются высокой устойчивостью к различным условиям выращивания и способны демонстрировать высокую продуктивность в условиях контрастного климата (рис. 3).

Четыре лучших образца с минимальным суммарным баллом представлены на рис. 3. В их число вошли сортообразцы с рангами от 1 до 25.

Изучение сортообразцов озимой пшеницы с точки зрения их адаптивных свойств и экологической пластичности позволило выделить те, которые наилучшим образом приспособлены для получения высокой урожайности в конкретных почвенно-климатических условиях.

Для оценки адаптивных характеристик сортов могут быть использованы различные индексы, такие как коэффициент адаптивности (КА), индекс продуктивности растений (ИПР) и международный стандарт качества (MSTI). В результате проведен-

ного множественного корреляционно-регрессионного анализа была обнаружена прямая и достоверная связь между продуктивностью зерна (Y) и этими индексами, что нашло отражение в уравнениях регрессии.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Чтобы выявить генотипы с хозяйственно полезными признаками, из множества методов оценки адаптивных реакций наиболее информативными являются коэффициент вариации (CV), коэффициент линейной регрессии (Bi), индекс засухоустойчивости (MSTI), коэффициент адаптивности (КА), индекс продуктивности растений (ИПР).

При расчете экологической пластичности следует учитывать, что абсолютные значения показателей адаптивности для каждого исследуемого сорта, полученные в результате дисперсионного и регрессионного анализов, в определенной степени относительны, поскольку могут изменяться при изменении набора исследуемых сортов. Для более полной характеристики хозяйственно ценных признаков селекционного материала можно дополнительно использовать различные индексы, для расчета которых не требуется дисперсия и средние значения по опыту. Многие индексы, применяемые в селекции, рассчитываются на основе индивидуальных показателей продуктивности растения, таких как число зерен, вес зерна и длина колоса [18–20]. Известно, что любое стрессовое воздействие влияет на показатели урожайности, следовательно, изменения будут отражены в значении индекса. В отличие от других известных индексов (мексиканский, канадский и др.) ИПР рассчитывается по трем показателям продуктивности растения, что повышает его точность.

Чтобы привести полученные данные к общему знаменателю, целесообразно использовать метод рангов. Первый ранг присваивается высшему показателю, а последний ранг – самому низкому. Согласно этому методу, сорта с высокой хозяйствен-

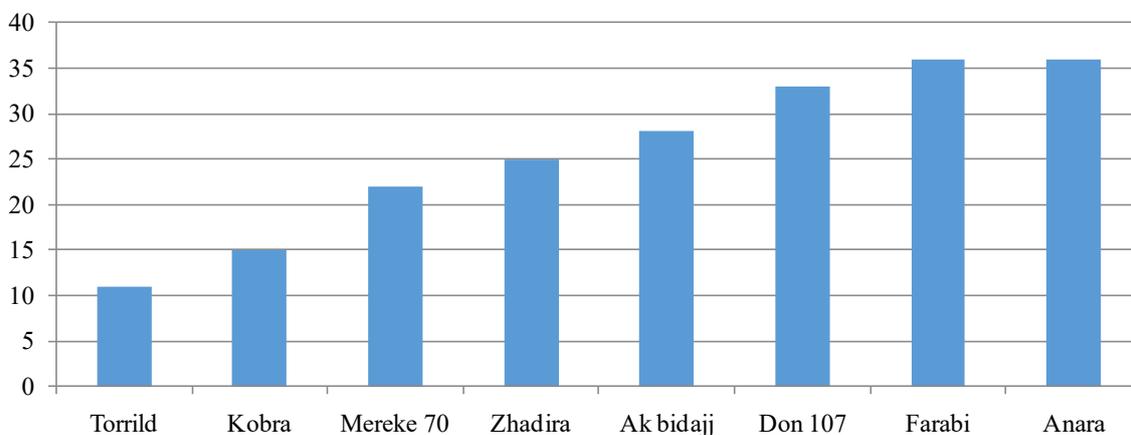


Рис. 3. Распределение сортов озимой пшеницы по сумме рангов параметров адаптивности
Fig. 3. Distribution of winter wheat varieties by the sum of the ranks of adaptability parameters

ной ценностью получают низкую сумму баллов. Однако бесконечно повышать продуктивность селекционными методами невозможно, потому что, помимо комбинативной изменчивости, которая является источником новых комбинаций признаков, существует коррелятивная, или соотносительная, изменчивость, возникающая в результате взаимодействия многих хозяйственно полезных признаков с «неполезными» (с точки зрения человека) признаками. На практике часто оказывается, что высокопродуктивные сорта становятся менее устойчивыми к возбудителям болезней и вредителям.

Для реализации потенциальной продуктивности таких сортов требуются интенсивные технологии и

интегрированная система защиты. Как всегда, важен баланс и понимание того, что реакция генотипа на факторы среды – это ответная реакция всех генов (как «полезных», так и «неполезных») в их взаимодействии.

Таким образом, к сортообразцам озимой мягкой пшеницы, отличающимся высокой общей адаптивной способностью, устойчивостью к стрессорам и высокой продуктивностью, относятся Torrild (Германия), Kobra (Польша), Mereke 70 (Казахстан). Эти образцы могут служить источниками хозяйственно полезных признаков и использоваться в селекционном процессе.

Библиографический список

1. Hatfield J. L., Byrns B. L. Yield gaps in wheat: path to enhancing productivity // *Frontiers in Plant Science | Crop and Product Physiology*. 2019. Vol. 10. Article number 1630. DOI: 10.3389/fpls.2019.01603.
2. Balcha A. Genotype by environment interaction for grain yield and association among stability parameters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // *American Journal of Plant Sciences*. 2020. Vol. 11, No. 1. Article number 111001. DOI: 10.4236/ajps.2020.111001.
3. Сапега В. А., Турсунбекова Г. Ш. Урожайность и адаптивность сортов гороха в условиях подтайги Северного Зауралья // *Аграрный вестник Урала*. 2023. № 8 (237). С. 24–36. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-24-36.
4. Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Индексная оценка засухоустойчивости и адаптивности перспективных сортов диплоидной озимой ржи в контрастных условиях выращивания // *Аграрный вестник Урала*. 2023. № 7 (236). С. 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45.
5. Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи // *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 6 (221). С. 16–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26.
6. Манукян И. Р., Басиева М. А., Мирошникова Е. С., Абиев В. Б. Оценка экологической пластичности сортов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // *Аграрный вестник Урала*. 2019. № 4 (183). С. 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158.
7. Eberhart S. G., Russell W. G. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Science*. 1966. Vol. 6, No. 1. Pp. 36–40. DOI: 10.2135/CROPSCI1966.0011183X000600010011X.
8. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственная биология*. 1984. № 4. С. 109–113.
9. Хангильдин В. В., Литвиненко М. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // *Научно-технический бюллетень ВСГИ*. 1981. № 1 (39). С. 8–14.
10. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва, Альянс, 2011. 350 с.
11. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайности // *Селекция и семеноводство*. 1994. № 2. С. 3–7.
12. Ержебаева Р. С., Дидоренко С. И., Кудайбергенов М. С., Даниярова А. К., Амангелдиева А. А. Поиск источников засухоустойчивости среди новой коллекции сои (*glycine max*) в условиях юга-востока Казахстана // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019. № 3 (31). С. 63–73. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11116.
13. Tahiri S., Zafari S., Ashraf M., Perveen S., Mahmood S. Evaluation of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) using physiological indicators // *Pakistan Journal of Botany*. 2023. Vol. 55, No. 3. Pp. 843–849. DOI: 10.30848/PJB2023-3(8).
14. Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M. Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices // *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*. 2021. Vol. 4, No. 1. Pp. 176–179. DOI: 10.22034/CAJPSI.2021.04.01.
15. Патент РФ. RU 2 710 056 С1. Способ отбора высокопродуктивных селекционных образцов озимых культур / И. Р. Манукян, С. А. Бекузарова, Е. С. Басиева, Е. С. Мирошникова. 2019. Заяв. 2019121471. Оpubл. 24.12.2019. 7 с.

16. Аниськов Н. И., Сафонова И. В. Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи селекции ВИР в условиях Северо-Западного региона // Тенденции развития науки и образования. 2020. Т. 58, № 3. С. 5–9. DOI: 10.18411/lj-02-2020-38.

17. Богдан П. М., Клыков А. Г., Коновалова И. В., Кузьменко Н. В. Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в условиях Приморского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184, № 1. С. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101.

18. Койшыбаев М. Болезни пшеницы: монография. Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций, 2018. 365 с.

19. Галушко Н. А., Соколенко Н. И. Адаптивность сортов озимой пшеницы, возделываемых в условиях Северо-Кавказского региона // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 5. С. 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50.

20. Децына А. А., Илларионова И. В., Щербинина В. О. Расчет параметров экологической пластичности и стабильности масличных сортов подсолнечника селекции ВНИИМК // Масличные культуры. 2020. № 3 (183). С. 31–38. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-3-183-31-38.

Об авторе:

Ирина Рафиковна Манукян, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела селекционных технологий и первичного семеноводства сельскохозяйственных растений, Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – филиал Владикавказского научного центра Российской академии наук, п. Михайловское, Республика Северная Осетия-Алания, Россия; ORCID 0000-0002-1620-4302, AuthorID 377607. E-mail: miririna.61@mail.ru

References

1 Hatfield J. L., Byrns B. L. Yield gaps in wheat: path to enhancing productivity. *Frontiers in Plant Science | Crop and Product Physiology*. 2019; 10: 1630. DOI: 10.3389/fpls.2019.01603.

2. Balcha A. Genotype by environment interaction for grain yield and association among stability parameters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) *American Journal of Plant Sciences*. 2020; 11 (1): 111001. DOI: 10.4236/ajps.2020.111001.

3. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Productivity and adaptability of pea varieties in the subtaiga of the Northern Trans Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 8 (237): 24–36. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-24-36. (In Russ.)

4. Safonova I. V., Aniskoy N. I. Index assessment of drought resistance of promising varieties of diploid winter rye in contrastive growing conditions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 7 (236): 32–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-236-07-32-45. (In Russ.)

5. Safonova I. V., Aniskov N. I. The significance of a comprehensive assessment of breeding indices and parameters of stress resistance of winter rye varieties. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 6 (221): 16–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26. (In Russ.)

6. Manukyan I. R., Basieva M. A., Miroshnikova E. S., Abiev V. B. Assessment of ecological plasticity of winter wheat varieties in the conditions of a foothill zone of the Central Caucasus. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019; 4 (183): 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158. (In Russ.)

7. Eberhart S. G., Russell W. G. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966; 6 (1): 36–40. DOI: 10.2135/CROPSCI1966.0011183X000600010011X.

8. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Assessment of ecological plasticity and stability of varieties of agricultural crops. *Agricultural Biology*. 1984; 4: 109–113. (In Russ.)

9. Khangildin V. V., Litvinenko M. A. Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties. *Scientific and Technical Bulletin VSGI*. 1981; 1 (39): 8–14. (In Russ.)

10. Dospikhov B. A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results. Moscow: Al'yans, 2011. 350 p. (In Russ.)

11. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. Methodology for identifying the potential productivity and adaptability of varieties and breeding forms of winter wheat in terms of yield. *Breeding and Seed Production*. 1994; 2: 3–6. (In Russ.)

12. Yezhebaeva R. S., Didorenko S. I., Kudaybergenov M. S., Daniyarova A. K., Amangeldieva A. A. The search for sources of drought resistance among a new collection of soybean (*glycine max*) in conditions of south-eastern Kazakhstan. *Legumes and Cereals*. 2019; 3 (31): 63–73. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11116. (In Russ.)

13. Tahiri S., Zafari S., Ashraf M., Perveen S., Mahmood S. Evaluation of drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) using physiological indicators. *Pakistan Journal of Botany*. 2023; 55 (3): 843–849. DOI: 10.30848/PJB2023-3(8).

14. Sharifi P., Astereki H., Sheikh F., Khorasanizadeh M. Evaluation of faba bean genotypes in normal and drought stress conditions by tolerance and susceptibility indices. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*. 2021; 4 (1): 176–179. DOI: 10.22034/CAJPSI.2021.04.01
15. Patent of the Russian Federation. RU 2 710 056 C1 Method for selecting highly productive selection samples of winter crops / I. R. Manukyan, S. A. Bekuzarova, E. S. Basieva, E. S. Miroshnikova. 2019. Appl. 2019121471. Publ. 24.12.2019. 7 p.
16. Aniskov N. I., Safonova I. V. Productivity and adaptability of winter rye varieties of VIR breeding in the conditions of the North-Western region. *Trends in the Development of Science and Education*. 2020; 58 (3): 5–9. DOI: 10.18411/lj-02-2020-38. (In Russ.)
17. Bogdan P. M., Klykov A. G., Konovalova I. V., Kuzmenko N. V. Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum durum Desf.*) in the conditions of the Primorsky Territory. *Works on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023; 184 (1). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101. (In Russ.)
18. Koishybaev M. *Wheat diseases: a monograph*. Ankara: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018. 365 p. (In Russ.)
19. Galushko N. A., Sokolenko N. I. Adaptability of winter wheat varieties cultivated in the conditions of the North Caucasus region. *Achievements of Science and Technology of the AIC*. 2022; 36 (5): 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50. (In Russ.)
20. Detsyna A. A., Illarionova I. V., Shcherbinina V. O. Calculation of parameters of ecological plasticity and stability of sunflower oil varieties of VNIIMK breeding. *Oil seeds*. 2020; 183 (3): 31–38. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-3-183-31-38. (In Russ.)

Author's information:

Irina R. Manukyan, candidate of biological sciences, leading researcher of the department of breeding technologies and primary seed production of agricultural plants, North Caucasus Research Institute of Mountain and Piedmont Agriculture – the Affiliate of Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Mikhailovskoe settlement, Republic of North Ossetia-Alania, Russia; ORCID 0000-0002-1620-4302, AuthorID 377607. E-mail: miririna.61@mail.ru

Изучение показателей водного режима сливы разного генетического происхождения в связи с их засухоустойчивостью

З. Е. Ожерельева[✉], А. О. Болгова

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК), д. Жилина, Орловская область, Россия

[✉]E-mail: ozherelieva@orel.vniispk.ru

Аннотация. Цель исследования – выделить засухоустойчивые сорта на основе изучения показателей водного режима сливы разного генетического происхождения. **Методы.** Засухоустойчивость изучали методом обезвоживания. **Результаты.** В результате проведенных исследований выявили, что метеоусловия оказали существенное влияние на годичную и месячную динамику оводненности листового аппарата сортов сливы. Так, в более сухой 2023 г. уровень оводненности листьев изучаемых сортов сливы был ниже, чем в 2022 г., на 8,2 % в июне, на 6,4 % в июле и на 3,8 % в августе. Тем не менее у большинства сортов сохраняется средний уровень оводненности листьев от 60,0 до 70,0 %. Исследования показали, что метеоусловия также существенно влияли на величину водного дефицита (ВД) листьев сортов сливы в течение вегетации. При этом отметили низкий ВД листьев у сортов Гек, Кубанская комета, Венгерка заречная, Венгерка белорусская, Золотое руно, Евразия 21, Stanley, Орловская мечта, ЭЛС 18473, Сувенир Востока, Скороплодная и Неженка. В условиях 4-часового обезвоживания сорта сливы Ветразь и Орловская мечта показали более стабильно низкие показатели водного дефицита листьев. При этом сорт Орловская мечта характеризовался высокой водоудерживающей способностью (ВУС) листьев. На величину ВУС сортов сливы влиял возраст листьев, т. к., согласно результатам исследований, молодые листья этой культуры в большей степени удерживали воду во время 4-часового обезвоживания, чем старые. **Научная новизна.** В результате изучения показателей водного режима выделили засухоустойчивый сорт *Prunus salicina* Орловская мечта на фоне пониженного водного дефицита и максимальной водоудерживающей способности листового аппарата.

Ключевые слова: вид, сорта, слива, водный режим, засухоустойчивость, жаростойкость

Для цитирования: Ожерельева З. Е., Болгова А. О. Изучение показателей водного режима сливы разного генетического происхождения в связи с их засухоустойчивостью // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 176–190. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-176-190>.

Дата поступления статьи: 12.07.2024, **дата рецензирования:** 12.10.2024, **дата принятия:** 08.11.2024.

Study of water regime indicators in plum varieties of different genetic origins in connection with their drought resistance

Z. E. Ozherelieva[✉], A. O. Bolgova

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPК), Zhilina village, Oryol region, Russia

[✉]E-mail: ozherelieva@orel.vniispk.ru

Abstract. The purpose of this research was to identify drought-resistant plum varieties based on the investigation of water regime indicators in plum varieties of different genetic origins. **Methods.** Drought resistance was studied using the dehydration method. **Results.** The conducted research revealed that meteorological conditions had a significant impact on the annual and monthly dynamics of the leaf water content in plum varieties. In the drier year of 2023, the leaf water content of the studied plum varieties was 8.2 % lower in June, 6.4 % lower in July, and 3.8 %

lower in August compared to 2022. Nevertheless, most varieties maintained an average leaf water content level ranging from 60.0 % to 70.0 %. The research also showed that meteorological conditions significantly influenced the water deficit (WD) in the leaves of plum varieties throughout the growing season. Notably, low leaf WD was observed in the varieties Gek, Kubanskaya Kometa, Vengerka Zarechnaya, Vengerka Belorusskaya, Zolotoe Runo, Evraziya 21, Stanley, Orlovskaya Mechta, ELS 18473, Suvenir Vostoka, Skoroplodnaya, and Nezhenka. Under the conditions of a 4-hour dehydration period, the plum varieties Vetrax and Orlovskaya Mechta showed more consistently low water deficit indicators. Furthermore, the Orlovskaya Mechta variety was characterized by high leaf water retention capacity (WRC). The WRC of plum varieties was influenced by leaf age, as the study results indicated that younger leaves of this crop retained water more effectively during the 4-hour dehydration period compared to older leaves. **Scientific novelty.** The study the indicators of the water regime, a drought-resistant variety of *Prunus salicina* Orlovskaya Mechta was identified against the background of reduced water scarcity and maximum water retention capacity of the leaf apparatus.

Keywords: species, varieties, plum, water regime, drought resistance, heat resistance

For citation: Ozherelieva Z. E., Bolgova A. O. Study of water regime indicators in plum varieties of different genetic origins in connection with their drought resistance. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 176–190. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-176-190>. (In Russ.)

Date of paper submission: 12.07.2024, **date of review:** 12.10.2024, **date of acceptance:** 08.11.2024.

Постановка проблемы ((Introduction))

Слива – ценная косточковая культура [1; 2]. Она выращивается не только в России, но и по всему миру [3–5].

В настоящее время сформирован сортимент сливы. При этом не все ее сорта достаточно адаптивны, поэтому необходимо изучение их устойчивости не только к таким факторам, как морозы, весенние заморозки, но и к таким, как засуха, высокие температуры летом [6]. Именно эти стрессоры определяют во многом продуктивность, регулярность плодоношения и качество плодов у различных сортов сливы [7–11].

Экстремальная засуха в Центральной России в 2010 году вызвала полную потерю урожая у большинства сортов плодовых культур. По температурному и водному режиму в 2010 году были обследованы насаждения плодовых культур во всех садоводческих хозяйствах Тамбовской области, а также в хозяйствах Липецкой, Воронежской и Волгоградской областей. Насаждения без стационарного полива имели мелкие листья без тургора, светлой окраски, слабый прирост, основная завязь была сброшена, а оставшиеся плоды недоразвиты [12]. В Орловской области после засушливого лета 2010 года косточковые культуры ушли в зиму 2010/2011 года плохо подготовленными, что негативно сказалось на зимостойкости цветковых почек [13]. В связи с этим исследования засухоустойчивости сливы сохраняют свою актуальность.

Цель исследования – выделить засухоустойчивые сорта сливы на основе изучения показателей водного режима.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования провели в 2022–2023 годах на базе лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений и участках первичного сортоизучения косточковых культур ВНИИСПК. Показатели водного режима определяли по методике, разработанной

ВНИИГиСПР им. Мичурина [14]. Пробы листьев брали в сухую жаркую погоду в утренние часы. Засухоустойчивость устанавливали методом обезвоживания в двукратной повторности по три листа в каждой, длительность – 4 ч при температуре 24 °С. Дифференциация сортов по группам устойчивости к засухе провели согласно шкале [15] (таблица 1).

За годы исследований в летний период отметили неравномерное распределение температуры и осадков (рис. 1).

Статистическую обработку результатов выполнили методом дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программного пакета MS Excel.

Результаты (Results)

Степень оводненности растений является одним из существенных показателей их водного режима. Определение содержания воды в листьях дает возможность выяснить эколого-физиологические особенности растений, вскрыть механизмы их адаптации к условиям среды [16].

Согласно данным таблицы 2, метеоусловия оказали существенное влияние на годичную и месячную динамику оводненности листового аппарата сортов сливы. Так, в более сухой 2023 год уровень оводненности листьев изучаемых сортов сливы был ниже, чем в 2022 году, на 8,2 % в июне, на 6,4 % в июле и на 3,8 % в августе. Однако, несмотря на снижение значения этого показателя, у большинства сортов сохраняется средний уровень оводненности листьев от 60,0 до 70,0 % в течение всей вегетации. К тому же отмечена тенденция снижения оводненности тканей листьев у всех сортов сливы к концу вегетации независимо от происхождения, что связано с интенсивным оттоком воды из листьев к плодам и с возрастным состоянием листьев. Известно, что ткани старых листьев растений меньше оводнены, чем молодые.

Таблица 1

Шкала параметров водного режима листьев для сравнительной оценки засухоустойчивости сортов

Условия оценки	Параметры водного режима	Степень устойчивости		
		Высокая	Средняя	Низкая
Первоначальное состояние водного режима	Оводненность тканей, %	70–90	60–70	50–60
	Водный дефицит, %	0–10	10–20	20–30
После 4 часов завядания	Снижение оводненности, %	0–10	10–20	> 20
	Возрастание водного дефицита, %	0–20	20–30	> 30

Table 1

A scale of parameters of the water regime of leaves for a comparative assessment of drought resistance of varieties

Evaluation conditions	Water regime parameters	Degree of stability		
		High	Medium	Low
The initial state of the water regime	Hydration of tissues, %	70–90	60–70	50–60
	Water deficit, %	0–10	10–20	20–30
After 4 hours of wilting	Reduction of hydration, %	0–10	10–20	> 20
	Increasing water scarcity, %	0–20	20–30	> 30

Недостаток влаги в почве и воздухе нарушает водообмен у растений. Снижение оводненности тканей изменяет состояние биокolloидов, что приводит к повреждению тонкой структуры протопласта, существенным сдвигам в состоянии и деятельности всех ферментных систем и, как следствие, к нарушению обмена веществ в растениях. Уменьшение содержания воды в растении вызывает резкое падение интенсивности фотосинтеза и снижение энергетической эффективности дыхания [16].

По результатам наших исследований метеоусловия также оказали существенное влияние на величину ВД листьев сортов сливы в течение вегетации (таблица 3). Наибольший уровень ВД листового аппарата сливы отметили в июне из-за засушливых условий этого месяца. При этом выявили существенные различия между изучаемыми сортами. Так, в июне выявили минимальный уровень ВД листьев (от 8,0 до 10,6 %) у следующих сортов сливы: Золотое руно, Евразия 21, Stanley и Орловская мечта. В июле при улучшении условий влагообеспечения растений ВД листьев снижается у всех сортов независимо от происхождения. Низкий ВД листьев отметили у сортов Ветразь, Венгерка заречная, Венгерка белорусская, Золотое руно, Евразия 21, Stanley, Орловская мечта, Сувенир Востока, Скороплодная и Неженка. На снижение ВД листьев сортов сливы в августе 2022 года, по-видимому, повлияло высокое количество выпавших осадков в предшествующем месяце (рис. 1), тогда как в июле 2023 года осадков выпало меньше нормы на 12,4 мм (рис. 1), уровень ВД листьев сливы превысил в 2,8 раза этот показатель прошлого года. Таким образом, согласно двухлетним наблюдениям, отметили низкий ВД листьев у сортов Гек, Кубанская комета, Венгерка заречная, Венгерка белорусская, Золотое руно, Евразия 21, Stanley, Орловская мечта, ЭЛС 18473, Сувенир Востока, Скороплодная и Неженка.

После 4 часов обезвоживания отметили существенное различие между сортами по величине

ВД листьев, который повышался в разной степени. В большей степени (на 20,2 % и 20,5 %) ВД листьев повысился у сортов сливы Золотое руно и Неженка, у остальных сортов этот показатель возрастал в пределах от 7,4 до 18,3 %. В июле ВД листьев сливы повысился на 6,0 % по сравнению с июнем. При этом минимальный уровень повышения ВД листьев (от 13,1 до 19,8 %) отметили у сортов Асалода, Ветразь, Гек, Кубанская комета, Stanley, Сувенир Востока, ЭЛС 18473, Орловская мечта, Неженка. У сорта Золотое руно после 4 часов обезвоживания данный показатель вырос на 35 %, у других сортов (Венгерка белорусская, Венгерка заречная, Злато скифов, Евразия 21, Скороплодная) увеличился на 21,2–29,8 %. В августе ВД листьев изучаемых сортов сливы был выше соответственно на 10,5 % и 4,3 % по сравнению с июнем и июлем. К тому же уровень этого параметра повысился более чем на 20,0 % у большинства сортов. Минимальное повышение от 16,7 до 19,8 % этого показателя при обезвоживании выявили у сортов Ветразь, Евразия 21, Венгерка заречная и Орловская мечта (таблица 4). Таким образом, согласно результатам наших исследований, в условиях обезвоживания сорта сливы Ветразь и Орловская мечта показали более стабильно низкие показатели водного дефицита листьев.

В регулировании водного обмена растений значительную роль играют водоудерживающие силы, обусловленные в основном содержанием в клетках осмотически активных веществ и способностью коллоидов к набуханию [16].

Так, в июне после 4 часов обезвоживания наибольшей водоудерживающей способностью (ВУС) листьев характеризовались генотипы Евразия 21, Венгерка заречная, Венгерка белорусская, Stanley, Орловская мечта, Скороплодная. По данным таблицы 4 видно, что в июле ВУС листьев у изучаемых сортов понижается на 6,3 % по сравнению с июнем. При этом более высокими показателями ВУС характеризовались сорта Ветразь, Евразия 21, Злато

скифов, Кубанская комета, Stanley и Орловская мечта. В августе наблюдали дальнейшее снижение на 18,9% ВУС листьев у сливы по сравнению с июлем. И в результате в августе только один сорт Орловская мечта характеризовался высокой ВУС листьев (таблица 5). Следует отметить, что на величину ВУС сортов сливы влиял возраст листьев, т. к., согласно результатам исследований, молодые листья этой культуры в большей степени удерживали воду во время 4-часового обезвоживания, чем старые.

В результате проведенных исследований сорта сливы были распределены на группы устойчивости к засухе (таблица 6) согласно шкале параметров водного режима листьев (таблица 1).

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По мнению ряда авторов, изучавших водный режим плодовых растений, к наиболее значимым его показателям относятся оводненность, водный дефицит и водоудерживающую способность [17–19]. В результате проведенных исследований выявили, что метеословия оказали существенное влияние на годовичную и месячную динамику оводненности листового аппарата сортов сливы. Так, в более сухой 2023 год уровень оводненности листьев изучаемых сортов сливы был ниже, чем в 2022 году. Тем не менее у большинства сортов сохранялся средний уровень оводненности листьев в течение вегетации. Исследования показали, что метеословия также

оказывали существенное влияние на величину ВД листьев сортов сливы в течение вегетации. При этом отметили низкий ВД листьев у сортов Гек, Кубанская комета, Венгерка заречная, Венгерка белорусская, Золотое руно, Евразия 21, Stanley, Орловская мечта, ЭЛС 18473, Сувенир Востока, Скороплодная и Неженка. В условиях 4-часового обезвоживания сорта сливы Ветразь и Орловская мечта показали более стабильно низкие показатели водного дефицита листьев. При этом сорт Орловская мечта характеризовался высокой водоудерживающей способностью листьев в условиях обезвоживания. На величину ВУС сортов сливы влиял возраст листьев, т. к., согласно результатам исследований, молодые листья этой культуры в большей степени удерживали воду во время 4-часового обезвоживания, чем старые. Полученные данные согласуются с результатами исследований других авторов [20]. Таким образом, в результате изучения показателей водного режима выделили засухоустойчивый сорт *Prunus salicina* Орловская мечта на фоне пониженного водного дефицита и максимальной водоудерживающей способности листового аппарата. Большинство изученных сортов сливы характеризовались средним уровнем засухоустойчивости. Низкую засухоустойчивость проявили сорта Золотое руно и Сувенир Востока.

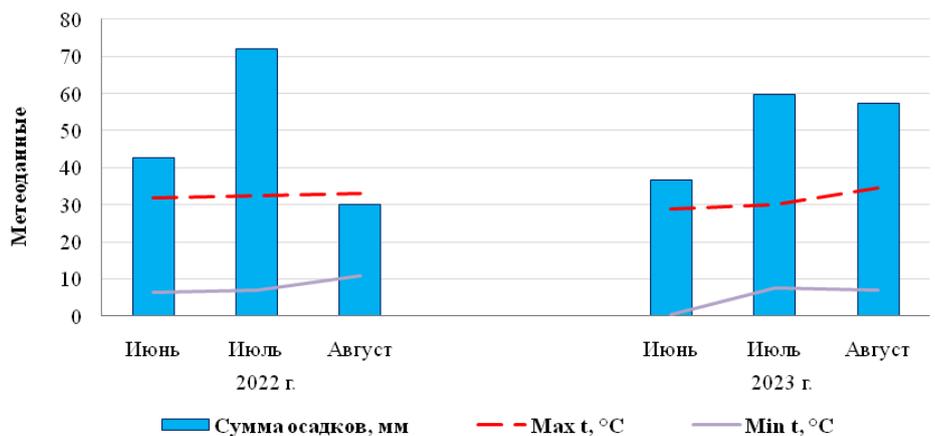


Рис. 1. Метеорологические условия летних месяцев за 2022–2023 гг.

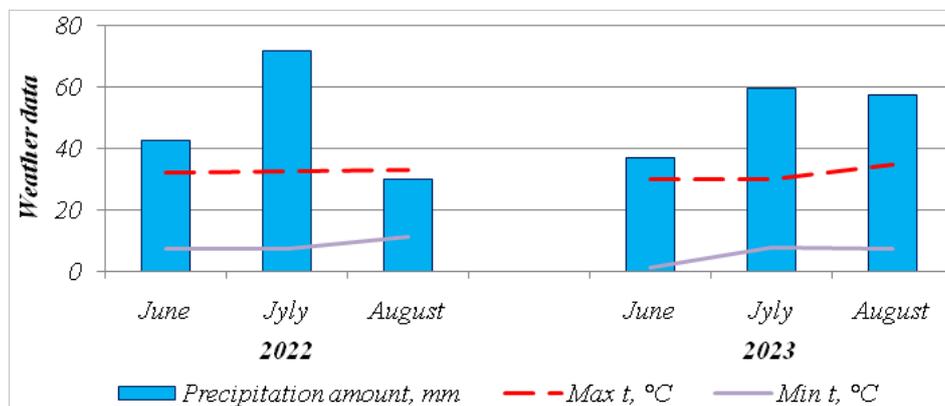


Fig. 1. Meteorological conditions of the summer months for 2022–2023

Таблица 2

Оводненность листьев сливы в летний период 2022–2023 гг., %

Агротехнологии

Сорт, В	Год, А		Среднее по фактору В
	2022	2023	
Июнь			
Асалода	63,0	59,6	61,3
Венгерка белорусская	71,5	62,9	67,2
Венгерка заречная	68,1	63,8	66,0
Ветразь	69,8	60,9	65,4
Гек	68,1	63,4	65,7
Евразия 21	71,7	65,3	68,5
Злато скифов	66,1	66,3	66,2
Золотое руно	68,7	65,8	67,2
Кубанская комета	66,9	64,3	65,6
Неженка	70,4	63,7	67,0
Орловская мечта	69,7	62,6	66,2
Скороплодная	68,8	65,5	67,1
Stanley	73,6	65,1	69,4
Сувенир Востока	69,1	60,0	64,6
ЭЛС 18473	67,6	66,8	67,2
Среднее по фактору А	68,9	63,7	66,3
НСР $A_{05} = 1,89$		НСР $B_{05} = 5,18$	НСР $AB_{05} F_{\phi} < F_{\tau}$
Июль			
Асалода	57,5	57,7	57,6
Венгерка белорусская	67,3	61,0	64,2
Венгерка заречная	66,7	58,2	62,4
Ветразь	62,5	63,7	63,1
Гек	62,9	61,1	62,0
Евразия 21	70,0	65,8	67,9
Злато скифов	64,1	60,2	62,2
Золотое руно	67,4	62,3	64,8
Кубанская комета	63,0	62,5	62,7
Неженка	65,5	57,2	61,4
Орловская мечта	66,5	58,8	62,6
Скороплодная	64,9	57,0	61,0
Stanley	65,4	63,0	64,2
Сувенир Востока	64,6	61,4	63,0
ЭЛС 18473	66,4	66,5	66,4
Среднее по фактору А	65,0	61,1	63,0
НСР $A_{05} = 0,35$		НСР $B_{05} = 0,97$	НСР $AB_{05} = 1,37$
Август			
Асалода	59,6	58,6	59,1
Венгерка белорусская	66,8	62,7	64,8
Венгерка заречная	61,8	65,5	63,6
Ветразь	59,6	64,2	61,9
Гек	67,0	62,4	64,7
Евразия 21	67,3	62,2	64,8
Злато скифов	65,0	58,6	61,8
Золотое руно	64,7	63,5	64,1
Кубанская комета	61,5	60,3	60,9
Неженка	63,3	59,5	61,4
Орловская мечта	63,1	58,9	61,0
Скороплодная	65,0	58,6	61,8
Stanley	65,8	66,3	66,0
Сувенир Востока	61,8	61,6	61,7
ЭЛС 18473	63,4	64,2	63,8
Среднее по фактору А	63,7	61,4	62,6
НСР $A_{05} = 0,99$		НСР $B_{05} = 2,72$	НСР $AB_{05} = 3,85$

Hydration of plum leaves in the summer period 2022–2023, %

Variety, B	Year, A		The average of the factor B
	2022	2023	
June			
Asaloda	63.0	59.6	61.3
Vengerka Belorusskaya	71.5	62.9	67.2
Vengerka Zarechnaya	68.1	63.8	66.0
Vetraz'	69.8	60.9	65.4
Gek	68.1	63.4	65.7
Evraziya 21	71.7	65.3	68.5
Zlato Skifov	66.1	66.3	66.2
Zolotoe Runo	68.7	65.8	67.2
Kubanskaya Kometa	66.9	64.3	65.6
Nezhenka	70.4	63.7	67.0
Orlovskaya Mehta	69.7	62.6	66.2
Skoroplodnaya	68.8	65.5	67.1
Stanley	73.6	65.1	69.4
Suvenir Vostoka	69.1	60.0	64.6
ELS 18473	67.6	66.8	67.2
The average of the factor A	68.9	63.7	66.3
$LSD A_{05} = 1.89$		$LSD B_{05} = 5.18$	
			$LSD AB_{05} F_f < F_t$
July			
Asaloda	57.5	57.7	57.6
Vengerka Belorusskaya	67.3	61.0	64.2
Vengerka Zarechnaya	66.7	58.2	62.4
Vetraz'	62.5	63.7	63.1
Gek	62.9	61.1	62.0
Evraziya 21	70.0	65.8	67.9
Zlato Skifov	64.1	60.2	62.2
Zolotoe Runo	67.4	62.3	64.8
Kubanskaya Kometa	63.0	62.5	62.7
Nezhenka	65.5	57.2	61.4
Orlovskaya Mehta	66.5	58.8	62.6
Skoroplodnaya	64.9	57.0	61.0
Stanley	65.4	63.0	64.2
Suvenir Vostoka	64.6	61.4	63.0
ELS 18473	66.4	66.5	66.4
The average of the factor A	65.0	61.1	63.0
$LSD A_{05} = 0.35$		$LSD B_{05} = 0.97$	
			$LSD AB_{05} = 1.37$
August			
Asaloda	59.6	58.6	59.1
Vengerka Belorusskaya	66.8	62.7	64.8
Vengerka Zarechnaya	61.8	65.5	63.6
Vetraz'	59.6	64.2	61.9
Gek	67.0	62.4	64.7
Evraziya 21	67.3	62.2	64.8
Zlato Skifov	65.0	58.6	61.8
Zolotoe Runo	64.7	63.5	64.1
Kubanskaya Kometa	61.5	60.3	60.9
Nezhenka	63.3	59.5	61.4
Orlovskaya Mehta	63.1	58.9	61.0
Skoroplodnaya	65.0	58.6	61.8
Stanley	65.8	66.3	66.0
Suvenir Vostoka	61.8	61.6	61.7
ELS 18473	63.4	64.2	63.8
The average of the factor A	63.7	61.4	62.6
$LSD A_{05} = 0.99$		$LSD B_{05} = 2.72$	
			$LSD AB_{05} = 3.85$

Таблица 3

Водный дефицит листьев сливы в летний период 2022–2023 гг., %

Агротехнологии

Сорт, В	Год, А		Среднее по фактору В
	2022	2023	
Июнь			
Асалода	12,6	16,1	14,4
Венгерка белорусская	12,7	17,1	14,9
Венгерка заречная	12,6	13,2	12,9
Ветразь	16,6	18,3	17,4
Гек	14,5	12,9	13,7
Евразия 21	9,3	11,9	10,6
Злато скифов	15,3	18,8	17,1
Золотое руно	11,1	8,9	10,0
Кубанская комета	18,5	16,7	17,6
Неженка	15,0	7,6	11,3
Орловская мечта	9,8	11,4	10,6
Скороплодная	15,8	15,8	15,8
Stanley	9,1	6,9	8,0
Сувенир Востока	11,5	13,7	12,6
ЭЛС 18473	13,9	14,2	14,1
Среднее по фактору А	13,2	13,6	13,4
НСР $A_{05} F_{\phi} < F_{\tau}$		НСР $B_{05} = 1,53$	НСР $AB_{05} = 2,16$
Июль			
Асалода	12,7	17,0	14,8
Венгерка белорусская	8,5	8,3	8,4
Венгерка заречная	8,3	10,0	9,1
Ветразь	7,5	11,0	9,3
Гек	11,3	15,5	13,4
Евразия 21	7,2	4,3	5,7
Злато скифов	10,9	15,4	13,1
Золотое руно	7,3	7,0	7,2
Кубанская комета	12,7	13,5	13,1
Неженка	7,4	7,9	7,6
Орловская мечта	4,5	6,8	5,6
Скороплодная	5,6	6,3	5,9
Stanley	11,8	7,9	9,9
Сувенир Востока	8,4	8,1	8,3
ЭЛС 18473	12,3	12,6	12,4
Среднее по фактору А	9,1	10,1	9,6
НСР $A_{05} = 0,87$		НСР $B_{05} = 2,38$	НСР $AB_{05} = 3,37$
Август			
Асалода	5,9	19,1	12,5
Венгерка белорусская	2,0	10,4	6,2
Венгерка заречная	3,0	6,9	4,9
Ветразь	4,2	25,1	14,6
Гек	0,7	11,4	6,0
Евразия 21	3,3	10,5	6,9
Злато скифов	6,1	20,1	13,1
Золотое руно	3,5	6,8	5,1
Кубанская комета	5,9	16,0	10,9
Неженка	6,3	8,5	7,4
Орловская мечта	7,1	9,1	8,1
Скороплодная	3,2	10,4	6,8
Stanley	8,4	8,7	8,6
Сувенир Востока	3,8	9,4	6,6
ЭЛС 18473	2,2	9,2	5,7
Среднее по фактору А	4,4	12,1	8,2
НСР $A_{05} = 0,65$		НСР $B_{05} = 1,77$	НСР $AB_{05} = 2,51$

Table 3

Water deficiency of plum leaves in the summer period 2022–2023, %

Variety, B	Year, A		The average of the factor B
	2022	2023	
June			
Asaloda	12.6	16.1	14.4
Vengerka Belorusskaya	12.7	17.1	14.9
Vengerka Zarechnaya	12.6	13.2	12.9
Vetraz'	16.6	18.3	17.4
Gek	14.5	12.9	13.7
Evrasiya 21	9.3	11.9	10.6
Zlato Skifov	15.3	18.8	17.1
Zolotoe Runo	11.1	8.9	10.0
Kubanskaya Kometa	18.5	16.7	17.6
Nezhenka	15.0	7.6	11.3
Orlovskaya Mechta	9.8	11.4	10.6
Skoroplodnaya	15.8	15.8	15.8
Stanley	9.1	6.9	8.0
Suvenir Vostoka	11.5	13.7	12.6
ELS 18473	13.9	14.2	14.1
The average of the factor A	13.2	13.6	13.4
$LSD A_{05} F_f < F_t$		$LSD B_{05} = 1.53$	$LSD AB_{05} = 2.16$
July			
Asaloda	12.7	17.0	14.8
Vengerka Belorusskaya	8.5	8.3	8.4
Vengerka Zarechnaya	8.3	10.0	9.1
Vetraz'	7.5	11.0	9.3
Gek	11.3	15.5	13.4
Evrasiya 21	7.2	4.3	5.7
Zlato Skifov	10.9	15.4	13.1
Zolotoe Runo	7.3	7.0	7.2
Kubanskaya Kometa	12.7	13.5	13.1
Nezhenka	7.4	7.9	7.6
Orlovskaya Mechta	4.5	6.8	5.6
Skoroplodnaya	5.6	6.3	5.9
Stanley	11.8	7.9	9.9
Suvenir Vostoka	8.4	8.1	8.3
ELS 18473	12.3	12.6	12.4
The average of the factor A	9.1	10.1	9.6
$LSD A_{05} = 0.87$		$LSD B_{05} = 2.38$	$LSD AB_{05} = 3.37$
August			
Asaloda	5.9	19.1	12.5
Vengerka Belorusskaya	2.0	10.4	6.2
Vengerka Zarechnaya	3.0	6.9	4.9
Vetraz'	4.2	25.1	14.6
Gek	0.7	11.4	6.0
Evrasiya 21	3.3	10.5	6.9
Zlato Skifov	6.1	20.1	13.1
Zolotoe Runo	3.5	6.8	5.1
Kubanskaya Kometa	5.9	16.0	10.9
Skoroplodnaya	3.2	10.4	6.8
Nezhenka	6.3	8.5	7.4
Orlovskaya Mechta	7.1	9.1	8.1
Stanley	8.4	8.7	8.6
Suvenir Vostoka	3.8	9.4	6.6
ELS 18473	2.2	9.2	5.7
The average of the factor A	4.4	12.1	8.2
$LSD A_{05} = 0.65$		$LSD B_{05} = 1.77$	$LSD AB_{05} = 2.51$

Таблица 4

Водный дефицит листьев сливы при обезвоживании 2022–2023 гг., %

Агротехнологии

Сорт, В	Год, А		Среднее по фактору В
	2022	2023	
Июнь			
Асалода	31,7	28,8	30,3
Венгерка белорусская	26,8	17,9	22,3
Венгерка заречная	24,1	33,1	28,6
Ветразь	28,3	34,0	31,2
Гек	35,3	28,7	32,0
Евразия 21	24,4	22,8	23,6
Злато скифов	34,4	34,3	34,4
Золотое руно	29,2	31,3	30,2
Кубанская комета	32,5	30,6	31,6
Неженка	32,3	31,3	31,8
Орловская мечта	26,2	29,8	28,0
Скороплодная	25,3	28,6	26,9
Stanley	12,8	24,3	18,5
Сувенир Востока	33,8	25,7	29,7
ЭЛС 18473	27,7	28,3	28,0
Среднее по фактору А	28,3	28,6	28,5
НСП $A_{05} F_{\phi} < F_{\tau}$			НСП $B_{05} = 4,55$
			НСП $AB_{05} = 6,44$
Июль			
Асалода	30,2	33,8	32,0
Венгерка белорусская	28,6	42,5	35,4
Венгерка заречная	29,5	37,3	33,4
Ветразь	33,7	24,5	29,1
Гек	30,8	28,4	29,6
Евразия 21	28,3	42,5	35,5
Злато скифов	30,0	38,5	34,3
Золотое руно	35,6	49,0	42,3
Кубанская комета	23,1	29,3	26,2
Неженка	24,0	25,0	24,5
Орловская мечта	25,6	25,1	25,3
Скороплодная	26,6	28,6	27,6
Stanley	28,6	30,2	29,4
Сувенир Востока	29,1	24,1	26,6
ЭЛС 18473	32,5	30,8	31,6
Среднее по фактору А	29,1	31,4	30,2
НСП $A_{05} F_{\phi} < F_{\tau}$			НСП $B_{05} = 6,65$
			НСП $AB_{05} = 9,41$
Август			
Асалода	39,5	41,7	40,6
Венгерка белорусская	28,3	32,3	30,3
Венгерка заречная	23,4	25,7	24,5
Ветразь	35,6	32,9	34,3
Гек	24,2	31,3	27,8
Евразия 21	28,8	24,6	26,7
Злато скифов	35,2	34,2	34,7
Золотое руно	35,7	38,6	37,2
Кубанская комета	32,0	34,1	33,0
Неженка	25,5	30,6	28,1
Орловская мечта	27,7	21,8	24,8
Скороплодная	34,0	37,0	35,5
Stanley	29,9	29,8	29,9
Сувенир Востока	34,9	42,9	38,9
ЭЛС 18473	23,0	29,8	26,4
Среднее по фактору А	30,5	32,5	31,5
НСП $A_{05} = 1,08$			НСП $B_{05} = 2,97$
			НСП $AB_{05} = 4,19$

Table 4

Water deficiency of plum leaves during dehydration 2022–2023, %

Variety, B	Year, A		The average of the factor B
	2022	2023	
June			
Asaloda	31.7	28.8	30.3
Vengerka Belorusskaya	26.8	17.9	22.3
Vengerka Zarechnaya	24.1	33.1	28.6
Vetraz'	28.3	34.0	31.2
Gek	35.3	28.7	32.0
Evraziya 21	24.4	22.8	23.6
Zlato Skifov	34.4	34.3	34.4
Zolotoe Runo	29.2	31.3	30.2
Kubanskaya Kometa	32.5	30.6	31.6
Nezhenka	32.3	31.3	31.8
Orlovskaya Mechta	26.2	29.8	28.0
Skoroplodnaya	25.3	28.6	26.9
Stanley	12.8	24.3	18.5
Suvenir Vostoka	33.8	25.7	29.7
ELS 18473	27.7	28.3	28.0
The average of the factor A	28.3	28.6	28.5
$LSD A_{05} F_f < F_t$		$LSD B_{05} = 4.55$	$LSD AB_{05} = 6.44$
July			
Asaloda	30.2	33.8	32.0
Vengerka Belorusskaya	28.6	42.5	35.4
Vengerka Zarechnaya	29.5	37.3	33.4
Vetraz'	33.7	24.5	29.1
Gek	30.8	28.4	29.6
Evraziya 21	28.3	42.5	35.5
Zlato Skifov	30.0	38.5	34.3
Zolotoe Runo	35.6	49.0	42.3
Kubanskaya Kometa	23.1	29.3	26.2
Nezhenka	24.0	25.0	24.5
Orlovskaya Mechta	25.6	25.1	25.3
Skoroplodnaya	26.6	28.6	27.6
Stanley	28.6	30.2	29.4
Suvenir Vostoka	29.1	24.1	26.6
ELS 18473	32.5	30.8	31.6
The average of the factor A	29.1	31.4	30.2
$LSD A_{05} F_f < F_t$		$LSD B_{05} = 6.65$	$LSD AB_{05} = 9.41$
August			
Asaloda	39.5	41.7	40.6
Vengerka Belorusskaya	28.3	32.3	30.3
Vengerka Zarechnaya	23.4	25.7	24.5
Vetraz'	35.6	32.9	34.3
Gek	24.2	31.3	27.8
Evraziya 21	28.8	24.6	26.7
Zlato Skifov	35.2	34.2	34.7
Zolotoe Runo	35.7	38.6	37.2
Kubanskaya Kometa	32.0	34.1	33.0
Nezhenka	25.5	30.6	28.1
Orlovskaya Mechta	27.7	21.8	24.8
Skoroplodnaya	34.0	37.0	35.5
Stanley	29.9	29.8	29.9
Suvenir Vostoka	34.9	42.9	38.9
ELS 18473	23.0	29.8	26.4
The average of the factor A	30.5	32.5	31.5
$LSD A_{05} = 1.08$		$LSD B_{05} = 2.97$	$LSD AB_{05} = 4.19$

Таблица 5

Водоудерживающая способность листьев сливы в условиях засухи, %

Агротехнологии

Сорт, В	Год, А		Среднее по фактору В
	2022	2023	
Июнь			
Асалода	20,4	27,7	24,0
Венгерка белорусская	18,3	12,8	15,6
Венгерка заречная	14,9	23,4	19,1
Ветразь	23,8	32,9	28,3
Гек	22,0	21,4	21,7
Евразия 21	19,0	20,4	19,6
Злато скифов	24,2	29,4	26,8
Золотое руно	17,6	26,9	22,4
Кубанская комета	20,3	28,0	24,2
Неженка	23,4	26,7	25,1
Орловская мечта	17,1	25,6	21,3
Скороплодная	20,6	21,2	20,9
Stanley	11,7	22,1	16,9
Сувенир Востока	25,0	24,7	24,8
ЭЛС 18473	22,5	27,7	25,1
Среднее по фактору А	20,0	24,7	22,4
НСР $A_{05} = 1,12$			НСР $B_{05} = 3,06$
			НСР $AB_{05} = 4,33$
Июль			
Асалода	29,7	24,1	26,9
Венгерка белорусская	17,2	40,9	29,1
Венгерка заречная	20,9	32,4	26,6
Ветразь	19,3	21,5	20,4
Гек	24,0	21,3	22,6
Евразия 21	17,3	22,8	20,1
Злато скифов	18,0	23,1	20,6
Золотое руно	23,9	45,9	34,9
Кубанская комета	9,1	20,1	14,6
Неженка	18,6	25,2	21,9
Орловская мечта	21,7	20,0	20,9
Скороплодная	17,2	29,0	23,1
Stanley	17,8	24,0	20,9
Сувенир Востока	23,9	19,3	21,6
ЭЛС 18473	31,3	33,0	31,2
Среднее по фактору А	20,7	26,8	23,8
НСР $A_{05} = 1,11$			НСР $B_{05} = 3,03$
			НСР $AB_{05} = 4,28$
Август			
Асалода	46,3	33,4	39,9
Венгерка белорусская	27,9	29,3	28,6
Венгерка заречная	26,0	23,9	25,0
Ветразь	27,4	30,8	29,1
Гек	27,1	25,1	26,1
Евразия 21	27,0	20,5	23,7
Злато скифов	27,5	24,1	25,8
Золотое руно	33,2	35,1	34,1
Кубанская комета	27,5	27,3	27,4
Неженка	22,3	28,2	25,2
Орловская мечта	23,4	16,2	19,8
Скороплодная	32,8	31,1	32,0
Stanley	24,6	24,4	24,5
Сувенир Востока	33,3	36,2	34,8
ЭЛС 18473	32,1	24,5	28,3
Среднее по фактору А	29,2	27,3	28,3
НСР $A_{05} = 1,12$			НСР $B_{05} = 3,06$
			НСР $AB_{05} = 4,33$

The water retention capacity of plum leaves in drought conditions, %

Variety, B	Year, A		The average of the factor B
	2022	2023	
June			
Asaloda	20.4	27.7	24.0
Vengerka Belorusskaya	18.3	12.8	15.6
Vengerka Zarechnaya	14.9	23.4	19.1
Vetraz'	23.8	32.9	28.3
Gek	22.0	21.4	21.7
Evraziya 21	19.0	20.4	19.6
Zlato Skifov	24.2	29.4	26.8
Zolotoe Runo	17.6	26.9	22.4
Kubanskaya Kometa	20.3	28.0	24.2
Nezhenka	23.4	26.7	25.1
Orlovskaya Mechta	17.1	25.6	21.3
Skoroplodnaya	20.6	21.2	20.9
Stanley	11.7	22.1	16.9
Suvenir Vostoka	25.0	24.7	24.8
ELS 18473	22.5	27.7	25.1
The average of the factor A	20.0	24.7	22.4
LSD $A_{05} = 1.12$		LSD $B_{05} = 3.06$	
		LSD $AB_{05} = 4.33$	
July			
Asaloda	29.7	24.1	26.9
Vengerka Belorusskaya	17.2	40.9	29.1
Vengerka Zarechnaya	20.9	32.4	26.6
Vetraz'	19.3	21.5	20.4
Gek	24.0	21.3	22.6
Evraziya 21	17.3	22.8	20.1
Zlato Skifov	18.0	23.1	20.6
Zolotoe Runo	23.9	45.9	34.9
Kubanskaya Kometa	9.1	20.1	14.6
Nezhenka	18.6	25.2	21.9
Orlovskaya Mechta	21.7	20.0	20.9
Skoroplodnaya	17.2	29.0	23.1
Stanley	17.8	24.0	20.9
Suvenir Vostoka	23.9	19.3	21.6
ELS 18473	31.3	33.0	31.2
The average of the factor A	20.7	26.8	23.8
LSD $A_{05} = 1.11$		LSD $B_{05} = 3.03$	
		LSD $AB_{05} = 4.28$	
August			
Asaloda	46.3	33.4	39.9
Vengerka Belorusskaya	27.9	29.3	28.6
Vengerka Zarechnaya	26.0	23.9	25.0
Vetraz'	27.4	30.8	29.1
Gek	27.1	25.1	26.1
Evraziya 21	27.0	20.5	23.7
Zlato Skifov	27.5	24.1	25.8
Zolotoe Runo	33.2	35.1	34.1
Kubanskaya Kometa	27.5	27.3	27.4
Nezhenka	22.3	28.2	25.2
Orlovskaya Mechta	23.4	16.2	19.8
Skoroplodnaya	32.8	31.1	32.0
Stanley	24.6	24.4	24.5
Suvenir Vostoka	33.3	36.2	34.8
ELS 18473	32.1	24.5	28.3
The average of the factor A	29.2	27.3	28.3
LSD $A_{05} = 1.12$		LSD $B_{05} = 3.06$	
		LSD $AB_{05} = 4.33$	

Таблица 6

Дифференциация сортов сливы по группам засухоустойчивости

Группа засухоустойчивости	Параметры после 4 часов обезвоживания	Сорта
Высокая	Снижение оводненности от 0 до 10 %	Орловская мечта
	Возрастание водного дефицита от 0 до 20 %	
Средняя	Снижение оводненности от 10,1 до 20 %	Асалода, Ветразь, Гек, Кубанская комета, Злато скифов, Евразия 21, Венгерка заречная, Венгерка белорусская, Стенлей, ЭЛС 18473, Скороплодная, Неженка
	Возрастание водного дефицита от 20,1 до 30 %	
Низкая	Снижение оводненности более 20 %	Золотое руно, Сувенир Востока
	Возрастание водного дефицита более 30 %	

Агротехнологии

Table 6

Differentiation of plum varieties by drought resistance groups

Drought resistance group	Parameters after 4 hours of dehydration	Varieties
High	Reduction of hydration from 0 to 10 %	Orlovskaya Mechta
	Increasing water scarcity from 0 to 20 %	
Average	Reduction of hydration from 10.1 to 20 %	Asaloda, Vetráz', Gek, Kubanskaya kometa, Zlato Skifov, Evraziya 21, Vengerka Belorusskaya, Vengerka Zarechnaya, Stanley, ELS 18473, Skoroplodnaya, Nezhenka
	Increasing water scarcity from 20.1 to 30 %	
Low	Reduction of hydration by more 20 %	Zolotoe Runo, Suvenir Vostoka
	The increase in water scarcity is more 30 %	

Библиографический список

- Nicoleta S. D., Iordănescu S. Anca O., Bala D., Duma M., Blidariu D. T. Plum varieties features from Iugoj, Timis county, Romania, in terms of fruit quality // Scientific Papers. Series B, Horticulture. 2021. Vol. LXIII, No. 1. 2019. Pp. 123–128.
- Motyleva S., Upadysheva G., Kulikov I., Upadyshev M., Medvedev S., Panischeva D. Plum (*Prunus rossica* Erem.) fruit field and laboratory researches depending on the scion-stock combinations // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2019. Vol. 13, No. 1. Pp. 993–1000. DOI: 10.5219/1208.
- Wang L., Hong K., Xu R., Zhao Z., Cao J. The alleviation of cold-stimulated flesh reddening in 'Friar' plum fruit by the elevated CO₂ with polyvinyl chloride (PVC) packaging // Scientia Horticulturae. 2021. Vol. 281, No. 1-2. Pp. 109997–110006. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.109997.
- Tomić J., Štampar F., Glišić I., Jakopič J. Phytochemical assessment of plum (*Prunus domestica* L.) cultivars selected in Serbia // Food Chemistry. 2019. Vol. 299. Pp. 125113–125121. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125113.
- Ceccarelli D., Antonucci F., Talento C., Ciccoritti R. Chemical characterization in the selection of Italian autochthonous genotypes of plum // Scientia Horticulturae. 2021. Vol. 281. Pp. 109922–109931. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.109922.
- Баширова В. Р., Фещенко Е. М. Агробиологическая оценка адаптивных сортов сливы в условиях Оренбургского Приуралья // Плодоводство и ягодоводство России. 2021. С. 50–59. DOI: 10.31676/2073-4948-2021-67-50-98.
- Lamaoui M., Jemo M., Datla R., Bekkaoui F. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation // Frontiers in Chemistry. 2018. Vol. 6, No. 26. DOI: 10.3389/fchem.2018.00026.
- Sehgal A., Sita K., Siddique K. H. M., Kumar R., Bhogireddy S., Varshney R. K., Hanumantharao B., Nair R. M., Prasad P. V. V., Nayyar H. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 27, No. 9. Article number 1705. DOI: 10.3389/fpls.2018.01705.
- Ouyang W., Yin X., Yang J., Struik P. C. Comparisons with wheat reveal root anatomical and histochemical constraints of rice under water-deficit stress // Plant Soil. 2020. Vol. 452. Pp. 547–568. DOI: 10.1007/s11104-020-04581-6.

10. Ebmeyer H., Fiedler-Wiechers K., Hoffmann C. M. Drought tolerance of sugar beet—evaluation of genotypic differences in yield potential and yield stability under varying environmental conditions // *European Journal of Agronomy*. 2021. Vol. 125. Article number 126262. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126262.

11. Юшков А. Н., Борзых Н. В., Богданов Р. Е. Оценка засухоустойчивости сортов сливы домашней методом индукции флуоресценции хлорофилла // *Journal of Agriculture and Environment*. 2023. Т. 31, № 3. DOI: 10.23649/jae.2023.31.3.004.

12. Григорьева Л. В. Агробиологические аспекты повышения продуктивности яблони в насаждениях ЦЧР РФ: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.08. Мичуринск, 2015. 426 с.

13. Джигадло Е. Н., Гуляева А. А. Устойчивость сортов косточковых культур к абиотическим факторам среды // Совершенствование адаптивного потенциала косточковых культур и технологий их возделывания: материалы международной научно-практической конференции. Орел: ВНИИСПК, 2011. С. 70–73.

14. Леонченко В. Г., Евсеева Р. П., Жбанова Е. В., Черенкова Т. А. Предварительный отбор перспективных генотипов плодовых растений на экологическую устойчивость и биохимическую ценность плодов. Мичуринск: ГНУ ВНИИ генетики и селекции плодовых растений им. И. В. Мичурина, 2007. 72 с.

15. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство / Сост. С. Н. Дроздов [и др.]. Ленинград: ВИР, 1988. 226 с.

16. Юртаева Н. М. Физиология растительной клетки. Водный режим растений. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2014. 26 с.

17. Ненько Н. И., Киселева Г. К., Ульяновская Е. В., Яблонская Е. К., Каратаева А. В. Физиолого-биохимические критерии устойчивости яблони к абиотическим стрессам летнего периода // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54, № 1. С. 158–168. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.158rus.

18. Ожерельева З. Е., Ляхова А. С. Изучение водного режима привойно-подвойных комбинаций вишни // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35, № 4. С. 45–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10407.

19. Ozherelieva, Z., Lyakhova A. Study of the water regime dynamics of cherry in the summer period // *E3S Web of Conferences*. FARBA. 2021. Vol. 254. Article number 02001. DOI: 10.1051/e3sconf/202125402001.

20. Кочубей А. А., Заремук Р. Ш. Исследование засухоустойчивости гибридного материала сливы домашней в условиях юга России // *Аграрная наука*. 2020. Т. 339, № 6. Рр. 94–98. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-94-9.

Об авторах:

Зоя Евгеньевна Ожерельева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией физиологии устойчивости плодовых растений, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК), д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0002-1730-4073, AuthorID 399577. E-mail: ozherelieva@orel.vniispk.ru

Анжелика Олеговна Болгова, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК), д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0002-5917-7308, AuthorID 1110339. E-mail: bolgova@orel.vniispk.ru

References

1. Nicoleta S. D., Iordănescu S. Anca O., Bala D., Duma M., Blidariu D. T. Plum varieties features from Iugoj, timis county, Romania, in terms of fruit quality. *Scientific Papers. Series B, Horticulture*. 2021; LXIII (1): 123–128.

2. Motyleva S., Upadysheva G., Kulikov I., Upadyshev M., Medvedev S., Panischeva D. Plum (*Prunus rosica* Erem.) fruit field and laboratory researches depending on the scion-stock combinations. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2019; 13 (1): 993–1000. DOI: 10.5219/1208.

3. Wang L., Hong K., Xu R., Zhao Z., Cao J. The alleviation of cold-stimulated flesh reddening in ‘Friar’ plum fruit by the elevated CO₂ with polyvinyl chloride (PVC) packaging. *Scientia Horticulturae*. 2021; 281 (1-2): 109997–110006. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.109997.

4. Tomić J., Štampar F., Glišić I., Jakopič J. Phytochemical assessment of plum (*Prunus domestica* L.) cultivars selected in Serbia. *Food Chemistry*. 2019; 299: 125113–125121. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125113.

5. Ceccarelli D., Antonucci F., Talento C., Ciccioritti R. Chemical characterization in the selection of Italian autochthonous genotypes of plum. *Scientia Horticulturae*. 2021; 281: 109922–109931. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.109922.

6. Bashirova V. R., Feschchenko E. M. Agrobiological assessment of adaptive plum varieties in the conditions of the Orenburg Urals. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2021; 67: 50–59. DOI: 10.31676/2073-4948-2021-67-50-98. (In Russ.)

7. Lamaoui M., Jemo M., Datla R., Bekkaoui F. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Frontiers in Chemistry*. 2018; 6 (26). DOI: 10.3389/fchem.2018.00026.
8. Sehgal A., Sita K., Siddique K. H. M., Kumar R., Bhogireddy S., Varshney R. K., Hanumantharao B., Nair R. M., Prasad P. V. V., Nayyar H. Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: Impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*. 2018; 27 (9): 1705. DOI: 10.3389/fpls.2018.01705.
9. Ouyang W., Yin X., Yang J., Struik P. C. Comparisons with wheat reveal root anatomical and histochemical constraints of rice under water-deficit stress. *Plant Soil*. 2020; 452: 547–568. DOI: 10.1007/s11104-020-04581-6.
10. Ebmeyer H., Fiedler-Wiechers K., Hoffmann C. M. Drought tolerance of sugar beet—evaluation of genotypic differences in yield potential and yield stability under varying environmental conditions. *European Journal of Agronomy*. 2021; 125: 126262. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126262.
11. Yushkov A. N., Borzyh N. V., Bogdanov R. E. An evaluation of drought resistance of varieties of common plum by the method of chlorophyll fluorescence induction. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023; 31 (3).. DOI: 10.23649/jae.2023.31.3.004. (In Russ.)
12. Grigoryeva L. V. Agrobiological aspects of increasing the productivity of apple trees in the plantations of the Central Chernozem region of the Russian Federation: dis. ... doctor of agricultural sciences: 06.01.08. Michurinsk, 2015. 426 p. (In Russ.)
13. Dzhigadlo E. N., Gulyaeva A. A. Resistance of stone fruit varieties to abiotic environmental factors. *Improving the adaptive potential of stone crops and their cultivation technologies: materials international scientific and practical conference*. Orel: VNIISPK, 2011. Pp. 70–73. (In Russ.)
14. Leonchenko V. G., Evseeva R. P., Zhanova E. V., Cherenkova T. A. *Preliminary selection of promising genotypes of fruit plants for environmental sustainability and biochemical value of fruits*. Michurinsk: WRI of Genetics and Breeding of Fruit Plants named after I. V. Michurin, 2007. 72 p. (In Russ.)
15. *Diagnostics of plant resistance to stresses: methodological recommendations*. Compiled by S. N. Drozdov. Leningrad: VIR, 1988. 226 p. (In Russ.)
16. Yurtaeva N. M. *The physiology of the plant cell. The water regime of plants*. Nizhniy Novgorod: NNGASU, 2014. 26 p. (In Russ.)
17. Nenko N. I., Kiseleva G. K., Ulyanovskaya E. V., Yablonskaya E. K., Karavayeva A. V. Physio-biochemical criteria for apple tree tolerance to summer abiotic stresses. *Agricultural Biology*. 2019; 54 (1): 158–168. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.158rus. (In Russ.)
18. Ozherelieva Z. E., Lyakhova A. S. Study of the regime of scion-rootstock combinations of cherries. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021; 35 (4): 45–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10407. (In Russ.)
19. Ozherelieva Z., Lyakhova A. Study of the water regime dynamics of cherry in the summer period. *E3S Web of Conferences. FARBA*. 2021; 254: 02001. DOI: 10.1051/e3sconf/202125402001.
20. Kochubey A. A., Zaremuk R. Sh. Study of drought tolerance of hybrid material of home plum in southern Russia. *Agrarian Science*. 2020; 339 (6): 94–98. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-339-6-94-98. (In Russ.)

Authors' information:

Zoya E. Ozherelieva, candidate of agricultural sciences, leading researcher, head of the laboratory of physiology of resistance of fruit plants, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK), Zhilina village, Oryol region, Russia; ORCID 0000-0002-1730-4073, AuthorID 399577. E-mail: ozherelieva@orel.vniispk.ru

Anzhelika O. Bolgova, junior researcher, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK), Zhilina village, Oryol region, Russia; ORCID 0000-0002-5917-7308, AuthorID 1110339. E-mail: bolgova@orel.vniispk.ru

The influence of a microbial consortium of lactic acid bacteria and yeast on the grain yield and quality of several important agricultural crops

V. S. Rzhetskaya[✉], A. V. Omelchenko¹, I. A. Bugara¹, A. N. Gusev¹,
A. V. Kryzhko², V. S. Pashtetskiy²

¹ V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

² Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

✉ E-mail: viktoriyar45@mail.ru

Abstract. The use of chemicals in agriculture has a negative impact on the environment, soil, and the yield and quality of harvests. The **purpose** of this research was to study the effect of a microbial consortium based on lactic acid bacteria and yeast on the productivity of several important agricultural crops. The microbial consortium was obtained by co-cultivation of *Lactobacillus casei*, *L. plantarum*, *L. lactis*, and *Saccharomyces cerevisiae*. **Methods.** The microbial consortium (1 L/ha) was used to treat crops of wheat, corn, soybeans, and rapeseed 1, 2, or 4 times during the growing season compared to treatment of the same crops with water and a widely used microbiological preparation (“Baykal EM-1”). **Results.** A single application of the microbial consortium increased the yield of the treated crops by 25–38 %, while treating the crops in 2 or 4 times affected the quality of the crop rather than its quantity. An increase in protein content of 1.2–3.1 % and oil content of 2.2–4.3 % was observed. The increasing for mineral elements was such as: for copper by 20 %, for zinc by 18.2% and for manganese by 34.4 %. Treatment with the microbial consortium increased the protein yield for wheat, corn, and soybean by 30.2–72.1 % and increased the oil yield for soybean by 30.2–31.7 % and for rapeseed by 40.2–47.7 % depending on the number of treatments. **The scientific novelty.** The microbial consortium with *Lactobacillus casei* IMB B-7343, *Lactobacillus plantarum* IMB B-7344, *Lactococcus lactis* IMB B-7352 and *Saccharomyces cerevisiae* IMB Y-5046 has been demonstrated the effectiveness for the first time in production conditions, associated not only with an increase in yield, but also with its quality.

Keywords: rapeseed, corn, grain quality, lactic acid bacteria, microbial consortium, soybean, wheat, yield

For citation: Rzhetskaya V. S., Omelchenko A. V., Bugara I. A., Gusev A. N., Kryzhko A. V., Pashtetskiy V. S. The influence of a microbial consortium of Lactic acid bacteria and yeast on the grain yield and quality of several important agricultural crops. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 191–205. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-191-205>.

Date of paper submission: 18.10.2024, **date of review:** 07.11.2024, **date of acceptance:** 11.11.2024.

Влияние микробного консорциума молочнокислых бактерий и дрожжей на урожай и качество зерна некоторых важных сельскохозяйственных культур

В. С. Ржевская^{1✉}, А. В. Омельченко¹, И. А. Бугара¹, А. Н. Гусев¹,
А. В. Крыжко², В. С. Паштецкий²

¹ Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Россия

² Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

✉ E-mail: viktoriyar45@mail.ru

Аннотация. Применение химических препаратов в сельском хозяйстве оказывает негативное влияние на окружающую среду, почвы, урожай и его качество. **Целью** исследования явилось изучение влияния микробного консорциума на основе молочнокислых бактерий и дрожжей на продуктивность некоторых сельскохозяйственных культур. **Методы.** Микробный консорциум получали путем совместного культивирования *Lactobacillus casei*, *L. plantarum*, *L. lactis* и *Saccharomyces cerevisiae*. Микробным консорциумом в количестве 1 л/га обрабатывали посевы пшеницы, кукурузы, сои и рапса 1, 2 и 4 раза за вегетационный период и сравнивали с обработкой посевов водой и широко используемым микробиологическим препаратом «Байкал ЭМ-1». **Результаты.** Одноразовое внесение микробного консорциума увеличило урожай исследованных сельхозкультур на 25–38 %, а 2- и 4-разовая обработка посевов оказывает влияние не столько на количество урожая, сколько на его качество: отмечено увеличение содержания белка на 1,2–3,1 %, масла на 2,2–4,3, а минеральных элементов: меди – на 20 %, цинка – на 18, 2%, марганца – на 34,4 %. Микробный консорциум повысил выход белка из зерна пшеницы, кукурузы и сои на 30,2–72,1 %, выход масла из зерна сои увеличился на 30,2–31,7 %, а рапса – на 40,2–47,7 % в зависимости от числа обработок. **Научная новизна.** Впервые в производственных условиях показана эффективность микробного консорциума *Lactobacillus casei* ИМВ В-7343, *Lactobacillus plantarum* ИМВ В-7344, *Lactococcus lactis* ИМВ В-7352 и *Saccharomyces cerevisiae* ИМВ Y-5046, связанная не только с увеличением урожая, но и с его качеством.

Ключевые слова: микробный консорциум, молочнокислые бактерии, урожай, качество зерна, пшеница, рапс, кукуруза, соя

Для цитирования: Ржевская В. С., Омельченко А. В., Бугара И. А., Гусев А. Н., Крыжко А. В., Паштецкий В. С. Влияние микробного консорциума молочнокислых бактерий и дрожжей на урожай и качество зерна некоторых важных сельскохозяйственных культур // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 191–205. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-191-205>.

Дата поступления статьи: 18.10.2024, **дата рецензирования:** 07.11.2024, **дата принятия:** 11.11.2024.

Introduction

Using of chemical pesticides, fertilizers, growth regulators, and plant protection agents in agriculture causes irreparable ecological damage to ecosystems worldwide and reduces soil fertility [1]. Biological agents comprise only a small percentage of the total volume of such preparations [2]. Using the biological components based on microorganisms is a promising solution to the damage caused by chemical substances. Their use would increase plant productivity and crop quality while preserving the natural fertility of soils without deteriorating the ecological state of the environment [3].

Application of microbiological preparations is known to have many benefits. These include allowing regulation of the number and activity of beneficial microflora in the rhizosphere, accelerating the initial development of plants, helping to neutralize the partial

toxic effects of chemical agents, increasing the overall immunity and adaptive capacity of the culture as a result of adverse impacts on environmental factors, and improving the availability of plant use of micro- and macronutrients from the soil [4–8].

Usage of microbiological preparations in combination with modern agricultural engineering allows the soil and climatic potential of the agrolandscape to be realized by 60–80 % (instead of the current 20–30 %), as well as the biological potential of agricultural plants, which is also not being used effectively [9–11]. Many experiments have shown an increase in the quality of crop production and profitability of agricultural enterprises by 30–50 % when biological products are used [12–15].

The effectiveness of microbiological preparations based on lactic acid bacteria and yeast is due to their ability to suppress pathogenic microorganisms, improve soil fertility, and stimulate plant growth [16–18].

Metagenomic analysis of plant microbiomes, including rhizobacteria, has revealed lactic acid bacteria in the plant-soil ecosystem, although they are difficult to detect due to their low numbers [19; 20].

Lactic acid bacteria suppress pathogens by means of synthesized high molecular-weight antimicrobial substances (bacteriocins and fungicins) as well as low molecular-weight metabolites (hydrogen peroxide, carbon dioxide, diacetyl, reuterin, alcohols, organic acids, etc.) [21]. Intestinal bacteria can penetrate plants, migrate, and infect all their organs (including fruits); human consumption of these contaminated agricultural products may cause intestinal infections [22; 23]. Bacteriocins produced by lactic acid bacteria [24] inhibit the growth of intestinal pathogenic and opportunistic bacteria, phytopathogenic bacteria, and mycelial fungi [25–27].

Stimulation of plant growth by lactic acid bacteria is due to their ability to produce phytohormones [11; 14; 17], to convert insoluble phosphorus compounds into forms accessible to plants [28; 29], and to accelerate mineralization processes in the soil [30].

In recent decades, lactic acid bacteria, due to the synthesis of phytohormones and/or their precursors and metabolites suppressing phytopathogens, have come to be considered plant growth-promoting bacteria capable of stimulating plant growth (PGPB) [31].

The aim of our research was to study the effect of a microbial consortium, based on lactic acid bacteria and yeast, on the productivity of several important crops.

Methods

Creation of a microbial consortium based on lactic acid bacteria and yeast was the research object. The microbial consortium was obtained by co-cultivation of lactic acid bacteria and yeast on MRS nutrient medium. Microorganisms were cultivated in a 4-L Minifors 2 bioreactor (Switzerland) at 32 °C and 50 rev/min during over 3 days.

Bacterial cultures grown for 24 h were used to produce the inoculum: *Lactobacillus casei* (IMB B-7343; 2.4×10^8 CFU/mL); *Lactobacillus plantarum* (IMB B-7344; 5.1×10^8 CFU/mL); *Lactococcus lactis* (IMB B-7352; 1.7×10^8 CFU/mL), and a 2-day culture of *Saccharomyces cerevisiae* (IMB Y-5046; 3.1×10^5 CFU/mL) in a ratio of 1:1:1:0.5. *Lactobacillus spp.* were cultivated on MRS nutrient medium [32] in a MaxQ 4500 shaker-incubator (ThermoFisher Scientific, United States) at 100 rev/min at 36 °C; *Lactococcus* at 30 °C. The *S. cerevisiae* was cultivated on Sabouraud's medium [33] in an incubator shaker at 200 rev/min at 28 °C.

To control the quality of the consortium produced, the quantity of microorganisms in the consortium was counted after 3 days of joint cultivation using the dilution limit method [34]: *L. casei* (IMB B-7343) 6.2×10^8 CFU/mL; *L. plantarum* (IMB B-7344) 7.4×10^8 CFU/mL; *L. lactis* (IMB B-7352)

1.2×10^9 CFU/mL; *S. cerevisiae* (IMB Y-5046) 2.7×10^6 CFU/mL.

The molecular genetic identification of culture strains as a component of the microbial consortium was carried out by analyzing the genes encoding 16S rRNA. For this purpose, conservative primers were used to process genes encoding 16S rRNA – 8f – aga gtt tga tcc tgg ctc ag and 926r – ccg tea att cct ttr agt tt. Sequencing was performed on an automatic sequencer AE 3000. The culture of strains of the microbial consortium was seeded to a separate colony and biomass was obtained for the analysis of genes encoding 16S rRNA. Primary screening for the 16S rRNA gene of the microbial consortium strain No. 6 according to the GenBank and RDP-II database showed that the studied strain belongs to the following systematic groups: Bacteria; Firmicutes; Bacilli; Lactobacillales; Lactobacillaceae; Lactobacillus. Its homology with the bacterium *L. casei* (IMB B-7343), *L. plantarum* (IMB B-7344), *L. lactis* (IMB B-7352) and *S. cerevisiae* (IMB Y-5046) is shown to be 98 %.

The effectiveness of the microbial consortium that we developed was compared with control variant 1 (water) and control 2, a widely used commercial biopreparation of similar composition, “Baykal EM-1”. This microbiological preparation, which is produced by Research and Production Association EM-Center, LLC (registration number 226(227, 228)-19-156-1), comprises *Lactobacillus casei* (IMB B-11360), *Lactococcus lactis* (IMB B11341), and *Saccharomyces cerevisiae* (IMB Y-3964) [35].

The effectiveness of the microbial consortium was tested on the following crop plants: Nador winter wheat (*Triticum aestivum* L.; Poaceae), a 1st generation hybrid of Goverla corn (*Zea mays* L.; Poaceae), Horlitsa soybean (*Glycine max* L. Merr.; Fabaceae), and Mag-nate rapeseed (*Brassica napus* L.; Brassicaceae).

The research was conducted of the Republic of Crimea. The size of the experimental plot for each experimental variant was 20–25 m², and each experiment was repeated four times. Sowing was carried out using the optimal technology recommended for crops in this area. The ontogenesis of the plants was marked by the onset of the main phenological phases and the differences between the specimens in the experimental plot and those in plots for controls 1 and 2.

According to agrochemical analysis, the physical and chemical parameters of the arable layer of soil (0–25 cm) of the experimental plot was as follows: humus content, 1.48 %; content of labile forms of nitrogen, 103 mg/kg; labile phosphorus and exchangeable potassium, 214 mg/kg and 160 mg/kg of soil, respectively; pH of the salt extract, 5.0; and the hydrolytic acidity, 1.34 mg-eq/100 g of soil [36].

We applied 60 kg/ha of phosphorus fertilizer (granulated superphosphate) and 90 kg/ha of potassium fertilizer (potassium chloride) under the main tillage dur-

ing pre-sowing cultivation before sowing all crops under study. In the spring, 90 kg/ha of ammonium nitrate was applied during pre-sowing cultivation.

The average annual temperature for the 2019 and 2020 growing seasons was 9.2 °C and 10.6 °C, and the average annual precipitation was 53.0 mm and 77.9 mm, respectively (Table 1).

Experiment options:

Control 1 (water).

Control 2 (“Baykal EM-1”).

Microbial consortium: one treatment.

Microbial consortium: two treatments.

Microbial consortium: four treatments.

Sowing experiments are presented in Table 2.

The microbial consortium was applied to all crops under moist soil conditions. During each treatment, 1 L of microbial consortium dissolved in water was applied per hectare of crops. The microbiological preparation “Baykal EM-1” was applied once in the amount of 1 L/ha. After each application, the upper layer of the soil (2–3 cm) was loosened.

Soil samples for research were taken before the experiments. The content of mobile forms of nitrogen,

phosphorus, and potassium, pH, and humus were determined in average soil samples. On the day of harvest, samples of plant material were taken to determine the content of major mineral elements (N, P, K) and trace elements (Zn, Mn, Cu).

In plant samples of wheat and corn grain, we determined the content of protein and mineral elements; in soybean grain, protein and fat; and in rapeseed, fat [35].

Analysis of soil biological activity and quantitative characteristics of the soil microorganisms was performed using conventional techniques [37–41].

Statistical analysis of the data was performed by calculating the least significant difference (LSD) using the Excel program [42]. Data were processed, standard deviation and correlation analyses were performed using the STATISTICA version 8 software package (Statsoft Inc.). ANOVA was used to analyze statistically significant differences within and between test groups. The degree of statistical significance of the results was calculated using the GraphPad Prism 9 software (intergroup statistical significance was fixed at $p \leq 0.05$; Tukey and Šidák criteria were used).

Table 1
Agrometeorological indicators of the 2019–2020 growing season

Month	Growing season 2019				Growing season 2020			
	Mean temperature, °C	Minimum temperature, °C	Maximum temperature, °C	Total rainfall, mm	Mean temperature, °C	Minimum temperature, °C	Maximum temperature, °C	Total rainfall, mm
January	0.8	-4.7	7	20.2	-4.5	-14.0	3.5	70.4
February	2.5	-8.2	10.2	52.4	0.6	-7.6	10.5	57.4
March	6.5	-4.2	18.5	13.8	5.1	-5.7	19.1	44.0
April	9.9	-1.8	23.3	42.1	10.6	1	22.4	63.8
May	12.4	2.1	26.7	141.7	17.0	5.7	22.6	126.8
June	21.7	5.7	32.7	53.5	23.6	13	33.7	90.9
July	21.9	11.8	32.3	42.9	19.8	11.7	32.5	89.5
August	21.4	11.1	32.8	45.4	20.7	12.1	34.0	61.9
September	18.4	7.1	34.3	36.0	15.9	3.1	30.7	26.1
October	12.5	2.9	21.2	94.3	11.1	-2.0	24.0	25.5
November	3.8	-3.1	11.1	21.0	4.6	-9.7	18.7	43.7
December	-0.5	-9.5	8.1	73.1	2.7	-4.9	14.6	54.1

Table 2
Treatment options for experimental agricultural crops

Subsequence activities	Plant cultures and event dates			
	Nador wheat	Magnat rapeseed	Goverla corn hybrid	Gorlitsa soybean
Plant culture sowing	06.10.19	06.10.19	08.05.20	08.05.20
First introduction of the tested microbial consortium	10.10.19	10.10.19	25.06.20	25.06.20
First introduction of the tested microbial consortium	17.10.19	17.10.19	07.07.20	07.07.20
First introduction of the tested microbial consortium	25.10.19	25.10.19	19.07.20	19.07.20
First introduction of the tested microbial consortium	30.10.19	30.10.19	24.07.20	24.07.20

Table 3

The effect of microbial consortium on yield, grain protein content, and protein yield of Nador winter wheat

Experiment options	Grain yield, t/ha	Gain to control 1, %	Gain to control 2, %	Grain protein content, %	Gain to control 1, ±	Gain to control 2, ±	Protein yield, t/ha	Gain to control 1, %	Gain to control 2, %
Control (water)	2.16	-	9.2	9.90	-	0.98	0.214	-	17.4
Control 2 ("Baykal EM-1")	2.38	10.2	-	10.88	0.98	-	0.259	21.0	-
Microbial consortium: 1 treatment	3.00	38.9	26.0	11.13	1.23	0.25	0.334	56.1	46.3
Microbial consortium: 2 treatments	3.04	40.7	27.7	11.47	1.57	0.69	0.349	63.1	52.1
Microbial consortium: 4 treatments	3.06	41.7	28.6	11.78	1.88	0.90	0.360	68.2	56.4
LSD ₀₅	0.13								

Table 4

The effect of microbial consortium on yield, content, and oil yield of Magnat rapeseed grain

Experiment options	Grain yield, t/ha	Gain to control 1, %	Gain to control 2, %	Oil content in grain, %	Gain to control 1, ±	Gain to control 2, ±	Oil yield, t/ha	Gain to control 1, %	Gain to control 2, %
Control (water)	1.05	-	13.9	41.67	-	0.33	0.438	-	14.1
Control 2 ("Baykal EM-1")	1.22	16.2	-	41.81	0.30	-	0.510	16.4	-
Microbial consortium: 1 treatment	1.42	35.2	16.4	43.23	3.74	3.39	0.614	40.2	20.4
Microbial consortium: 2 treatments	1.46	39.0	19.7	43.48	4.34	3.99	0.635	45.0	24.5
Microbial consortium: 4 treatments	1.52	44.8	24.6	42.58	2.18	1.84	0.647	47.7	26.3
LSD ₀₅	0.07								

Results

A single application of microbial consortium in an amount of 1 L/ha increased the grain yield of winter Nador wheat by 38.9 % (0.84 t/ha), the protein content by 1.23 %, and the protein yield by 56.1 % (0.12 t/ha) compared to control 1 (Table 3). Application of the microbiological preparation "Baykal EM-1" (control 2) resulted in an increase in the grain yield of 10.2 % (0.22 t/ha), the protein content of 0.98 %, and the protein yield of 21.0 % (0.259 t/ha) compared to control 1. A single application of the microbial consortium exceeded the performance of the commercially available microbial preparation "Baykal EM-1" by 26.0 % for grain yield, by 0.25 % for grain protein content, and by 46.3 % for the protein yield from grain.

Increasing the number of microbial consortium treatments of the wheat crops had a stimulating effect on protein content and grain yield. Following treatment of crops two and four times with the microbial consortium, the yield of wheat increased in comparison with that of single treatment by 1.8–2.8 %; its grain protein content increased by 0.34–0.65 % and its grain yield increased by 7.0–12.1 %.

The results of our research showed that the optimal amount of microbial consortium applied to the black meadow soil under the conditions of the 2019–2020 growing season was 2–4 L/ha. During this time, the grain yield of winter wheat increased by 40.7–41.7 % (0.88–0.90 t/ha), the protein content by 1.57–1.88 %, and the protein yield by 63.1–68.2 % (0.135–0.146 t/ha) compared to control 1.

A single treatment with the microbial consortium (1 L/ha) increased the Magnat rapeseed yield by 35.2 % (0.37 t/ha), the oil content by 1.56 %, and the crude oil yield by 40.2 % (0.176 t/ha) compared to control 1 (Table 4). The microbiological preparation "Baykal EM-1" increased these indicators by 16.2 %, 0.30 %, and 16.4 %, respectively. Comparison of the effectiveness of our microbial consortium with that of "Baykal EM-1" showed that the consortium we developed increased the rapeseed yield compared to the registered preparation by 19 %, the crude oil content by 1.42 %, and its yield by 23.8 %.

Two- and four-time treatment of the crops with the microbial consortium increased the rapeseed yield compared to a single application by 3.8–9.6 %. It was noted

that the four-time treatment decreased the oil content compared to the double treatment; nevertheless, it remained higher than that of control 1 by 2.18 % and control 2 by 1.84 %. Increasing the number of treatments resulted in a 4.8–7.5 % increase in the yield of crude oil. Multiple treatments of rapeseed with the microbial consortium increased both grain yield and the content and yield of crude oil.

Thus, the optimal amount of microbial consortium application for treatment of rapeseed is 2 L/ha. Application of this amount of the microbial consortium increased the rapeseed grain yield by 39.0 % (0.41 t/ha) and the oil yield by 45.0 % (0.197 t/ha) in comparison to control 1.

It was shown that treatment of Goverla corn hybrid crops with the microbial consortium (1 L/ha) increased the yield of green mass by 5.1 % (1.6 t/ha), protein content by 0.10 %, and protein yield by 3.9 % (0.10 t/ha) compared to control 1. These figures were lower than those of control 2 (Table 5).

Two- and four-time treatment of corn crops with the microbial consortium increased the yield of green mass by 19.7–27.9 % compared to control 1 and by 10.9–18.5 % compared to control 2. The protein content in

the corn grain increased by 0.63–0.91% with two- and four-time treatment compared to control 1 and by 0.47–0.70 % compared to control 2. Increasing the number of treatments of the corn with the microbial consortium also increased the protein yield by 29.8–42.2 % compared to control 1 and by 19.0–31.4 % compared to control 2. The highest yield of corn green matter (40.3 t/ha) was obtained with four-time treatment with the microbial consortium, accompanied by a protein content that reached 9.11 %.

When the corn was harvested for grain, the control yielded 6.22 t/ha with a protein content of 6.23 % (Table 6). When treated with the microbial consortium, compared to the control, the corn yield increased by 25.1–46.9 % (1.56–2.92 t/ha), the protein content by 0.25–1.06 %, and the protein yield by 30.2–72.1 % (0.117–0.273 t/ha) depending on the number of treatments.

Our research showed that under the conditions of the 2020 growing season, four-time treatment of corn crops with the microbial consortium (1 L/ha) resulted in the yield of green mass exceeding that of control 1 by 27.9 % and the grain yield by 46.9 %.

*Table 5
The effect of microbial consortium on green matter yield, protein content, and its yield of Goverla corn hybrid*

<i>Experiment options</i>	<i>Green matter yield, t/ha</i>	<i>Gain to control 1, %</i>	<i>Gain to control 2, %</i>	<i>Protein content in grain, %</i>	<i>Gain to control 1, ±</i>	<i>Gain to control 2, ±</i>	<i>Protein yield, t/ha</i>	<i>Gain to control 1, %</i>	<i>Gain to control 2, %</i>
<i>Control (water)</i>	31.5	–	7.3	8.20	–	0.21	2.58	–	9.8
<i>Control 2 (“Baykal EM-1”)</i>	34.0	7.9	–	8.41	0.21	–	2.86	10.8	–
<i>Microbial consortium: 1 treatment</i>	33.1	5.1	2.6	8.30	0.10	0.11	2.68	3.9	6.3
<i>Microbial consortium: 2 treatments</i>	37.7	19.7	10.9	8.88	0.63	0.47	3.35	29.8	19.0
<i>Microbial consortium: 4 treatments</i>	40.3	27.9	18.5	9.11	0.91	0.70	3.67	42.2	31.4
<i>LSD₀₅</i>	0.14								

*Table 6
The effect of microbial consortium on grain yield, protein content, and grain yield of Goverla corn hybrid*

<i>Experiment options</i>	<i>Grain yield, t/ha</i>	<i>Gain to control 1, %</i>	<i>Gain to control 2, %</i>	<i>Protein content in grain, %</i>	<i>Gain to control 1, ±</i>	<i>Gain to control 2, ±</i>	<i>Protein yield, t/ha</i>	<i>Gain to control 1, %</i>	<i>Gain to control 2, %</i>
<i>Control (water)</i>	6.22	–	21.8	6.23	–	0.50	0.387	–	27.8
<i>Control 2 (“Baykal EM-1”)</i>	7.96	28.0	–	6.73	0.50	–	0.536	38.5	–
<i>Microbial consortium: 1 treatment</i>	7.78	25.1	0	6.48	0.25	0.25	0.504	30.2	2.0
<i>Microbial consortium: 2 treatments</i>	8.39	34.9	5.4	7.11	0.88	0.38	0.596	54.0	11.2
<i>Microbial consortium: 4 treatments</i>	9.14	46.9	14.8	7.29	1.06	0.56	0.666	72.1	24.2
<i>LSD₀₅</i>	0.26								

Table 7
The effect of microbial consortium on grain yield, protein content, and grain yield of Gorlitsa soybean

Experiment options	Grain yield, t/ha	Gain to control 1, %	Gain to control 2, %	Protein content in grain, %	Gain to control 1, ±	Gain to control 2, ±	Protein yield, t/ha	Gain to control 1, %	Gain to control 2, %
Control (water)	1.95	–	7.1	20.14	–	1.13	0.392	–	12.3
Control 2 (“Baykal EM-1”)	2.10	7.7	–	21.27	1.13	–	0.447	14.0	–
Microbial consortium: 1 treatment	2.55	30.8	21.4	22.83	2.69	1.56	0.582	48.5	30.2
Microbial consortium: 2 treatments	2.60	33.3	23.8	23.24	3.10	1.97	0.604	54.1	35.1
Microbial consortium: 4 treatments	2.69	37.9	28.1	23.23	3.09	7.96	0.625	54.9	39.8
LSD ₀₅	0.15								

Table 8
The effect of microbial consortium on oil content and oil yield from Gorlitsa soybean

Experiment options	Oil content in the grain, %	Gain to control 1, ±	Gain to control 2, ±	Oil outlet, t/ha	Gain to control 1, %	Gain to control 2, %
Control (water)	21.00	–	0.75	0.410	–	10.5
Control 2 (“Baykal EM-1”)	21.82	0.75	–	0.458	11.7	–
Microbial consortium: 1 treatment	20.93*	0.14	0.89	0.534*	30.2	16.6
Microbial consortium: 2 treatments	20.63*	0.44	1.19	0.536*	30.5	17.1
Microbial consortium: 4 treatments	20.09*	0.98	1.73	0.540*	31.7	17.9

Note. * Statistically significant $p < 0.05$.

The grain yield of Gorlitsa soybean increased by 30.8 % (0.6 t/ha) compared to control 1 and by 21.1 % (0.45 t/ha) compared to control 2 (Table 7). The grain protein content increased by 2.69 % compared to control 1 and by 1.56 % compared to control 2, and the protein yield increased by 48.5 % compared to control 1 and by 30.2 % compared to control 2. The oil content of the soybean grain treated with the microbial consortium was lower than that of both control 1 and control 2 (Table 8). The oil yield of soybean treated once with the microbial consortium increased by 30.2 % compared to control 1 and by 16.6 % compared to control 2.

Two- and four-time treatment with the microbial consortium increased the soybean yield by 33.3–37.9 % (0.65–0.74 t/ha), the protein content by 3.10–3.09 %, and the yield by 54.1–54.9 %. Increasing the number of treatments did not lead to significant differences in the content or yield of oil.

Thus, the microbial consortium has the maximum effect following four-time treatment for soybean, which resulted in the greatest increase in crop yield and protein yield from the seed.

Analyses showed that treatment with the microbial consortium had almost no effect on the content of micronutrients in wheat grain; the amounts of copper, zinc, and manganese were equal to or slightly higher than those of control 1 and control 2.

Treatment with the microbial consortium had a significant effect on the content of microelements in corn grain (Fig. 1). In the control variant 1, the content of copper in corn grain was 2.5 mg/kg; treatment with “Baykal EM-1” microbial preparation increased the content of this microelement to 2.7 mg/kg (8 %), and treatment with the microbial consortium to 3.0 mg/kg (20.0 %). When corn crops were treated with “Baykal EM-1”, the zinc content was 20.0 mg/kg, and with the microbial consortium 16.2 mg/kg; the content in the control was 13.7 mg/kg. The content of manganese in the control sample of corn was 6.1 mg/kg; treatment with “Baykal EM-1” resulted in an increase of this microelement to 6.9 mg/kg (13.1 %), while treatment with the microbial consortium increased it to 8.2 mg/kg, which was 34.4 % higher than in control 1.

Increasing the number of treatments of the wheat and corn crops led to an accumulation of macronutrients in the cereal grains. The wheat grain initially contained 1.87 % nitrogen; after treatment with “Baykal EM-1”, its content increased to 2.06 %, and after treatment with the microbial consortium, depending on the number of treatments, this figure increased to 2.10–2.23 % (Fig. 2, a). A similar trend was observed in corn seeds; when treated with the microbial consortium, the nitrogen content was 1.29–1.37 % compared with 1–1.16 % in the control.

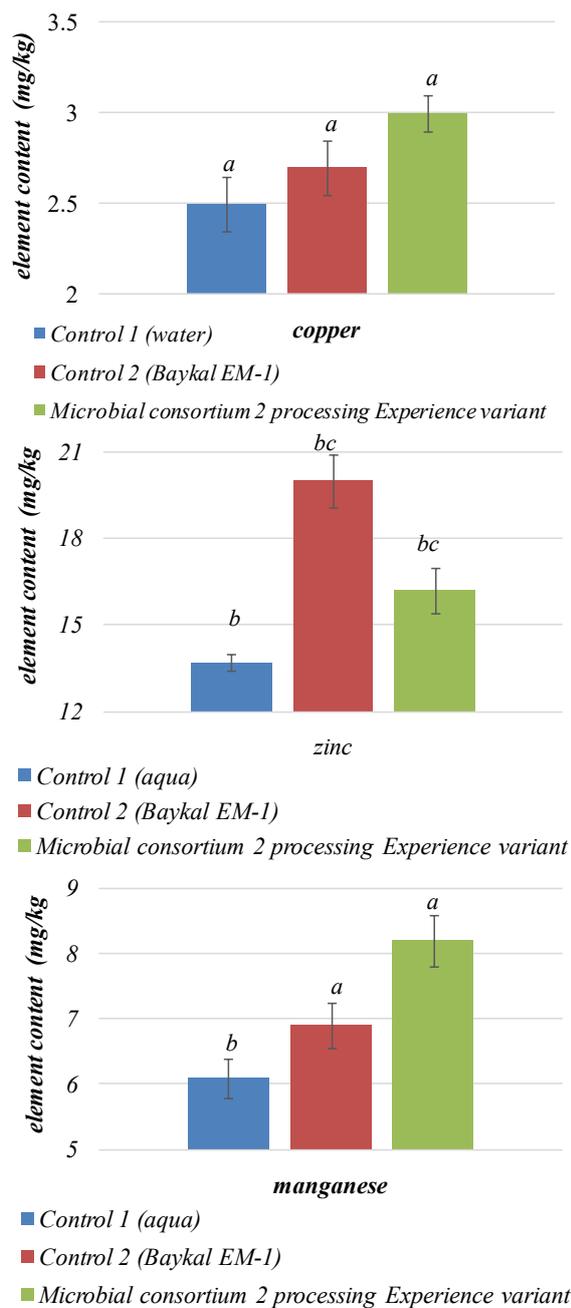


Fig. 1. The effect of treatment with the microbial consortium on the content of microelements in corn grain (mg/kg)

The phosphorus content in the control variant 1 wheat grain was 0.323 %, while following treatment with “Baykal EM-1”, it increased to 0.377 %, and as a result of 1–4 treatments with the microbial consortium, it increased to 0.460–0.516 %. In corn grain, the phosphorus content resulting from 1–4 treatments with the microbial consortium was 0.26–0.29 % compared to 0.21 % in control 1 (Fig. 2, b).

The potassium content for wheat grain was 0.38 % in control 1, 0.48 % in control 2, and 0.49–0.53 % after one to four treatments with the microbial consortium. In corn grain, several treatments with microbial consortium resulted in a potassium content of 0.50–0.63 % compared to 0.52 % in control 1 (Fig. 2, c).

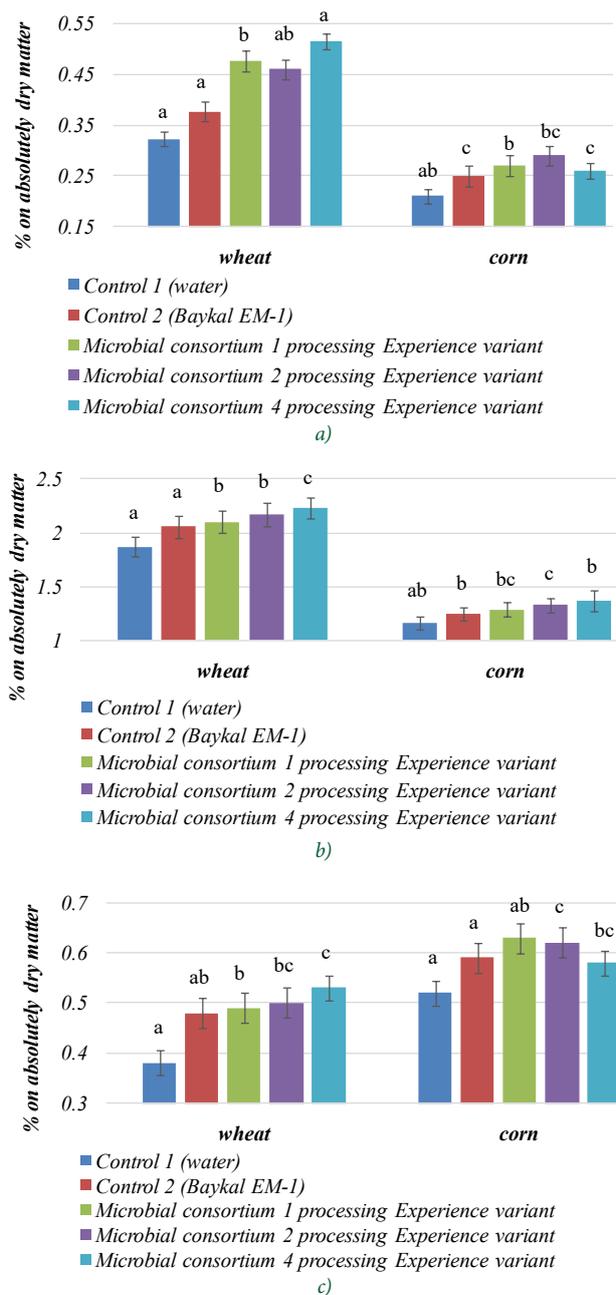


Fig. 2. The effect of microbial consortium on nitrogen (a), phosphorus (b), and potassium (c) content in wheat and corn grains (% on absolute dry matter)

Thus, while treatment with the microbial consortium had no effect on the accumulation of microelements in wheat grain, it increased it in corn grain: copper by 20.0 %, zinc by 18.3 %, and manganese by 34.4 % compared to control 1. Treatment of wheat and corn crops led to accumulation of mineral elements in the grain of both cereals.

The microbial consortium had a positive effect on microbiological processes in the soil of the root zone because breathing, destruction of organic matter, the total content of the microbial mass, and the increased development of nitrogen-fixing microorganisms (Tables 9 and 10).

Table 9

Biological activity of the soil rhizosphere of Goverla corn hybrid and Gorlitsa soybean

Parameters	Experience options		
	Control 1 (water)	Control 2 ("Baykal EM-1")	Microbial consortium 2 processing experience variant
Corn rhizosphere			
Soil respiration rate (mg CO ₂ /g soil)	29.75 ± 1.91	30.20 ± 3.08	33.31 ± 2.21
Total microbial count of soil (μg C/g soil)	99.32 ± 3.99	102.89 ± 6.36	120.47 ± 8.17
Cellulose-destroying activity of soil (%)	19.99 ± 0.17	20.16 ± 0.65	21.25 ± 0.58
Phytotoxicity of soil (% of inhibition of seed germination)	5.21 ± 0.83	8.33 ± 0.64	1.09 ± 0.07
Soybean rhizosphere			
Soil respiration rate (mg CO ₂ /g soil)	31.98 ± 1.66	35.31 ± 2.21	36.43 ± 1.12
Total microbial count of soil (μg C/g soil)	114.40 ± 3.33	117.50 ± 4.26	123.67 ± 3.74
Cellulose-destroying activity of soil (%)	39.91 ± 0.94	40.47 ± 1.54	42.77 ± 0.63
Phytotoxicity of soil (% of inhibition of seed germination)	7.29 ± 0.25	5.21 ± 0.19	1.04 ± 0.09

Table 10

Quantitative characterization of soil microorganisms

Parameters	Experience options		
	Control 1 (water)	Control 2 ("Baykal EM-1")	Microbial consortium 2 processing experience variant
Corn rhizosphere			
Ammonifiers (million CFU/g soil)	1.98 ± 0.16	2.07 ± 0.22	3.25 ± 0.41
Nitrogen fixers and oligonitrophils (million CFU/g soil)	1.53 ± 0.41	1.84 ± 0.11	1.94 ± 0.47
Micromycetes (thousand CFU/g of soil)	6.16 ± 0.32	66.0 ± 0.21	49.9 ± 0.22
Soybean rhizosphere			
Ammonifiers (million CFU/g soil)	1.53 ± 0.41	3.92 ± 0.92	4.74 ± 1.01
Nitrogen fixers and oligonitrophils (million CFU/g soil)	0.71 ± 0.07	0.63 ± 0.19	1.05 ± 0.12
Micromycetes (thousand CFU/g of soil)	36.4 ± 5.7	28.2 ± 6.1	41.8 ± 9.8

The microbial consortium reduced soil phytotoxicity, which was assessed by its effect on the germination of test-culture seeds. Under the action of the microbial consortium, the root zone of the soybean stimulated germination of the test crop.

The microbiological preparation "Baykal EM-1" had no effect on the biological activity of the soil in which corn was grown or the development of nitrogen transforming microorganisms. Soybean was found to be more sensitive to treatment with the microbiological preparation "Baykal EM-1"; the activity of organic residue degradation due to cellulose-destroying microorganisms and ammonifiers increased, while the number of micromycetes and nitrogen fixers was lower than in control 1.

Discussion and Conclusion

Many studies in the literature show the effectiveness of using the microbiological preparations on various crops. The authors discuss below several promising uses of these preparations to improve the quantity and quality of crop production.

Preparations based on nodule bacteria, such as Nitragin, Rizotrophin, Rizobofit, Rizoaktiv, and Rizogumin, are currently used to treat legume crops. Their application in the cultivation of legume crops has resulted in an increase in protein harvest and increased yields of 11–40 %. Application of the microbiological preparation Azoriz in combination with N₁₅P₃₀K₃₀ increased soybean yield by 29 % and increased the protein content in the beans by 2.4–3.1 % [25]. The experimental use of the microbiological preparations Nitrogen Bacterial Fertilizer + Bacterial Phosphorus Fertilizer, Phosphatovit + Nitovit, and Extrasol on spring wheat Moscow 35 resulted in increased yields of 40 %, 23.3 %, and 36.7 % respectively, and increases in gluten content of 1.0 %, 3.0 %, and 0.5 %, respectively [6]. In addition, treatment with cultures of *Klebsiella variicola* and *Rhizopagus intraradices* increased the content of inulin in topinambour [21], treatment of wheat with a biofertilizer containing *Rhizopagus irregularis* together with *Bacillus megaterium* and *Frateuria aurantia* increased the content of wheat gluten proteins [22], and treat-

ment with PGPB (*Mesorhizobium spp.*, *Burkholderia spp.*, and *Pseudomonas spp.*) and AMF (*Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis geosporum*, and *Claroideoglossus claroideum*) increased the protein content in chickpeas in a field experiment [23].

Studies of repeated treatment of soil and plant crops with microbiological preparations have been carried out by a number of researchers. The growth stimulation of chickpea inoculated with PGPB (*Mesorhizobium spp.*, *Burkholderia spp.*, and *Pseudomonas spp.*) and AMF (*Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis geosporum*, and *Claroideoglossus claroideum*) increased the yield of chickpeas by 6 % compared to a single inoculation and by 24 % compared to the control variant [23]. Mrkovački and others [29] performed inoculation of the soil with three strains of *Azotobacter chroocum* before and after sowing sugar beet. Single inoculation influenced the increase in root crop yield by 20 %, and repeated inoculation increased it by 23 %. Higher yields of polarized crystallized sugar obtained after inoculation ranged between 20 and 21 %; after repeated inoculation, this increased to 22–23 % [29].

The use of the microbial consortium that we developed had a significant effect after even a single treatment, increasing the yields by 25–38 %; the two- and four-treatment variations improved the quality of the products, increasing the protein content by 1.23–3.10 % and the oil content by 2.18–4.34 %. Depending on the number of treatments, the use of the microbial consortium increased the protein yield from wheat, corn, and soybean by 56.1–68.2 %, 30.2–72.1 %, and 48.5–54.9 %, respectively, and the oil yield from soybean by 30.2–31.7 % and from rapeseed by 40.2–47.7 %.

In our previous studies, it was shown that a consortium of lactic acid bacteria and saccharomycetes converts forms of trisubstituted phosphates inaccessible to plants into soluble compounds [43], thereby increasing the amount of available phosphorus. Also lactic acid bacteria activate the work of the proton pump, increasing the supply of nutrients and increasing the biological productivity of plants.

Active microbial colonization of plant roots by lactic acid bacteria and saccharomycetes is associated with the consumption by microorganisms of the studied consortium of root exometabolites as sources of energy and carbon. In turn, the microorganisms of the consor-

tium synthesize metabolites that stimulate plant growth [44]. Colonizing the surface of the rhizosphere, lactic acid bacteria compete with phytopathogens for adhesion sites and nutrients, and also secrete metabolites with bactericidal and fungicidal properties: squalene, dimethyl fumarate, capric acid, lactic acid, acetic acid, caprylic acid, fumaric acid, butyric acid, decanol, butanol, pentanol, β -phenylethanol [45].

The use of a microbial consortium stimulates the development of significant agronomic groups of microorganisms in the soil, and also increases the enzymatic activity of the soil [46].

A particular focus of interest in our studies is a comparative characterization of the effect of the microbial consortium we developed and that of the microbial preparation “Baykal EM-1”, which is included in the state catalog of pesticides and agrochemicals approved for use in the Russian Federation (2020). Treatment with our investigational microbial consortium, in comparison with the preparation “Baykal EM-1”, increased the corn yield by 5.4 % and 14.8 %, respectively; the wheat yield by 26.0 %, the soybean yield by 21.4 %, and the rapeseed yield by 16.4 %.

A single treatment with the microbial consortium increased the protein content in wheat grain by 0.25 %, in soybean by 1.56 %, and increased the protein yields by 46.3 % and 30.2 %, respectively. Additionally, we observed an increase in crude oil content and yield in rapeseed grain of 3.39 % and 20.4 %, and an increase in soybean of 16.6 %.

Our study showed that treatment with the microbial consortium stimulated indicators of soil biological activity such as respiration intensity, cellulose-destroying activity, and total microbial number, as well as increasing the number of nitrogen-modifying soil microorganisms. The microbial consortium lowered soil phytotoxicity, i. e., the percentage inhibition of seed germination.

In the course of the experiment, the microbial consortium we developed was not only as effective as the registered microbiological preparation, but was in fact more effective when administered as two- and four-time treatments. When taking stock of the advantages of the microbial consortium, we feel confident that it shows great promise for use in agricultural practice as an alternative to the microbiological preparations currently in use and the damaging chemicals still, also, in use.

References

1. Abdulvaleev R. R., Safarov Z. F., Khisamov I. Zh., Abdulvaleeva G. R. Influence of antistress growth regulators on the yield and quality of spring wheat grain. Achievements of chemistry in the agro-industrial complex. *Materials of the II All-Russian Youth Conf. – School with International participation*. Ufa, 2016; 10–14. (In Russ.)
2. Castiglione A. M., Mannino G., Contartese V., Berteau C. M., Ertani A. Microbial biostimulants as response to modern agriculture needs: composition, role and application of these innovative products. *Plants*. 2021; 10: 1533. DOI: 10.3390/plants10081533.
3. Bursić V., Vuković G., Gvozdenac S., Petrović A., Popović A., Marinković D., Petrović M. Abuse of plant protection products. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*. 2016; 20: 189–192.
4. Ivanova I., Ilina S., Dementiev D. Influence of microbiological preparations on spring wheat yield. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 548: 052001. DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052001.

5. Van Oosten M. J. Pepe O., De Pascale S., Silletti S., Maggio A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2017; 4. DOI: 10.1186/s40538-017-0089-5.
6. Laranjeira S., Fernandes-Silva A., Reis S., Torcato C., Raimundo F., Ferreira L., Carnide V., Marques G. Inoculation of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi improve chickpea performance under water deficit conditions. *Applied Soil Ecology*. 2021; 164: 103927. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103927.
7. Oliveira R. S., Rocha I., Ma Y., Vosátka M., Freitas H. Seed coating with arbuscular mycorrhizal fungi as an ecotechnological approach for sustainable agricultural production of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 2016; 79: 329–337. DOI: 10.1080/15287394.2016.1153448.
8. Moura S. Pinto M. V., Figueiredo J., Moreira F., Ferreira A. Use of plant protection products in agriculture. *Atención Primaria*. 2016; 48 (2): 51. DOI: 10.29352/mill0202.07.00091.
9. Ferro H. M., Souza R. M. D., Lelis F. M. V., Silva J. C. P. D., Medeiros F. H. V. D. Bacteria for cotton plant protection: disease control, crop yield and fiber quality. *Revista Caatinga*. 2020; 33: 43–53. DOI: 10.1590/1983-21252020v33n105rc.
10. Melnichuk T. N., Abdurashytov S. F., Andronov E. E., Abdurashytova E. R., Egovtseva A. Yu., Gongalo A. A., Turin E. N., Pashtetskiy V. S. The taxonomic structure of southern chernozem at the genus level influenced by microbial preparations and farming systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 422: 012101. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012101.
11. Sundh I., Del Giudice T., Cembalo L. Reaping the benefits of microorganisms in cropping systems: is the regulatory policy adequate? *Microorganisms*. 2021; 9: 1437. DOI: 10.3390/microorganisms9071437.
12. Kumar J., Ramlal A., Mallick D., Mishra V. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*. 2021; 10: 1185. DOI: 10.3390/plants10061185.
13. Sokolenko G. G., Podlesniy N. V., Zadorozhnaya V. A. Combined use of microbiological preparations and nano silicon in oats cultivation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 422: 012029. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012029.
14. Valiullin I. T. Dependence of the size and chemical composition of the spring barley crop on the combined use of macrofertilizers and the biological product Rizoagrin. *Agrochemical Bulletin*. 2010; 4: 28–29.
15. Nacoon S., Jogloy S., Riddech N., Mongkolthanaruk W., Kuyper T. W., Boonlue S. Interaction between Phosphate Solubilizing Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth Promotion and Tuber Inulin Content of *Helianthus tuberosus* L. *Scientific Reports*. 2020; 10. DOI: 10.1038/s41598-020-61846-x.
16. Strafella S., Simpson D. J., Yaghoubi Khanghahi M., De Angelis M., Gänzle M., Minervini F., Crecchio C. Comparative genomics and *in vitro* plant growth promotion and biocontrol traits of lactic acid bacteria from the wheat rhizosphere. *Microorganisms*. 2021; 9: 78. DOI: 10.3390/microorganisms 9010078.
17. Teterin V. S., Galeeva N. N., Mitrofanov S. V., Panferov N. S., Gaibaryan M. A. Method of production of complex organomineral fertilizers and technological line for its implementation. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2019; 4: 114–119.
18. Lamont J. R., Wilkins O., Bywater-Ekegård M., Smith D. L. From yogurt to yield: Potential applications of lactic acid bacteria in plant production. *Soil Biology and Biochemistry*. 2017; 111. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.03.015.
19. Chen Y. S., Yanagida F., Shinohara T. Isolation and identification of lactic acid bacteria from soil using an enrichment procedure. *Letters in Applied Microbiology*. 2005; 40: 195–200.
20. Fhoula I., Najjari A., Turki Y., Jaballah S., Boudabous A., Ouzari H. Diversity and antimicrobial properties of lactic acid bacteria isolated from rhizosphere of olive trees and desert truffles of Tunisia. *BioMed Research International*. 2013; 405708. DOI: 10.1155/2013/405708.
21. Atanassova M., Dalgalarrodo M., Choiset Y., Chobert J.-M. Isolation and partial biochemical characterization of a proteinaceous anti-bacteria and anti-yeast compound produced by *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* strain M3. *International Journal of Food Microbiology*. 2003; 87 (1-2): 63–73. DOI: 10.1016/S0168-1605(03)00054-0.
22. Wells J. G., Fedorka-Cray P. J., Dargatz D. A., Ferris K., Green A. Fecal shedding of *Salmonella* spp. by dairy cows on farm and at cull cow markets. *Journal of Food Protection*. 2001; 64 (1): 3–11. DOI: 10.4315/0362-028x-64.1.3.
23. Buck J. W., Walcott R. R., Beuchat L. R. Recent trends in microbiological safety of fruits and vegetables. Online. *Plant Health Progress*. 2003; 4 (1): 0121. DOI: 10.1094/PHP-2003-0121-01-RV.
24. Stoyanova L. G., Ustyugova E. A., Netrusov A. I. Antimicrobial metabolites of lactic acid bacteria: diversity and properties (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2012; 8 (3): 259–275.
25. Yankovsky D. S., Shirobokov V. P., Dymont G. S. Innovation Technologies for Human Microbiome Improvement. *Nauka ta innovacii*. 2018; 14 (6): 11–23. DOI: 10.15407/scin14.06.011.

26. Pakhomov Y. D., Blinkova L. P., Stoyanova L. G. Influence of inoculum on the viability of noncultured cells of bacteriocin-producing strains of *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*. *Biotechnology Journal*. 2016; 32 (1): 21–26. DOI: 10.21519/0234-2758-2016-1-21-26.
27. Aljeboury G., Mahmoud N. Phytopathogenic fungi and pathogenic bacteria *in vitro*. *Systematic Reviews in Pharmacy*. 2020; 11 (12): 1699–1703.
28. Jones D., Oburger E. Solubilization of phosphorus by soil microorganisms. *Phosphorus in Action*. 2011; 26: 169–198. DOI: 10.1007/978-3-642-15271-9_7.
29. Scervino J., Papinutti V., Godoy M., Rodriguez J., Monica I., Recchi M., Pettinari M. J., Godeas A. M. Medium pH, carbon and nitrogen concentrations modulate the phosphate solubilization efficiency of *Penicillium purpurogenum* through organic acid production. *Journal of Applied Microbiology*. 2011; 110 (5): 1215–23. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2011.04972.x.
30. Lamont J. R., Wilkins O., Bywater-Ekegård M., Smith D. L. From yogurt to yield: Potential applications of lactic acid bacteria in plant production. *Soil Biology and Biochemistry*. 2017; 111. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.03.015.
31. Strafella S., Simpson D., Khanghahi M., Angelis M., Gänzle M., Minervini F., Crecchio C. Comparative Genomics and In Vitro Plant Growth Promotion and Biocontrol Traits of Lactic Acid Bacteria from the Wheat Rhizosphere. *Microorganisms*. 2021; 9: 78. DOI: 10.3390/microorganisms9010078.
32. Hideki K., Shun I., Yoshihito S., Mitsuharu I. Comparison of selectivity of MRS agar and modified LBS agar for isolation of lactobacilli. *Milk Science*. 2011; 60 (3): 171–176. DOI: 10.11465/milk.60.171.
33. Moldagulova N., Ayupova A., Sembayeva D., Duambekov M., Khassenova E., Nagyzbekkyzy E., Danlybayeva G., Sarsenova A. Data on the isolation and identification of thermotolerant microorganisms from cow manure promising for organic waste processing. *Data in Brief*. 2020; 31: 105761. DOI: 10.1016/j.dib.2020.105761.
34. Breed R. S., Dotterer W. D. The Number of Colonies Allowable on Satisfactory Agar Plates. *Journal of Bacteriology*. 2021; 1 (3): 321–331. DOI: 10.1128/jb.1.3.321-331.1916.
35. Shablin P. A., Lyagushina O. A., Filonenko V. A. A biological product for increasing the productivity of agricultural products and a method for obtaining a biological product for increasing the productivity of agricultural products. Patent RF No. 2552938. 2013. (In Russ.)
36. Bellaloui N., Stetina S. R., Turley R. B. Cottonseed protein, oil, and mineral status in near-isogenic *Gossypium hirsutum* cotton lines expressing fuzzy/linted and fuzzless/linted seed phenotypes under field conditions. *Frontiers in Plant Science*. 2015; 6: 137. DOI: 10.3389/fpls.2015.00137.
37. Haney R. L., Brinton W., Evans E. Soil CO₂ respiration: comparison of chemical titration, CO₂ IRGA analysis and the Solvita gel system. *Renewable Agriculture and Food*. 2008; 23 (2): 171–176. DOI: 10.1017/S174217050800224X.
38. Wilpiszkeski R. L., Aufrecht J. A., Retterer S. T., Sullivan M. B., Graham D. E., Pierce E. M., Zablocki O. D., Palumbo A. V., Elias D. A. Soil Aggregate Microbial Communities: Towards Understanding Microbiome Interactions at Biologically Relevant Scales. *Applied and Environmental Microbiology*. 2019; 85 (14). DOI: 10.1128/AEM.00324-19.
39. Krzyśko-Łupicka T., Kręcidło Ł., Kręcidło M. The Comparison of Cellulolytic Activity of the Modified Soil Treated with Roundup. *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology*. 2016; 21 (1-2): 133–139. DOI: 10.1515/cdem-2016-0012.
40. *Phytotoxkit. Seed germination and early growth microbiotest with higher plants. Standard Operational Procedure*. Gent: MicroBioTests Inc., 2004. 34 p.
41. Svarovskaya L. I., Altunina L. K. Activity of Soil Microflora under Oil Pollution. *Biotechnology in Russia*. 2004; 3: 68–75. (In Russ.)
42. Hayte A. J. The Maximum Familywise Error Rate of Fisher's Least Significant Difference Test. *American Statistical Association*. 1986; 81 (396): 1000–1004. DOI: 10.2307/2289074.
43. Rjevskaya V. S., Omelchenko A. V., Semenova E. F., Teplitskaya L. M., Tsokalo I. E. Mobilization hard-to-reach phosphorus compounds in soil and influence growth processes of microbiological association. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 941: 012026. DOI: 10.1088/1755-1315/941/1/012026.
44. Rzhevskaya V. S., Teplitskaya L. M., Oturina I. P. Colonization of rhizoplane of cucumber roots by microorganisms which are components of the microbial preparation “Embiko®”. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2013; 4 (2): 3–70. DOI: 10.15421/021311. (In Russ.)
45. Rzhevskaya V. S., Semenova E. F., Zaitsev G. P., Slastya E. A., Omelchenko A. V., Bugara I. A., Teplitskaya L. M., Tsokalo I. E. Antagonistic Effect of Lactic Acid Bacteria and their Consortium with Yeast on Pathogenic microorganisms. *Biotechnology*. 2021; 37 (5): 96–107. DOI: 10.21519/0234-2758-2021-37-5-96-107. (In Russ.)
46. Rzhevskaya V. S., Oturina I. P., Bulygin S. V., Teplitskaya L. M. The influence of microbial preparation Embiko on fruitification of cucumber and soil biological activity. *Scientific Notes of Taurida State University. Biology and Chemistry*. 2014; 27 (3): 124–137. (In Russ.)

Authors' information:

Viktoriya S. Rzhetskaya, postgraduate of the department of botany and physiology of plants and biotechnologies, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0003-4788-0407, AuthorID 783345. *E-mail: viktoriyar45@mail.ru*

Aleksandr V. Omelchenko, candidate of biological sciences, associate professor of the department of botany and physiology of plants and biotechnologies, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0002-9490-622X, AuthorID 761333. *E-mail: omelchenko_tnu@mail.ru*

Igor A. Bugara, candidate of biological sciences, associate professor of the department of botany and physiology of plants and biotechnologies, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0001-6594-9055, AuthorID 815755. *E-mail: bia.05@mail.ru*

Aleksey N. Gusev, doctor of chemical sciences, professor of the department of general chemistry, V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0001-5674-1519, AuthorID 226531, *E-mail: galex0330@rambler.ru*

Anastasiya V. Kryzhko, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0001-5401-0579, AuthorID 761466. *E-mail: nk_lib@mail.ru*

Vladimir S. Pashtetskiy, doctor of agricultural sciences, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0002-3908-733X, AuthorID 849074. *E-mail: pvs98a@gmail.com*

Библиографический список

1. Абдулвалеев Р. Р., Сафаров З. Ф., Хисамов И. Ж., Абдулвалеева Г. Р. Влияние антистрессовых регуляторов роста на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // Достижения химии в агропромышленном комплексе: материалы II Всероссийской молодежной конференции. Школа с международным участием. Уфа, 2016. С. 10–14.
2. Castiglione A. M., Mannino G., Contartese V., Berteza C. M., Ertani A. Microbial biostimulants as response to modern agriculture needs: composition, role and application of these innovative products // *Plants*. 2021. Vol. 10. Article number 1533. DOI: 10.3390/plants10081533.
3. Bursić V., Vuković G., Gvozdenac S., Petrović A., Popović A., Marinković D., Petrović M. Abuse of plant protection products // *Journal on Processing and Energy in Agriculture*. 2016. Vol. 20. Pp. 189–192.
4. Ivanova I., Ilina S., Dementiev D. Influence of microbiological preparations on spring wheat yield // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 548. Article number 052001. DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052001.
5. Van Oosten M. J. Pepe O., De Pascale S., Silletti S., Maggio A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants // *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1186/s40538-017-0089-5.
6. Laranjeira S., Fernandes-Silva A., Reis S., Torcato C., Raimundo F., Ferreira L., Carnide V., Marques G. Inoculation of plant growth promoting bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi improve chickpea performance under water deficit conditions // *Applied Soil Ecology*. 2021. Vol. 164. Pp. 103927. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103927.
7. Oliveira R. S., Rocha I., Ma Y., Vosátka M., Freitas H. Seed coating with arbuscular mycorrhizal fungi as an ecotechnological approach for sustainable agricultural production of common wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Journal of Toxicology and Environmental Health*. 2016. Vol. 79. Pp. 329–337. DOI: 10.1080/15287394.2016.1153448.
8. Moura S. Pinto M. V., Figueiredo J., Moreira F., Ferreira, A. Use of plant protection products in agriculture // *Atención Primaria*. 2016. Vol. 48 (2). Pp. 51. DOI: 10.29352/mill0202.07.00091.
9. Ferro H. M., Souza R. M. D., Lelis F. M. V., Silva J. C. P. D., Medeiros F. H. V. D. Bacteria for cotton plant protection: disease control, crop yield and fiber quality // *Revista Caatinga*. 2020. Vol. 33. Pp. 43–53. DOI: 10.1590/1983-21252020v33n105rc.
10. Melnichuk T. N., Abdurashytov S. F., Andronov E. E., Abdurashytova E. R., Egovtseva A. Yu., Gongalo A. A., Turin E. N., Pashtetskiy V. S. The taxonomic structure of southern chernozem at the genus level influenced by microbial preparations and farming systems // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 422. Article number 012101. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012101.
11. Sundh I., Del Giudice T., Cembalo L. Reaping the benefits of microorganisms in cropping systems: is the regulatory policy adequate? // *Microorganisms*. 2021. Vol. 9. Article number 1437. DOI: 10.3390/microorganisms9071437.
12. Kumar J., Ramlal A., Mallick D., Mishra V. An overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance // *Plants*. 2021. Vol. 10. Article number 1185. DOI: 10.3390/plants10061185.
13. Sokolenko G. G., Podlesniy N. V., Zadorozhnaya V. A. Combined use of microbiological preparations and nano silicon in oats cultivation // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 422. Article number 012029. DOI: 10.1088/1755-1315/422/1/012029.

14. Valiullin I. T. Dependence of the size and chemical composition of the spring barley crop on the combined use of macrofertilizers and the biological product Rizoagrin // *Agrochemical Bulletin*. 2010. Vol. 4. Pp. 28–29.
15. Nacoon S., Jogloy S., Riddech N., Mongkolthanaruk W., Kuypers T. W., Boonlue S. Interaction between Phosphate Solubilizing Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth Promotion and Tuber Inulin Content of *Helianthus tuberosus* L. // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. DOI: 10.1038/s41598-020-61846-x.
16. Strafella S., Simpson D. J., Yaghoubi Khanghahi M., De Angelis M., Gänzle M., Minervini F., Crecchio C. Comparative genomics and *in vitro* plant growth promotion and biocontrol traits of lactic acid bacteria from the wheat rhizosphere // *Microorganisms*. 2021. Vol. 9. Article number 78. DOI: 10.3390/microorganisms9010078.
17. Teterin V. S., Galeeva N. N., Mitrofanov S. V., Panferov N. S., Gaibaryan M. A. Method of production of complex organomineral fertilizers and technological line for its implementation // *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*. 2019. Vol. 4. Pp. 114–119.
18. Lamont J. R., Wilkins O., Bywater-Ekegård M., Smith D. L. From yogurt to yield: Potential applications of lactic acid bacteria in plant production // *Soil Biology and Biochemistry*. 2017. Vol. 111. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.03.015.
19. Chen Y. S., Yanagida F., Shinohara T. Isolation and identification of lactic acid bacteria from soil using an enrichment procedure // *Letters in Applied Microbiology*. 2005. Vol. 40. Pp. 195–200.
20. Fhoula I., Najjari A., Turki Y., Jaballah S., Boudabous A., Ouzari H. Diversity and antimicrobial properties of lactic acid bacteria isolated from rhizosphere of olive trees and desert truffles of Tunisia // *BioMed Research International*. 2013. Article number 405708. DOI: 10.1155/2013/405708.
21. Atanassova M., Dalgalarondo M., Choiset Y., Chobert J.-M. Isolation and partial biochemical characterization of a proteinaceous anti-bacteria and anti-yeast compound produced by *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* strain M3 // *International Journal of Food Microbiology*. 2003. Vol. 87 (1-2). Pp. 63–73. DOI: 10.1016/S0168-1605(03)00054-0.
22. Wells S. J., Fedorka-Cray P. J., Dargatz D. A., Ferris K., Green A. Fecal shedding of *Salmonella spp.* by dairy cows on farm and at cull cow markets // *Journal of Food Protection*. 2001. Vol. 64 (1). Pp. 3–11. DOI: 10.4315/0362-028x-64.1.3.
23. Buck J. W., Walcott R. R., Beuchat L. R. Recent trends in microbiological safety of fruits and vegetables. Online // *Plant Health Progress*. 2003. Vol. 4 (1). Article number 0121. DOI: 10.1094/PHP-2003-0121-01-RV.
24. Stoyanova L. G., Ustyugova E. A., Netrusov A. I. Antimicrobial metabolites of lactic acid bacteria: diversity and properties (review) // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2012. Vol. 8 (3). Pp. 259–275.
25. Yankovsky D. S., Shirobokov V. P., Dyment G. S. Innovation Technologies for Human Microbiome Improvement // *Nauka ta innovacii*. 2018. Vol. 14 (6). Pp. 11–23. DOI: 10.15407/scin14.06.011.
26. Pakhomov Y. D., Blinkova L. P., Stoyanova L. G. Influence of inoculum on the viability of noncultured cells of bacteriocin-producing strains of *Lactococcus lactis* ssp. *Lactis* // *Biotechnology Journal*. 2016. Vol. 32 (1). Pp. 21–26. DOI: 10.21519/0234-2758-2016-1-21-26.
27. Aljeboury G., Mahmoud N. Phytopathogenic fungi and pathogenic bacteria *in vitro* // *Systematic Reviews in Pharmacy*. 2020. Vol. 11 (12). Pp. 1699–1703.
28. Jones D., Oburger E. Solubilization of phosphorus by soil microorganisms // *Phosphorus in Action*. 2011. Vol. 26. Pp. 169–198. DOI: 10.1007/978-3-642-15271-9_7.
29. Scervino J., Papinutti V., Godoy M., Rodriguez J., Monica I., Recchi M., Pettinari M. J., Godeas A. M. Medium pH, carbon and nitrogen concentrations modulate the phosphate solubilization efficiency of *Penicillium purpurogenum* through organic acid production // *Journal of Applied Microbiology*. 2011. Vol. 110 (5). Pp. 1215–23. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2011.04972.x.
30. Lamont J. R., Wilkins O., Bywater-Ekegård M., Smith D. L. From yogurt to yield: Potential applications of lactic acid bacteria in plant production // *Soil Biology and Biochemistry*. 2017. Vol. 111. DOI: 10.1016/j.soilbio.2017.03.015.
31. Strafella S., Simpson D., Khanghahi M., Angelis M., Gänzle M., Minervini F., Crecchio C. Comparative Genomics and In Vitro Plant Growth Promotion and Biocontrol Traits of Lactic Acid Bacteria from the Wheat Rhizosphere // *Microorganisms* 2021. Vol. 9. Article number 78. DOI: 10.3390/microorganisms9010078.
32. Hideki K., Shun I., Yoshihito S., Mitsuharu I. Comparison of selectivity of MRS agar and modified LBS agar for isolation of lactobacilli // *Milk Science*. 2011. Vol. 60 (3). Pp. 171–176. DOI: 10.11465/milk.60.171.
33. Moldagulova N., Ayupova A., Sembayeva D., Duambekov M., Khassenova E., Nagyzbekkyzy E., Danybayeva G., Sarsenova A. Data on the isolation and identification of thermotolerant microorganisms from cow manure promising for organic waste processing // *Data in Brief*. 2020. Vol. 31. Article number 105761. DOI: 10.1016/j.dib.2020.105761.
34. Breed R. S., Dotterer W. D. The Number of Colonies Allowable on Satisfactory Agar Plates // *Journal of Bacteriology*. 2021. Vol. 1 (3). Pp. 321–331. DOI: 10.1128/jb.1.3.321-331.1916.

35. Шаблин П. А., Лягушина О. А., Филоненко В. А. Биопрепарат для повышения продуктивности сельскохозяйственной продукции и способ получения биопрепарата для повышения продуктивности сельскохозяйственной продукции. Патент РФ. № 2552938. 2013.

36. Bellaloui N., Stetina S. R., Turley R. B. Cottonseed protein, oil, and mineral status in near-isogenic *Gossypium hirsutum* cotton lines expressing fuzzy/linted and fuzzless/linted seed phenotypes under field conditions // *Frontiers in Plant Science*. 2015. Vol. 6. Article number 137. DOI: 10.3389/fpls.2015.00137.

37. Haney R. L., Brinton W., Evans E. Soil CO₂ respiration: comparison of chemical titration, CO₂ IRGA analysis and the Solvita gel system // *Renewable Agriculture and Food*. 2008. Vol. 23 (2). Pp. 171–176. DOI: 10.1017/S174217050800224X.

38. Wilpiszkeski R. L., Aufrecht J. A., Retterer S. T., Sullivan M. B., Graham D. E., Pierce E. M., Zablocki O. D., Palumbo A. V., Elias D. A. Soil Aggregate Microbial Communities: Towards Understanding Microbiome Interactions at Biologically Relevant Scales // *Applied and Environmental Microbiology*. 2019. Vol. 85 (14). DOI: 10.1128/AEM.00324-19.

39. Krzyśko-Łupicka T., Kręcidło Ł., Kręcidło M. The Comparison of Cellulolytic Activity of the Modified Soil Treated with Roundup // *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology*. 2016. Vol. 21 (1-2). Pp. 133–139. DOI: 10.1515/cdem-2016-0012.

40. Phytotoxkit. Seed germination and early growth microbiotest with higher plants. Standard Operational Procedure. Gent: MicroBioTests Inc., 2004. 34 p.

41. Сваровская Л. И. Алтунина Л. К. Активность почвенной микрофлоры в условиях нефтяных загрязнений // *Биотехнология*. 2004. № 3. С. 63–69.

42. Hayte A. J. The Maximum Familywise Error Rate of Fisher's Least Significant Difference Test // *American Statistical Association*. 1986. Vol. 81 (396). Pp. 1000–1004. DOI: 10.2307/2289074.

43. Rjevskaya V. S., Omelchenko A. V., Semenova E. F., Teplitskaya L. M., Tsokalo I. E. Mobilization hard-to-reach phosphorus compounds in soil and influence growth processes of microbiological association // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 941. Article number 012026. DOI: 10.1088/1755-1315/941/1/012026.

44. Ржевская В. С., Теплицкая Л. М., Отурина И. П. Колонизация ризопланы корней огурцов микроорганизмами, входящими в состав микробного препарата «Эмбико®» // *Вестник Днепропетровского университета. Биология. Медицина*. 2013. Т. 4, № 2. С. 63–70.

45. Ржевская В. С., Семенова Е. Ф., Зайцев Г. П., Сластия Е. А., Омельченко А. В., Бугара И. А., Теплицкая Л. М., Цокало И. Е. Антагонистическое действие молочнокислых бактерий и их консорциума с дрожжами на патогенные микроорганизмы // *Биотехнология*. 2021. Т. 37, № 5. С. 96–107. DOI: 10.21519/0234-2758-2021-37-5-96-107.

46. Ржевская В. С., Отурина И. П., Булыгин С. В., Теплицкая Л. М. Влияние микробного препарата Эмбико® на плодообразование огурцов и биологическую активность почвы // *Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: Биология, химия*. 2014. Т. 27, № 3. С. 124–137.

Об авторах:

Виктория Степановна Ржевская, аспирант кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0003-4788-0407, AuthorID 783345. *E-mail: viktoryar45@mail.ru*

Александр Владимирович Омельченко, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0002-9490-622X, AuthorID 761333. *E-mail: omelchenko_tnu@mail.ru*

Игорь Александрович Бугара, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологий, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0001-6594-9055, AuthorID 815755. *E-mail: bia.05@mail.ru*

Алексей Николаевич Гусев, доктор химических наук, профессор кафедры общей химии, Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0001-5674-1519, AuthorID 226531. *E-mail: galex0330@rambler.ru*

Анастасия Владимировна Крыжко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия, ORCID 0000-0001-5401-0579, AuthorID 761466. *E-mail: nk_lib@mail.ru*

Владимир Степанович Паштецкий, доктор сельскохозяйственных наук, директор, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия, ORCID 0000-0002-3908-733X, AuthorID 849074 *E-mail: pvs98a@gmail.com*

Показатели воспроизводительной способности крупного рогатого скота в зависимости от генотипа

О. А. Быкова¹✉, О. В. Костюнина¹, А. А. Зырянова^{1,2}, О. А. Шевкунов¹, А. А. Ярышкин^{1,2}

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

² Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: olbyk75@mail.ru

Аннотация. В настоящее время одной из значимых проблем в животноводстве Российской Федерации являются низкие воспроизводительные качества крупного рогатого скота молочного направления продуктивности. Решение ее требует поиска генетических изменений, являющихся причинами снижения репродуктивных способностей крупного рогатого скота, и имеет фундаментальное значение для эффективного развития животноводства. Полногеномное сканирование с помощью чипов позволяет идентифицировать геномные регионы, мутации в которых приводят к возникновению экономически значимых проблем, таких как эмбриональная смертность, нарушения развития, что характеризуется научной и практической значимостью. **Научная новизна** заключается в изучении молекулярно-генетических механизмов контроля репродуктивной способности крупного рогатого скота молочного направления продуктивности в Свердловской области. **Цель работы** – выявление аллельных вариантов SNP, ассоциированных с высокими репродуктивными качествами крупного рогатого скота. **Методы.** Исследования проведены на коровах голштинской породы. Выделение ДНК и последующее генотипирование выполняли в центре геномной селекции компании ООО «Мираторг-Генетика». Полногеномное генотипирование проводили с использованием чипов GGP Bovine 50K. Для проведения GWAS-исследований использовали пакет GGP v.3. Проводили анализ воспроизводительных качеств коров с различными аллельными вариантами полиморфизмов, показавших наибольшую значимость при GWAS-исследовании. **Результаты.** Установлено, что продолжительность сервис-периода 93 и 94 дня ассоциирована с наличием в генотипе UA-IFASA-9208TT и BTA-115852-no-rsAG, самым продолжительным он оказался для ARS-BFGL-NGS-71623GG (163 дня), ARS-BFGL-NGS-71148GG (158 дней). Самым коротким периодом плодородия оказался для UA-IFASA-9208AA (261 день), сухостойный период – для Нармар41431-BTA-111895AA (54 дня), ARS-BFGL-NGS-85003CC, ARS-BFGL-NGS-71623AA и гетерозиготного генотипа Нармар41431-BTA-111895AG (55 дней), межотельный период – для BTA-115852-no-rsAG (363 дня), самым продолжительным периодом плодородия был для ARS-BFGL-NGS-71623GG (302 дня), сухостойный период – для ARS-BFGL-NGS-4585 AG и UA-IFASA-9208AT (62 дня). Коэффициент воспроизводительной способности соответствовал оптимальному значению (1,00) для трех SNP: ARS-BFGL-NGS-4585AA, BTA-115852-no-rs AG, UA-IFASA-9208AA и UA-IFASA-9208TT.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, гены, SNP, воспроизводство

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-76-10021.

Для цитирования: Быкова О. А., Костюнина О. В., Зырянова А. А., Шевкунов О. А., Ярышкин А. А. Показатели воспроизводительной способности крупного рогатого скота в зависимости от генотипа // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 206–216. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-206-216>.

Дата поступления статьи: 17.12.2024, **дата рецензирования:** 24.12.2024, **дата принятия:** 09.01.2025.

Reproductive capacity indicators of cattle depending on genotype

O. A. Bykova¹✉, O. V. Kostyunina¹, A. A. Zyryanova^{1,2}, O. A. Shevkunov¹, A. A. Yaryshkin^{1,2}

¹Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

²Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre – Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: olbyk75@mail.ru

Abstract. Currently, one of the significant problems in animal husbandry in the Russian Federation is the low reproductive qualities of dairy cattle. Its solution requires searching for genetic changes that are the causes of the decrease in the reproductive abilities of cattle, and is of fundamental importance for the effective development of animal husbandry. Whole-genome scanning using chips allows identifying genomic regions, mutations in which lead to the emergence of economically significant problems, such as embryonic mortality, developmental disorders, which is characterized by scientific and practical significance. **The scientific novelty** consists in studying the molecular genetic mechanisms of control of the reproductive capacity of dairy cattle in the Sverdlovsk region. **The purpose** of the work is to identify allelic variants of SNP associated with high reproductive qualities of cattle. **Methods.** The studies were conducted on Holstein cows. DNA extraction and subsequent genotyping were performed at the genomic selection center of Miratorg-Genetics LLC. Full-genome genotyping was performed using GGP Bovine 50K chips. Gpat v.3 package was used to conduct GWAS studies. Reproductive qualities of cows with different allelic variants of polymorphisms that showed the greatest significance in the GWAS study were analyzed. **Results.** It was found that the duration of the service period of 93 and 94 days is associated with the presence of UA-IFASA-9208TT and BTA-115852-no-rsAG in the genotype, the longest was for ARS-BFGL-NGS-71623GG (163 days), ARS-BFGL-NGS-71148GG (158 days). The shortest fruiting period was for UA-IFASA-9208AA (261 days), the dry period was for Hapmap41431-BTA-111895AA (54 days), ARS-BFGL-NGS-85003CC, ARS-BFGL-NGS-71623AA and the heterozygous genotype Hapmap41431-BTA-111895AG (55 days), the calving interval was for BTA-115852-no-rsAG (363 days), the longest fruiting period was for ARS-BFGL-NGS-71623GG (302 days), the dry period was for ARS-BFGL-NGS-4585 AG and UA-IFASA-9208AT (62 days). The reproductive efficiency coefficient corresponded to the optimal value (1.00) for three SNPs: ARS-BFGL-NGS-4585AA, BTA-115852-no-rs AG, UA-IFASA-9208AA and UA-IFASA-9208TT.

Keywords: cattle, genes, SNP, reproduction

Acknowledgements. The research was supported by Russian Science Foundation, project No. 22-76-10021.

For citation: Bykova O. A., Kostyunina O. V., Zyryanova A. A., Shevkunov O. A., Yaryshkin A. A. Reproductive capacity indicators of cattle depending on genotype. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 206–216. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-206-216>. (In Russ.)

Date of paper submission: 17.12.2024, **date of review:** 24.12.2024, **date of acceptance:** 09.01.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Для совершенствования развития животноводства в области молочного скотоводства специалистам необходимо учитывать некоторые особенности коров, которые имеют большое значение в воспроизводстве стада. Без внимания селекционеров невозможно оставить снижение репродуктивной способности скота, в связи с чем следует уделять особое внимание изучению генетических изменений организма животных. Наряду с этим имеет большое значение освоение молекулярно-генетических механизмов контроля фертильности молочного скота и установление причин низкой воспроизводительной способности коров, внутриутробной

гибели плода на ранних сроках стельности. При использовании современных лабораторных методов исследований можно провести полногеномное сканирование животных. Таким образом, специалистам доступно распознавание геномных регионов и мутаций, ответственных за проявление признаков репродуктивного здоровья крупного рогатого скота. Определение данных особенностей организма животных способствует решению экономически значимых проблем, таких как эмбриональная смертность, генетические аномалии, нарушения развития. Все это в настоящее время актуально и имеет большое научное и практическое значение [1–3].

Одной из важнейших задач науки в области молочного скотоводства в настоящее время является поиск возможностей улучшения репродуктивных функций высокопродуктивных коров на молекулярно-генетическом уровне. Известно, что весомый рост молочной продуктивности скота отрицательно коррелирует с показателями выхода телят и продолжительностью сервис-периода. Понижение репродуктивных способностей часто возникает вследствие генных мутаций. Они обуславливают летальные проявления в фенотипе особи на разных этапах развития (от эмбриона до новорожденных телят). Определенные мутации сопровождаются удлинением сервис-периода, возникновением гинекологических заболеваний, яловости, что приводит к повышению затрат хозяйства на проведение ветеринарных мероприятий и гормональную стимуляцию коров, а в итоге к преждевременной выбраковке полновозрастных коров из стада. Следствием ухудшения репродуктивной функции коров и воспроизводства стада для предприятий-товаропроизводителей в молочном скотоводстве является значимый экономический ущерб. Очень часто данные мутации положительно коррелируют с уровнем молочной продуктивности. Для решения проблемы воспроизводительной способности высокопродуктивных коров и снижения частоты проявления мутаций в их геноме необходимо увеличивать генетический потенциал животных [4–7].

Генетические характеристики голштинского скота, разводимого на Урале, малоизучены. Поэтому исследования воспроизводительных способностей крупного рогатого скота с использованием геномных методов в данном регионе актуальны и своевременны.

Результаты более ранних исследований свидетельствуют о том, что снижение воспроизводительной функции коров связано с послеродовыми проблемами клинического характера, развитием метаболического стресса из-за лактации. В настоящее время считается, что данная проблема обусловлена генетическими факторами [8–10].

В последние несколько десятков лет ученые обнаружили ряд летальных гаплотипов, которые связаны с рецессивными расстройствами репродуктивных и продуктивных признаков. Быки-производители являются переносчиками вредных аллелей. Ученые проделали большую работу по разработке ряда методов сканирования генома, что необходимо для проведения анализа и оценки биоразнообразия внутри пород и между ними. Карты неравновесного сцепления генов с высоким разрешением внесли неоценимый вклад в понимание сложных сетей связи между генами, гаплотипами и формированием фенотипических признаков [11–13].

Также проводились исследования общегеномных ассоциаций (GWAS). Они необходимы для вы-

явления количественных локусов признаков (QTL) и генов-кандидатов, связанных с воспроизводительными качествами скота. Данные исследования обуславливают улучшение понимания генетической основы фенотипического признака фертильности и его вариационных свойств [14].

Исследователи установили в мировой популяции голштинского скота довольно высокие частоты гаплотипов фертильности. Гаплотипы имеют свойство влиять на репродуктивные особенности животных и ассоциированы с гибелью животных в эмбриональный и постэмбриональный периоды. Качество течения стельности у коров голштинской породы отчасти находится в зависимости от наличия или отсутствия в их генотипе одного или нескольких из установленных 22 гаплотипов фертильности. Для некоторых из них мутации, которые их обуславливают, еще неизвестны [15; 16].

Благодаря внедрению геномной селекции в маркировании воспроизводительных признаков животных сделан значительный шаг вперед. Тем не менее на практике в селекции до сих пор используются маркеры ограниченного числа гаплотипов. Таким образом, одним из перспективных направлений в работе с геномом голштинского скота является включение обнаруживаемых ассоциаций SNP с показателями воспроизводства в оценку генома [17–18].

В связи с актуальной тематикой нами были проведены следующие исследования: изучение генетического профиля коров голштинской породы уральского разведения; идентификация SNPs, связанных с воспроизводительными особенностями животных; установление генетических вариантов и сочетаний по ДНК-маркерам, определяющим улучшение репродуктивной способности крупного рогатого скота.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проведены в АО «Каменское» (с. Позариха Каменского р-на Свердловской области) на коровах голштинской породы. От животных опытной группы осуществляли отбор крови в вакуумные пробирки, содержащие консервант КЗ ЭДТА. Выделение ДНК и последующее генотипирование выполняли в центре геномной селекции компании ООО «Мираторг-Генетика».

Полногеномное генотипирование проводили с использованием чипов GGP Bovine 50K. Для проведения GWAS-исследований использовали пакет *Garit v.3*. Проводили анализ воспроизводительных качеств коров с различными аллельными вариантами полиморфизмов, показавших наибольшую значимость при GWAS-исследовании. Использовали названия SNP, указанные в файле *manifest* для чипа, с помощью которого проводили исследования.

Частоту встречаемости генотипов анализируемых генов рассчитывали путем соотношения количества коров из числа носителей генотипа к общему числу животных в исследуемой группе.

Таблица 1

Продолжительность физиологических периодов коров в зависимости от генотипов, дней

SNP	Генотип	Сервис-период	Период плодоношения
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	100 ± 6,7	264 ± 7,5
	AG	145 ± 7,2**	271 ± 10,2
	GG	135 ± 5,4**	284 ± 8,5
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	134 ± 4,1	299 ± 10,8
	AG	142 ± 6,2	286 ± 9,6
	GG	158 ± 5,8*	289 ± 5,1
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	136 ± 4,7	284 ± 9,2
	AG	130 ± 5,2	280 ± 6,7
	GG	163 ± 8,5*	302 ± 10,9
BTA-115852-no-rs	AA	148 ± 5,3***	293 ± 9,4
	AG	94 ± 3,0	270 ± 5,7
	GG	105 ± 3,5	275 ± 8,1
Нармап41431-BTA-111895	AA	145 ± 5,1	296 ± 11,2
	AG	141 ± 6,9	288 ± 7,9
	GG	143 ± 5,5	293 ± 9,7
Нармап42329-BTA-80748	AA	137 ± 4,2	291 ± 9,5
	AG	146 ± 6,5	301 ± 7,6
	GG	138 ± 7,3	283 ± 5,3
UA-IFASA-9208	AA	103 ± 2,9	261 ± 6,2
	AT	137 ± 6,9***	278 ± 5,4
	TT	93 ± 3,1	272 ± 6,8
ARS-BFGL-NGS-85003	AA	122 ± 3,4	281 ± 7,1
	AC	126 ± 2,8	287 ± 8,5
	CC	137 ± 8,7	296 ± 4,9

Примечание. Здесь и далее * $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$, *** $p \leq 0,001$.

Table 1

Duration of successive periods of cows depending on genotypes, days

SNP	Genotype	Service period	Fruiting period
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	100 ± 6.7	264 ± 7.5
	AG	145 ± 7.2**	271 ± 10.2
	GG	135 ± 5.4**	284 ± 8.5
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	134 ± 4.1	299 ± 10.8
	AG	142 ± 6.2	286 ± 9.6
	GG	158 ± 5.8*	289 ± 5.1
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	136 ± 4.7	284 ± 9.2
	AG	130 ± 5.2	280 ± 6.7
	GG	163 ± 8.5*	302 ± 10.9
BTA-115852-no-rs	AA	148 ± 5.3***	293 ± 9.4
	AG	94 ± 3.0	270 ± 5.7
	GG	105 ± 3.5	275 ± 8.1
Нармап41431-BTA-111895	AA	145 ± 5.1	296 ± 11.2
	AG	141 ± 6.9	288 ± 7.9
	GG	143 ± 5.5	293 ± 9.7
Нармап42329-BTA-80748	AA	137 ± 4.2	291 ± 9.5
	AG	146 ± 6.5	301 ± 7.6
	GG	138 ± 7.3	283 ± 5.3
UA-IFASA-9208	AA	103 ± 2.9	261 ± 6.2
	AT	137 ± 6.9***	278 ± 5.4
	TT	93 ± 3.1	272 ± 6.8
ARS-BFGL-NGS-85003	AA	122 ± 3.4	281 ± 7.1
	AC	126 ± 2.8	287 ± 8.5
	CC	137 ± 8.7	296 ± 4.9

Note. Here and further * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

Обработку полученных в эксперименте данных проводили в программах Microsoft Excel, Biostatistics при расчете основных статистических и биометрических показателей.

Результаты (Results)

Успешная селекционно-племенная работа возможна с учетом частоты встречаемости генотипов по SNP, ассоциированным с желательными репродуктивными качествами крупного рогатого скота. Гомо- или гетерозиготность генотипа в значительной степени оказывает влияние на наследование хозяйственно полезных признаков продуктивных животных.

В результате анализа частот аллелей и генотипов по SNP, достоверно связанным с показателями воспроизводительной способности коров, установлено, что у всех SNP присутствуют три генотипа. Гомозиготный генотип AA преобладает у ARS-BFGL-NGS-71148, ARS-BFGL-NGS-71623, BTA-115852-no-rs, гетерозиготный – у ARS-BFGL-NGS-458, ARS-BFGL-NGS-85003, Нармар41431-BTA-111895, Нармар42329-BTA-80748, UA-IFASA-9208. Наименьшая частота встречаемости установлена для гомозиготных генотипов ARS-BFGL-NGS-458^{AA}, BFGL-NGS-71148^{GG}, ARS-BFGL-NGS-71623^{GG}, ARS-BFGL-NGS-85003^{AA}, Нармар41431-BTA-111895^{AA}, UA-IFASA-9208^{AA}, Нармар42329-BTA-80748^{AA}, гетерозиготных – BTA-115852-no-rs.

В таблице 1 представлены результаты анализа продолжительности физиологических периодов коров в зависимости от генотипов по исследуемым полиморфизмам.

Исследование продолжительности сервис-периода и периода плодonoшения коров в хозяйстве выявило существенную разницу между значениями данных показателей для различных SNP. При этом достоверные данные получены только в нескольких случаях. У животных исследуемого хозяйства сервис-период имел продолжительность от 93 до 163 дней. Увеличение его продолжительности (более 100 дней) способствовало увеличению длительности межотельного периода, что привело к снижению коэффициента воспроизводительной способности и не позволило получить 1 теленка за календарный год. Сервис-период для различных генотипов исследуемых SNP отличался по своей длительности. Наименее продолжительным он оказался для UA-IFASA-9208 и BTA-115852-no-rs. Причем желательные значения установлены как в гомозиготном, так и в гетерозиготном генотипе указанных SNP. Продолжительность сервис-периода 93 и 94 дня, ассоциированная с наличием в генотипе UA-IFASA-9208^{TT} и BTA-115852-no-rs^{AG} соответственно, позволила достигнуть коэффициента воспроизводительной способности, равного 1, что говорит о высокой эффективности воспроизводства по стаду для животных-носителей данных геноти-

пов. Несколько выше значение данного показателя было для UA-IFASA-9208^{AA} (103 дня) и ARS-BFGL-NGS-4585^{AA} (100 дней). Самым продолжительным сервис-период оказался для животных с ARS-BFGL-NGS-71623^{GG} (163 дня), ARS-BFGL-NGS-71148^{GG} (158 дней), что значительно увеличивает продолжительность межотельного периода и приносит хозяйству экономический ущерб от недополучения приплода.

Продолжительность периода плодonoшения для исследованных животных в хозяйстве варьировала в диапазоне от 261 до 302 дней. При этом минимальные и максимальные значения этого периода установлены для тех же генотипов по SNP, что и такие значения сервис-периода. Так, самым коротким период плодonoшения оказался у животных с UA-IFASA-9208^{AA} (261 день), ARS-BFGL-NGS-4585^{AA} (264 дня), BTA-115852-no-rs^{AG} (270 дней), UA-IFASA-9208^{GG} (272 дня), самым продолжительным – с ARS-BFGL-NGS-71623^{GG} (302 дня), Нармар42329-BTA-80748AG (301 день), для всех генотипов остальных SNP длительность периода стельности имела промежуточное значение.

В таблице 2 представлены результаты исследований продолжительности сухостойного и межотельного периодов у коров в зависимости от генотипа.

Сухостойный период играет важную роль в подготовке коровы к отелу, восстановлению репродуктивной системы во время сервис-периода, своевременном наступлении охоты после отела и благополучном оплодотворении яйцеклетки при осеменении. Для изучаемого поголовья продолжительность сухостойного периода варьировала в диапазоне от 55 до 62 дней и находилась в пределах нормативных значений. Самым коротким этот период установлен для гомозиготных генотипов Нармар41431-BTA-111895^{AA} (54 дня), ARS-BFGL-NGS-85003^{CC}, ARS-BFGL-NGS-71623^{AA}, ARS-BFGL-NGS-71623^{GG} (55 дней) и гетерозиготного генотипа Нармар41431-BTA-111895^{AG} (55 дней). Наиболее продолжительным он был для гетерозиготных генотипов ARS-BFGL-NGS-4585 AG и UA-IFASA-9208AT и составил 62 дня. Разница по величине данного показателя для различных генотипов изученных SNP была не достоверна.

Межотельный период является важным показателем воспроизводства стада и определяет его эффективность, так как наиболее желательным с экономической точки зрения является получение одного теленка в календарный год, что определяет необходимость приближения его продолжительности к величине календарного года, или 365 дням. В последнее время в большинстве хозяйств он значительно длиннее за счет ухудшения репродуктивной способности коров, увеличения количества осеменений на одно плодотворное, как следствие –

увеличения продолжительности сервис-периода. В наших исследованиях продолжительность межжотельного периода составила от 363 до 465 дней. Самым коротким этот период оказался для носителей гетерозиготного генотипа BTA-115852-no-rs^{AG} и был короче календарного года на 2 дня, 364 дня он составил для гомозиготных генотипов ARS-BFGL-NGS-4585^{AA} и UA-IFASA-9208^{AA}, 365 дней – для UA-IFASA-9208^{TT}. Для остальных генотипов и SNP он был выше на 40 и более дней, что является нежелательным для эффективного воспроизводства высокопродуктивного стада.

В таблице 3 представлены воспроизводительные качества коров в зависимости от генотипа.

Оценка плодовитости маточного поголовья крупного рогатого скота проводится при анализе и прогнозировании воспроизводства стада посредством соотношения продолжительности календарного года и периода между смежными отелами. Желательным представляется получить 1 теленка от каждой коровы в 365 дней и менее, что и обуславливает величину коэффициента воспроизводительной способности (КВС), равную 1 и более. В наших исследованиях КВС соответствовал оптимальному значению (1,00) только для трех SNP: ARS-BFGL-NGS-4585^{AA}, BTA-115852-no-rs^{AG}, UA-IFASA-9208^{AA} и UA-IFASA-9208^{TT}. Для остальных SNP он составил от 0,90 до 0,78, что свидетельствует о возможности получения теленка за период от 1,1 до 1,3 года.

Кратность осеменения рассчитывается для обеспечения высокой оплодотворяемости животных в оптимальное для зачатия время. Точное определение оптимального срока осеменения в период охоты позволяет достичь высокой оплодотворяемости. Кроме того, однократное осеменение в оптимальный для зачатия срок позволяет более рационально использовать время, провести осеменение большего числа животных, снизить затраты труда и расход семени, что позволяет сохранить экономические и трудовые ресурсы предприятия.

Для исследованного маточного поголовья кратность осеменения находилась в пределах от 1,12 до 1,69. Установлено, что для гомозиготных генотипов UA-IFASA-9208 она была наименьшей и составила 1,12 и 1,15. Для BTA-115852-no-rs^{AG} и ARS-BFGL-NGS-4585^{AA} эти значения были несколько выше и равнялись 1,18 и 1,20. Для других исследованных SNP на одно оплодотворение приходилось от 1,25 до 1,69 осеменений.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Открытие различных вариантов генетических последовательностей с нарушением функций (LoF, Loss-of-Function) стало возможным в связи с картированием гомозиготности. Такой подход основан на

генотипировании десятков тысяч SNP. В настоящее время улучшается понимание генетической архитектуры признаков воспроизводства, что связано с проведением исследований общегеномных ассоциаций (GWAS) для определения количественных локусов (QTL) и генов-кандидатов, связанных с фертильностью.

В результате проведенных нами исследований структуры SNP, связанных с фертильностью коров, установили преобладание генотипа AA у ARS-BFGL-NGS-71148, ARS-BFGL-NGS-71623, BTA-115852-no-rs, гетерозиготный – у ARS-BFGL-NGS-458, ARS-BFGL-NGS-85003, Нармар41431-BTA-111895, Нармар42329-BTA-80748, UA-IFASA-9208. Наименьшую частоту встречаемости определили для следующих генотипов: ARS-BFGL-NGS-4585^{AA}, BFGL-NGS-71148^{GG}, ARS-BFGL-NGS-71623^{GG}, ARS-BFGL-NGS-85003^{AA}, Нармар41431-BTA-111895^{AA}, UA-IFASA-9208^{AA}, Нармар42329-BTA-80748^{AA}, гетерозиготных – BTA-115852-no-rs.

С наименее продолжительным сервис-периодом обнаружили животных – носителей генотипов UA-IFASA-9208 и BTA-115852-no-rs в гомозиготном и гетерозиготном состоянии. Продолжительность сервис-периода 93 и 94 дня ассоциирована с генотипами UA-IFASA-9208^{TT} и BTA-115852-no-rs^{AG} соответственно. 100 и 103 дня данный период продолжался у коров с генотипами ARS-BFGL-NGS-4585^{AA} и UA-IFASA-9208^{AA}. Самый продолжительный сервис период оказался для животных с ARS-BFGL-NGS-71623^{GG} (163 дня) и ARS-BFGL-NGS-71148^{GG} (158 дней). Самый короткий период плодonoшения был у коров – носителей генотипов UA-IFASA-9208^{AA} (261 день), ARS-BFGL-NGS-4585^{AA} (264 дня), BTA-115852-no-rs^{AG} (270 дней), UA-IFASA-9208^{GG} (272 дня), самым продолжительный – с ARS-BFGL-NGS-71623^{GG} (302 дня), Нармар42329-BTA-80748AG (301 день).

Самым коротким сухостойным периодом обладали коровы с генотипами Нармар41431-BTA-111895^{AA} (54 дня), ARS-BFGL-NGS-85003^{CC}, ARS-BFGL-NGS-71623^{AA}, ARS-BFGL-NGS-71623^{GG} (55 дней), Нармар41431-BTA-111895^{AG} (55 дней). Более продолжительный период составил 62 дня у животных с генотипами ARS-BFGL-NGS-4585 AG и UA-IFASA-9208AT. Короткий межжотельный период установили для генотипов BTA-115852-no-rs^{AG} (363 дня), ARS-BFGL-NGS-4585^{AA} (364 дня) и UA-IFASA-9208^{AA}, UA-IFASA-9208^{TT} (365 дней).

Оптимальный коэффициент воспроизводительной способности установили у животных с генотипами ARS-BFGL-NGS-4585^{AA}, BTA-115852-no-rs^{AG}, UA-IFASA-9208^{AA} и UA-IFASA-9208^{TT}. Наименьшая кратность осеменения обнаружена у коров с генотипами UA-IFASA-9208.

Таблица 2

Продолжительность сухостойного и межотельного периодов у коров в зависимости от генотипа, дней

Биология и биотехнологии

SNP	Генотип	Сухостойный период	Межотельный период
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	60 ± 3,1	364 ± 6,9
	AG	62 ± 2,4	415 ± 8,1
	GG	58 ± 5,3	419 ± 6,8***
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	55 ± 4,7	433 ± 7,4
	AG	57 ± 6,1	428 ± 7,9
	GG	56 ± 5,0	447 ± 5,5
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	55 ± 3,8	420 ± 6,9
	AG	57 ± 4,2	410 ± 5,1
	GG	55 ± 3,9	465 ± 8,7**
BTA-115852-no-rs	AA	59 ± 3,5	441 ± 7,3***
	AG	58 ± 3,0	363 ± 4,6
	GG	60 ± 1,7	380 ± 5,8
Hapmap41431-BTA-111895	AA	54 ± 2,9	442 ± 8,2
	AG	55 ± 2,3	430 ± 7,1
	GG	60 ± 2,1	435 ± 6,7
Hapmap42329-BTA-80748	AA	59 ± 2,4	427 ± 6,9
	AG	57 ± 3,3	448 ± 7,2
	GG	58 ± 4,5	421 ± 5,3
UA-IFASA-9208	AA	60 ± 2,2	364 ± 4,5
	AT	62 ± 4,5	416 ± 5,6***
	TT	61 ± 3,1	365 ± 5,1
ARS-BFGL-NGS-85003	AA	59 ± 2,9	403 ± 6,4
	AC	56 ± 3,6	415 ± 6,0
	CC	55 ± 4,2	434 ± 7,3

Table 2

Duration of dry and calving intervals in cows depending on genotype, days

SNP	Genotype	Dry period	Calving interval
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	60 ± 3.1	364 ± 6.9
	AG	62 ± 2.4	415 ± 8.1
	GG	58 ± 5.3	419 ± 6.8***
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	55 ± 4.7	433 ± 7.4
	AG	57 ± 6.1	428 ± 7.9
	GG	56 ± 5.0	447 ± 5.5
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	55 ± 3.8	420 ± 6.9
	AG	57 ± 4.2	410 ± 5.1
	GG	55 ± 3.9	465 ± 8.7**
BTA-115852-no-rs	AA	59 ± 3.5	441 ± 7.3***
	AG	58 ± 3.0	363 ± 4.6
	GG	60 ± 1.7	380 ± 5.8
Hapmap41431-BTA-111895	AA	54 ± 2.9	442 ± 8.2
	AG	55 ± 2.3	430 ± 7.1
	GG	60 ± 2.1	435 ± 6.7
Hapmap42329-BTA-80748	AA	59 ± 2.4	427 ± 6.9
	AG	57 ± 3.3	448 ± 7.2
	GG	58 ± 4.5	421 ± 5.3
UA-IFASA-9208	AA	60 ± 2.2	364 ± 4.5
	AT	62 ± 4.5	416 ± 5.6***
	TT	61 ± 3.1	365 ± 5.1
ARS-BFGL-NGS-85003	AA	59 ± 2.9	403 ± 6.4
	AC	56 ± 3.6	415 ± 6.0
	CC	55 ± 4.2	434 ± 7.3

Воспроизводительные качества коров в зависимости от генотипа

SNP	Генотип	Коэффициент воспроизводительной способности	Кратность осеменения
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	1,00 ± 0,01***	1,20 ± 0,06
	AG	0,88 ± 0,03	1,50 ± 0,07
	GG	0,87 ± 0,02	1,53 ± 0,11
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	0,84 ± 0,01	1,59 ± 0,05
	AG	0,85 ± 0,02	1,58 ± 0,12
	GG	0,82 ± 0,01	1,64 ± 0,15
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	0,87 ± 0,03	1,58 ± 0,09
	AG	0,89 ± 0,02**	1,51 ± 0,08
	GG	0,78 ± 0,02	1,69 ± 0,11
BTA-115852-no-rs	AA	0,83 ± 0,04	1,61 ± 0,09*
	AG	1,00 ± 0,01***	1,18 ± 0,05
	GG	0,96 ± 0,01***	1,25 ± 0,09
Hapmap41431-BTA-111895	AA	0,82 ± 0,02	1,68 ± 0,11
	AG	0,85 ± 0,03	1,60 ± 0,09
	GG	0,84 ± 0,04	1,64 ± 0,11
Hapmap42329-BTA-80748	AA	0,85 ± 0,01	1,50 ± 0,12
	AG	0,81 ± 0,02	1,60 ± 0,07
	GG	0,87 ± 0,05	1,45 ± 0,08
UA-IFASA-9208	AA	1,00 ± 0,01***	1,12 ± 0,04
	AT	0,80 ± 0,03	1,54 ± 0,09*
	TT	1,00 ± 0,01***	1,15 ± 0,06
ARS-BFGL-NGS-85003	AA	0,90 ± 0,06	1,35 ± 0,09
	AC	0,88 ± 0,04	1,45 ± 0,13
	CC	0,87 ± 0,03	1,60 ± 0,11

Table 3
Reproductive qualities of cows depending on genotype

SNP	Genotype	Coefficient reproductive capabilities	Insemination frequency
ARS-BFGL-NGS-4585	AA	1.00 ± 0.01***	1.20 ± 0.06
	AG	0.88 ± 0.03	1.50 ± 0.07
	GG	0.87 ± 0.02	1.53 ± 0.11
ARS-BFGL-NGS-71148	AA	0.84 ± 0.01	1.59 ± 0.05
	AG	0.85 ± 0.02	1.58 ± 0.12
	GG	0.82 ± 0.01	1.64 ± 0.15
ARS-BFGL-NGS-71623	AA	0.87 ± 0.03	1.58 ± 0.09
	AG	0.89 ± 0.02**	1.51 ± 0.08
	GG	0.78 ± 0.02	1.69 ± 0.11
BTA-115852-no-rs	AA	0.83 ± 0.04	1.61 ± 0.09*
	AG	1.00 ± 0.01***	1.18 ± 0.05
	GG	0.96 ± 0.01***	1.25 ± 0.09
Hapmap41431-BTA-111895	AA	0.82 ± 0.02	1.68 ± 0.11
	AG	0.85 ± 0.03	1.60 ± 0.09
	GG	0.84 ± 0.04	1.64 ± 0.11
Hapmap42329-BTA-80748	AA	0.85 ± 0.01	1.50 ± 0.12
	AG	0.81 ± 0.02	1.60 ± 0.07
	GG	0.87 ± 0.05	1.45 ± 0.08
UA-IFASA-9208	AA	1.00 ± 0.01***	1.12 ± 0.04
	AT	0.80 ± 0.03	1.54 ± 0.09*
	TT	1.00 ± 0.01***	1.15 ± 0.06
ARS-BFGL-NGS-85003	AA	0.90 ± 0.06	1.35 ± 0.09
	AC	0.88 ± 0.04	1.45 ± 0.13
	CC	0.87 ± 0.03	1.60 ± 0.11

Библиографический список

1. Смирнов Л. П. 4. АТФ-связывающие транспортные белки семейства abc (ATP-binding cassette transporters, abc). Номенклатура, структура, молекулярное разнообразие, функция, участие в функционировании системы биотрансформации ксенобиотиков // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 3. С. 5–19. DOI: 10.17076/eb1044.
2. Экхорутомвен О. Т., Медведев Г. Ф., Черникова В. А. Взаимосвязь продолжительности сухостойного периода, молочной продуктивности и репродуктивной способности коров // Животноводство и ветеринарная медицина. 2022. № 2 (45). С. 8–13.
3. Минакова Н. Геномные технологии для животноводства // Наука и инновации. 2021. № 8 (222). С. 4–8.
4. Ражина Е. В. Методы ДНК-тестирования в селекции крупного рогатого скота [Электронный ресурс] // Вестник биотехнологии: электронный научный журнал. 2018. № 2 (16). URL: https://bio-urgau.ru/images/02_2018/Razhina_EV.pdf (дата обращения 13.11.2024).
5. Сермягин А. А., Зиновьева Н. А. Генетический и геномный прогноз племенной ценности быков-производителей черно-пестрой и голштинской пород в России // Достижения науки и техники АПК. 2019. №12. С. 77–82. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11216.
6. Сермягин А. А., Быкова О. А., Лоретц О. Г., Костюнина О. В., Зиновьева Н. А. Оценка геномной вариативности продуктивных признаков у животных голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS анализа и RON паттернов // Сельскохозяйственная биология. 2020. № 2. С. 257–274. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.2.257rus.
7. Зиновьева Н. А. Гаплотипы фертильности голштинского скота // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 4. С. 423–435. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.4.423rus.
8. Тарасова Е. И., Нотова Е. И., Гены-маркеры продуктивных характеристик молочного скота (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2020. № 3. С. 58–80. DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-58.
9. Филипенкова Г. В. Использование ДНК-маркеров в селекционном процессе в молочном скотоводстве // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2020. № 34 (39). С. 27–30.
10. Яковлев А. Ф. Вклад гаплотипов в формирование племенных и воспроизводительных качеств животных (обзор) // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 2. С. 5–18. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.2.5-18.
11. Rocha R. F. B., Garcia A. O., Otto P. I., da Silva M. V. B., Martins M. F., Machado M. A., Panetto J. C. C., Guimarães S. E. F. Runs of homozygosity and signatures of selection for number of oocytes and embryos in the Gir Indicine cattle // Mammalian Genome. 2023. Vol. 34. Pp. 482–496. DOI: 10.1007/s00335-023-09989-w.
12. Ferdosi M. H., Henshall J., Tier B. Study of the optimum haplotype length to build genomic relationship matrices // Genetics Selection Evolution. 2016. Vol. 48, No. 01. Article number 75. DOI: 10.1186/s12711-016-0253-6.
13. Гридин В. Ф., Гридина С. Л., Лешонок О. И., Ткаченко И. В., Севостьянов М. Ю., Мымрин С. В., Ткачук О. А. Эффективность работы племенных организаций с крупным рогатым скотом черно-пестрой породы в регионе Урала. Екатеринбург: Джи Лайм, 2021. 116 с.
14. Guarini A. R., Lourenco D. A. L., Brito L. F., Sargolzaei M., Baes C. F., Miglior F., Misztal I., Schenkel F. S. Genetics and genomics of reproductive disorders in Canadian Holstein cattle // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102, No. 2. Pp. 1341–1353. DOI: 10.3168/jds.2018-15038.
15. Wells C. R. SAS for Mixed Models: Introduction and Basic Applications // The American Statistician. 2021. Vol. 75, No. 2. DOI: 10.1080/00031305.2021.1907997.
16. Huang M., Liu X., Zhou Y., Summers R. M., Zhang Z. BLINK: a package for the next level of genome-wide association studies with both individuals and markers in the millions // Gigascience. 2019. Vol. 91. Pp. 399–404. DOI: 10.1093/gigascience/giy154.
17. Kipp S., Segelke D., Reinhardt F., Reents R., Schierenbeck S., Wurmser C., Pausch H., Fries R., Thaller G., Tetens J., Pott J., Piechotta M., Grünberg W. A new Holstein haplotype affecting calf survival // Interbull Bulletin. 2015. Vol. 49. Pp. 49–53.
18. VanRaden M., Olson K. M., Null D. J., Hutchison J. L. Harmful recessive effects on fertility detected by absence of homozygous haplotypes // Journal of Dairy Science. 2011. Vol. 94, No. 12. Pp. 6153–6161. DOI: 10.3168/JDS.2011-4624.

Об авторах:

Ольга Александровна Быкова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503. E-mail: olbyk75@mail.ru

Ольга Васильевна Костюнина, доктор биологических наук, профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325. *E-mail: kostolan@yandex.ru*

Анастасия Андреевна Зырянова, аспирант кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; младший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0009-0008-1435-8210, AuthorID 1123090. *E-mail: agata.lis.00@mail.ru*

Олег Александрович Шевкунов, специалист по работе с РИНЦ, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-2975-0633, AuthorID 956848. *E-mail: Xoshyn@gmail.com*

Андрей Александрович Ярышкин, научный сотрудник, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; старший научный сотрудник, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-9215-5952, AuthorID: 777264. *E-mail: x2580x@yandex.ru*

References

1. Smirnov L. P. 4. ATP-binding cassette transporters (ABC). Nomenclature, structure, molecular diversity, function, contribution to the functioning of the xenobiotics transformation system (a review). *Transactions of the Karelian Research Centre of RAS*. 2020; 1: 5–19. DOI: 10.17076/eb1044. (In Russ.)
2. Ekkhorutomven O. T., Medvedev G. F., Chernikova V. A. The relationship between the duration of the dry period, milk production and reproductive ability of cows. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*. 2022; 2 (45): 8–13. (In Russ.)
3. Minakova N. Genomic technologies for animal husbandry. *Science and Innovations*. 2021; 8 (222): 4–8. (In Russ.)
4. Razhina E. V. Methods of DNA testing in cattle breeding. *Biotechnology Bulletin* [Internet] 2018 [cited 2024 Nov 13]; 2 (16). Available from: https://bio-urgau.ru/images/02_2018/Razhina_EV.pdf. (In Russ.)
5. Sermyagin A. A., Zinovyeva N. A. Genetic and genomic prediction of breeding values of Russian black-and-white and Holstein bulls. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019; 12: 77–82. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11216. (In Russ.)
6. Sermyagin A. A., Bykova O. A., Loretts O. G., Kostyunina O. V., Zinovyeva N. A. Genomic variability assess for breeding traits in holsteinized russian black-and-white cattle using GWAS analysis and ROH patterns. *Agricultural Biology*. 2020; 2: 257–274. DOI: 10.15389/agrobio.2020.2.257rus. (In Russ.)
7. Zinovyeva N. A. Fertility haplotypes in Holstein cattle. *Agricultural Biology*. 2016; 52 (4): 423–435. DOI: 10.15389/agrobio.2016.4.423rus. (In Russ.)
8. Tarasova E. I., Notova E. I. Gene-markers of the productive characteristics of dairy cattle (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020; 3: 58–80. DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-58. (In Russ.)
9. Filipenkova G. V. Use of DNA markers in the selection process in dairy cattle breeding. *Bulletin of the Russian State Agrarian Correspondence University*. 2020; 34 (39): 27–30. (In Russ.)
10. Yakovlev A. F. Contribution of haplotypes in the formation of breeding and reproductive traits of animals. *Problems of Productive Animal Biology*. 2019; 2: 5–18. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.2.5–18. (In Russ.)
11. Rocha R. F. B., Garcia A.O., Otto P. I., da Silva M. V. B., Martins M. F., Machado M. A., Panetto J. C. C., Guimarães S. E. F. Runs of homozygosity and signatures of selection for number of oocytes and embryos in the Gir Indicine cattle. *Mammalian Genome*. 2023; 34: 482–496. DOI: 10.1007/s00335-023-09989-w.
12. Ferdosi M. H., Henshall J., Tier B. Study of the optimum haplotype length to build genomic relationship matrices. *Genetics Selection Evolution*. 2016; 48: 75. DOI: 10.1186/s12711-016-0253-6.
13. Gridin V. F., Gridina S. L., Leshonok O. I., Tkachenko I. V., Sevostyanov M. Yu., Mymrin S. V., Tkachuk O. A. *Efficiency of work of breeding organizations with black-and-white cattle in the Ural region*. Ekaterinburg: Dzhi Laym, 2021. 116 p. (In Russ.)
14. Guarini A. R., Lourenco D. A. L., Brito L. F., Sargolzaei M., Baes C. F., Miglior F., Misztal I., Schenkel F. S. Genetics and genomics of reproductive disorders in Canadian Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102 (2): 1341–1353. DOI: 10.3168/jds.2018-15038.
15. Wells C. R. SAS for Mixed Models: Introduction and Basic Applications. *The American Statistician*. 2021; 75 (1). DOI: 10.1080/00031305.2021.1907997.
16. Huang M., Liu X., Zhou Y., Summers R. M., Zhang Z. BLINK: a package for the next level of genome-wide association studies with both individuals and markers in the millions. *Gigascience*. 2019; 91: 399–404. DOI: 10.1093/gigascience/giy154.

17. Kipp S., Segelke D., Reinhardt F., Reents R., Schierenbeck S., Wurmser C., Pausch H., Fries R., Thaller G., Tetens J., Pott J., Piechotta M., Grünberg W. A new Holstein haplotype affecting calf survival. *Interbull Buletin*. 2015; 49: 49–53.

18. VanRaden M., Olson K. M., Null D. J., Hutchison J. L. Harmful recessive effects on fertility detected by absence of homozygous haplotypes. *Journal of Dairy Science*. 2011; 94 (12): 6153–6161. DOI: 10.3168/JDS.2011-4624.

Authors' information:

Olga A. Bykova, doctor of agricultural sciences, professor of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-0753-1539, AuthorID 663503.

E-mail: olbyk75@mail.ru

Olga V. Kostyunina, doctor of biological sciences, professor of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8206-3221, AuthorID 147325.

E-mail: kostolan@yandex.ru

Anastasiya A. Zyryanova, graduate student of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; junior research, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0009-0008-1435-8210, AuthorID 1123090. *E-mail: agata.lis.00@mail.ru*

Oleg A. Shevkunov, RSCI specialist, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-2975-0633, AuthorID 956848. *E-mail: Xoshyn@gmail.com*

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

Хозяйственно ценные признаки сортов сливы повожской селекции

А. А. Гуляева✉, Т. Н. Берлова, А. А. Галькова, И. Н. Ефремов

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия

✉E-mail: gulyaeva@orel.vniispk.ru

Аннотация. Представлены результаты многолетнего исследования хозяйственно-биологических показателей повожских сортов сливы в условиях Орловской области. Исследования проведены в 2002–2015 гг. Объектами исследований были 6 сортов сливы различного происхождения и один контрольный сорт. **Целью** исследований являлось изучение хозяйственно-биологических показателей сортов сливы в Орловской области с учетом погодно-климатических особенностей зимнего периода. **Методы.** Исследования проводились по «Программе и методике селекции плодовых, ягодных и орехоплодных культур». Статистическую обработку полученных данных провели согласно методике Б. А. Доспехова. **Научная новизна** исследований заключается в выявленных закономерностях и особенностях проявления хозяйственно-биологических показателей сортов сливы в нестабильных условиях среды и воздействии стрессовых факторов. **Результаты.** Выявлено, что сорта сливы Дубовчанка, Татарская желтая, Волгоградская, Волжанка, Золотое руно положительно показали себя по проявлению показателей продуктивности (степень цветения и плодоношения, а также урожайность). Сорта сливы Волгоградская и Волжанка проявили устойчивость к кластероспориозу и монилиозу на уровне выше контроля, кроме того, сорт Дубовчанка поражен кластероспориозом меньше контроля. При этом все изучаемые сорта не имели поражения болезнью выше 2,0 балла, что позволяет отнести их к категории высокоустойчивых. Сорта сортов Теньковская голубка, Дубовчанка, Золотое руно проявили в ходе исследований высокую зимостойкость в полевых условиях. Кроме того, практически все изучаемые сорта имели высокий уровень общего состояния растений. Выяснилось, что уровень подмерзания растений сливы имеет высокую отрицательную корреляцию со средней температурой зимы и суммой температур в зимний период.

Ключевые слова: слива, селекция, сортоизучение, цветение, плодоношение, кластероспориоз, монилиоз, зимостойкость, общее состояние

Для цитирования: Гуляева А. А., Берлова Т. Н., Галькова А. А., Ефремов И. Н. Хозяйственно ценные признаки сортов сливы повожской селекции // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 217–229. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-217-229>.

Дата поступления статьи: 08.05.2024, **дата рецензирования:** 16.09.2024, **дата принятия:** 25.12.2024.

Economically valuable traits of plum varieties of Volga selection

A. A. Gulyaeva✉, T. N. Berlova, A. A. Galkova, I. N. Efremov

All-Russian Research Institute for Breeding Fruit Crops, Zhilina village, Oryol region, Russia

✉E-mail: gulyaeva@orel.vniispk.ru

Abstract. The results of a long-term study of economic and biological indicators of Volga plum varieties in the conditions of the Oryol region are presented. The studies were conducted in 2002–2015. The objects of research were 6 plum varieties of different origins and one control variety. **The purpose** of the research was to study the economic and biological indicators of plum varieties in the Oryol region, taking into account the weather and

climatic characteristics of the winter period. **Methods.** The research was carried out according to the “Program and methodology for the selection of fruit, berry and nut crops”. Statistical processing of the obtained data was carried out according to the method of B. A. Dosepov. **The scientific novelty** of the research lies in the identified patterns and features of the manifestation of economic and biological indicators of plum varieties under unstable environmental conditions and the influence of stress factors. **Results.** According to the research results, it was revealed that the plum varieties Dubovchanka, Tatarskaya Zheltaya, Volgogradskaya, Volzhanka, Zolotoe Runo showed positive results in terms of productivity indicators (the degree of flowering and fruiting, as well as yield). The plum varieties Volgogradskaya and Volzhanka showed resistance to clusterosporiosis and moniliosis at a level higher than the control, in addition, the Dubovchanka variety was affected by clusterosporiosis less than the control. At the same time, all the studied varieties did not have disease damage higher than 2.0 points, which allows them to be classified as highly resistant. During research, the Ten’kovskaya Golubka, Dubovchanka, and Zolotoe Runo varieties showed high winter hardiness in field conditions. In addition, almost all studied varieties had a high level of general plant condition. It turned out that the level of freezing of plum plants has a high level of negative correlation with the average winter temperature and the sum of temperatures in winter.

Keywords: plum, selection, variety study, flowering, fruiting, clusterosporia blight, moniliosis, winter hardiness, general condition

For citation: Gulyaeva A. A., Berlova T. N., Galkova A. A., Efremov I. N. Economically valuable traits of plum varieties of Volga selection. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 217–229. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-217-229>. (In Russ.)

Date of receipt of the article: 08.05.2024, **date of review:** 16.09.2024, **date of acceptance:** 25.12.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Плоды – это кладезь полезных веществ, которые важны для здоровья человека. Они содержат биологически активные соединения, способные замедлять процессы старения и укрепить здоровье человека. Исследования показали, что диета, богатая плодами, снижает риск развития возрастных заболеваний. Это связано с тем, что свежие продукты содержат множество питательных веществ, которые благотворно влияют на организм [1].

Слива – одна из самых известных и распространенных плодовых косточковых культур семейства розоцветные. Плоды данной культуры используются в пищу и в свежем виде, и после технической переработки. Биохимический состав плодов сливы представлен сахарами и органическими кислотами, а также такими веществами, как витамины С, Р, В₂, В₉, кумарины, железо и др. [2]. Плоды сливы низкокалорийны, в них содержится большое количество различных химических веществ, таких как легкоусвояемые сахара, органические кислоты, микроэлементы, витамины, ферменты и пр. Хорошо известно об общем полезном действии плодов сливы на здоровье человека. Они насыщают организм кальцием, укрепляющим костную систему, снимают воспаление, оказывают антиоксидантный эффект, улучшают память, активируют мыслительную способность и пр. Данные полезные для здоровья качества обеспечены за счет антиоксидантного действия сливы, обусловленного высоким содержанием фенольных веществ.

Сливы – это хорошо известные плодовые растения, которые произрастают по всему миру. Они

могут как быть дикорастущими, так и возделываться в промышленных условиях. В Китае, США, Японии и европейских странах сливы культивируют уже много веков [3]. В промышленном садоводстве широко используются два вида слив: слива домашняя (она же европейская, или чернослив) (*Prunus domestica* L.) и слива китайская (она же азиатская, или японская) (*Prunus salicina*). Оба вида принадлежат к семейству розоцветных и имеют богатую историю выращивания – от 2000 до 4000 лет [4].

Сливы пользуются большой популярностью у потребителей благодаря своему привлекательному внешнему виду, контрастному вкусу и сочности. Они отличаются широким разнообразием интенсивности вкуса, аромата, окраски, формы и размера [5]. В последнее время сливы также ценятся за своинутрицевитические свойства и высокое содержание клетчатки и антиоксидантов [6].

Сливы играют важную роль в объединении основных подродов рода *Prunus*, который отличается высоким разнообразием и неоднородностью. *Prunus* – это сложный и космополитический род семейства розоцветные подсемейства *Amygdaloideae* (или *Prunoideae*), возникший в Восточной Азии около 61 миллиона лет назад. Дальнейшее развитие этого рода было во многом связано с отдаленными скрещиваниями, осуществляемыми, скорее всего, во время глобального потепления в раннем эоцене. Данный род включает в себя все виды косточковых культур, которые широко распространены по всему миру и имеют огромное экономическое значение. Также в него входит несколько диких видов, общее количество которых превышает 250. Это листовен-

ные и вечнозеленые растения. Среди них есть культуры, получившие распространение в промышленном и любительском садоводстве. Их возделывают чаще всего для получения плодов, а также в декоративных целях. Их репродуктивные органы типичны для плодовых: завязь находится в верхней части цветка, а плод представляет собой костянку, содержащую твердый внутренний слой, то есть косточку. Кроме того, они демонстрируют общий геном с базовым числом хромосом, равным 8 [7].

Род подразделяется на ряд подродов:

1) *Amygdalus*, включающий в себя миндаль (*P. dulcis* D.A. Webb) и персик (*P. persica* (L.) Batsch);

2) *Cerasus*, куда входят черешня (*P. avium* L.) и вишня (*P. cerasus* L.);

3) *Prunus*, который состоит из *Armyca* (Lam.) Koch. (абрикосы), *Prunocerasus* Koehne (североамериканские сливы) и *Prunus* (евразийские сливы). К евразийским сливам относятся гексаплоидные сливы домашние (европейские) (*P. Domestica* L.) и диплоидные сливы китайские (японские, азиатские) (*P. salicina* Lindl.).

В то время как *Prunus* и *Amygdalus* рассматривались как единый род, два других подрода – *Padus* (листопадная черемуха) и *Laurocerasus* (лавровишня) – считались более обособленными. Между диплоидными и гексаплоидными видами сливы есть репродуктивные барьеры, но представители одного подрода часто могут скрещиваться. Также возможна гибридизация между подвидами *Amygdalus* и *Prunus*. Из-за этой сложности, а также из-за повторяющихся случаев гибридизации и/или аллополиплоидии таксономия до недавнего времени оставалась довольно запутанной. Филогенетические исследования с использованием как ядерных, так и хлоропластных подходов недавно выявили то, что эволюционная история данного рода крайне сложна и неоднозначна, а в подродах и между ними есть существенные противоречия в их отношениях [8]. Благодаря расширению генетических исследований этого рода удалось выявить ряд полногеномных последовательностей, которые позволяют лучше определить особенности генетики этих видов и составляющих их родов. Например, были изучены геномы *Prunus salicina* сортов Sanyueli и Zhongli, *Prunus domestica* сортов Honey Sweet и *Prunus mira*.

Кроме двух основных видов сливы, получивших достаточно широкое распространение в Евразии (*P. domestica* и *P. salicina*), существует ряд менее распространенных, но все же достаточно хорошо известных видов сливы. Некоторые из них являются мелкоплодными и используются в качестве подвоев или привоев. Одним из таких видов является миробалан, или алыча (*P. cerasifera* Ehrh.). Ее часто используют в качестве подвоя для сливы: например, для сортов Иштара, Джаспи, Джулиор, Цитация, Марианна [9]. Молекулярные исследования показывают, что большинство представителей *Prunus*

имеют сложное происхождение. Археоботанические свидетельства и упоминания в исторических и литературных текстах подтверждают гипотезу о том, что эти виды были одомашнены и использовались в Европе и на других континентах уже очень давно. Вероятно, именно поэтому у них есть общие черты. Также известно, что некоторые виды сливы могут гибридизироваться естественным или искусственным путем. Особенно интересны гибриды между *P. salicina* или *P. cerasifera* и *P. Armeniaca* или *P. tume*, которые более известны как плумкоты. Хотя в России их возделывание пока еще не получило широкого распространения, их производственный потенциал довольно высок, особенно в южных регионах России. Плоды плумкота обладают привлекательным, товарным внешним видом и высокими вкусовыми качествами. Кроме того, набирают популярность и новые гибриды с участием плумкота в качестве одной из родительских форм, в частности, плуоты, априумы, пакотумы и нектаплумы. Помимо основных своих преимуществ, эти культуры также имеют высокиенутрицевтические свойства.

Среди всего разнообразия видов *Prunus* активно проводятся межвидовые скрещивания, однако не все из этих скрещиваний позволяют получить потомство, что связано в первую очередь с генетической неоднородностью представителей данного рода. Завязываемость, как правило, измеряется в процентах от количества завязавшихся плодов. Такие результаты указывают на то, что между этими видами существуют различные таксономические связи. Например, у *P. cerasifera* была обнаружена самая высокая совместимость с большинством других изученных видов *Prunus*. А при скрещивании *P. domestica* (слива домашняя) с *P. armeniaca* (абрикос) была зафиксирована гораздо лучшая завязываемость плодов по сравнению с *P. salicina* (слива китайская). На основе этих результатов были предложены образцы нескольких родственных сливам видов в качестве потенциальных доноров полезных признаков для деревьев и плодов. Эти виды могут быть использованы в селекционных программах для улучшения характеристик деревьев и плодов.

В сфере сельского хозяйства развитие сливовой отрасли возможно при условии, что ее ассортимент будет удовлетворять как производителей, так и потребителей плодоовощной продукции. В последние годы наблюдается рост спроса на крупноплодные сорта слив, вес которых составляет 100 граммов и более. Эти сорта отличаются плотной мякотью, длительным сроком хранения и высокими вкусовыми качествами [10].

В наши дни большинство возделываемых сортов сливы не сильно отличаются друг от друга. Они демонстрируют относительно небольшую генетическую изменчивость внутри вида [11], хотя и более широкую, чем другие распространенные виды *Prunus*. Это связано с тем, что в процессе длитель-

ного филогенеза в их генотипе появились гены от близких им видов. Известно, что диплоидные сливы, возделываемые в промышленном производстве в настоящее время, обладают сходным с миндалем уровнем генетического разнообразия, однако этот уровень несколько ниже, чем у абрикоса или персика. Это может быть связано с такими факторами, как процесс одомашнивания, сопровождаемый клональным размножением; использование селекционерами ограниченного числа родительских форм одинакового происхождения; стандартизация и гомогенизация, которые необходимы для расширения производства и реализации продукции, полученной в промышленных условиях. Все это приводит к формированию относительно узкого генетического разнообразия [12]. В результате исчезают или теряют распространенность старые сорта, генетическая база сужается, что ведет к инбридинговой депрессии. Это снижает потенциал селекционного прогресса и делает растения уязвимее к патогенам и изменениям окружающей среды.

Особый интерес представляют случаи, когда большая часть продукции формируется от нескольких сортов сливы или даже от одного сорта, как, например, Улучшенный французский в Калифорнии. Это повышает риск уязвимости всей системы возделывания сливы, поскольку возрастает зависимость от одного сорта [13]. Поэтому есть острая необходимость сохранить как можно больше существующих сортов сливы и вывести новые жизнеспособные, хорошо адаптированные к различным климатическим условиям и обладающие благоприятными качественными и питательными характеристиками. Такие сорта ожидаются и уже получают в результате программ селекции, которые проводятся в разных странах [14], в т. ч. и в России, однако существует острая необходимость продолжать и углублять исследования в этом направлении.

Существует мнение, что слива домашняя, скорее всего, представляет собой межвидовой гибрид сливы алычи (2×) и терна (4×). Этот гибрид был завезен в Европу после длительного периода возделывания и селекции в горных районах Кавказа, между Черным и Каспийским морями, где также произрастали предполагаемые предки домашней сливы. Однако стоит отметить, что терн сам по себе является межвидовым гибридом алычи и второго, пока неизвестного, предка рода слива. Таким образом, происхождение домашней сливы связано с комплексными межвидовыми гибридами, а также потенциальным влиянием иных евразийских слив. Выращивание сливы домашней на протяжении столетий велось в Европе. Скорее всего, слива успешно возделывалась еще в ранних европейских аграрных сообществах. Это могло быть связано с тем, что сливу можно успешно хранить и употреблять в пищу после высушивания. Впервые в источниках слива домашняя была упомянута примерно в VII

веке до н. э. Кроме того, она упоминается в трудах Вергилия, Катона, Овидия, Плиния и Колумеллы.

Домашняя слива в отличие от китайской растет в умеренных и прохладных регионах. Деревья этого вида растут вертикально, медленно плодоносят и имеют много смешанных побегов. Сорта домашней сливы в основном самоплодны, но перекрестное опыление также имеет большое значение для них и активно используется в селекционных целях. Большое количество ульев в саду во время цветения может обеспечить достаточное опыление. Однако слишком обильный урожай без контроля с помощью обрезки или прореживания может привести к повторному плодоношению, ослаблению дерева, повышению его восприимчивости к низким температурам зимой [15]. Цветы домашней сливы имеют белые лепестки и обычно появляются из отдельных бутонов. Как правило, они цветут в первой половине марта на юге Европы и с конца марта до конца апреля в остальной части Европы. Плоды созревают с июня до октября, но большинство сортов созревает в июле – августе. У большей части сортов форма плодов яйцевидная или эллипсоидная. Домашней сливе свойственно большое разнообразие окраски плодов и мякоти. Так, плоды домашней сливы бывают окрашены в цвета от черного до желтого, а мякоть – от оранжевого до белого. Косточки плодов, как правило, легко отделяются от мякоти. Плодоножки не слишком прочно прикреплены к ветвям и плодам, что упрощает их машинную уборку, в отличие от сортов китайской сливы, которую собирают чаще всего вручную. Сорта домашней сливы обычно более ароматные и содержат больше растворимых сухих веществ, чем сорта китайской сливы. Их можно употреблять в свежем виде, консервировать, сушить или перерабатывать в сок, использовать для приготовления варенья, спиртных напитков, таких как сливовица, туйца и палинка, а также для хлебобулочных изделий. В Средней и Восточной Европе очень популярны универсальные сорта европейской сливы, такие как Чернослив итальянский и Чернослив немецкий. Они предназначены для употребления в свежем виде, консервации, сушки и переработки в различные продукты [16].

Термин «чернослив», который иногда используется для обозначения европейских сортов слив, более точно описывает данную помологическую группу. Эталон для такой группы служит сорт Стэнли с удлиненными красноватыми или синими плодами. Они отличаются высоким содержанием сахара (до 22–24 °Brix), а их масса составляет от 30 до 40 граммов. Мякоть этих слив очень твердая, что делает их идеальными для сушки. Однако некоторые из распространенных сортов, такие как Президент, Стэнли, Рейн Клод, считаются пригодными и для употребления в свежем виде, и для сушки. Иными словами, они являются сортами двойного назначения.

Слива выделяется высокой продуктивностью. В условиях интенсивного возделывания урожайность данной культуры может превысить 30 т/га при сохранении высоких вкусовых и консервных качеств плодов. В России сливой занято около 5 % всех плодовых садов. Как правило, речь идет о полновозрастных садах с низкой урожайностью. Чтобы исправить положение, имеет смысл проводить активное сортоизучение сливы с целью обнаружения наиболее подходящих сортов как для промышленного производства, так и для дальнейшей селекции.

В средней зоне плодородства активно осуществляется сортомена сливы при помощи высокопродуктивных, адаптивных к региональным погодно-климатическим условиям сортов с высоким качеством плодов [17]. Меняющиеся требования к возделыванию плодовых культур, в т. ч. и сливы, ведут к пересмотру принципов подбора сортов для интенсивных садов [18]. Поэтому большое значение получает длительное исследование генотипов сливы, как и других косточковых, которое позволяет оценить не только хозяйственно ценные свойства сортов, но и степень их изменчивости на протяжении продолжительного периода времени. Высокая степень устойчивости к болезням, зимостойкости, продуктивности говорит о высокой степени адаптивности и пластичности сортов сливы, как и любой другой косточковой культуры. В этой связи была поставлена цель дать комплексную оценку хозяйственно ценных показателей сортов сливы биоресурсной коллекции ВНИИСПК.

Методология и методы исследования (Methods)

Основной методологии исследований был системный анализ и комплексная оценка перспективных сортов сливы различного эколого-географического происхождения в меняющихся погодных условиях региона. В качестве объектов исследования использовались сорта сливы биоресурсной коллекции ВНИИСПК поволжской селекции:

1. **Волгоградская** (Ранняя синяя × Тернослив летний). Оригинатор – Дубовский опорный пункт Нижневолжского НИИСХ.
2. **Волжанка** (Зюзинская – свободное опыление). Оригинатор – Татарский НИИСХ.
3. **Дубовчанка** (Скороспелка красная × Персиковая). Оригинатор – Дубовский опорный пункт Нижневолжского НИИСХ.
4. **Золотое руно** (Скороспелка красная × Виктория). Оригинатор – Дубовский опорный пункт Нижневолжского НИИСХ.
5. **Татарская желтая** (Ренклюд желтый – свободное опыление). Оригинатор – Татарский НИИСХ.
6. **Теньковская голубка** (Зюзинская – свободное опыление). Оригинатор – Татарский НИИСХ.
7. **Евразия 21** – контрольный сорт (Лакресцент – свободное опыление). Оригинатор – ВГАУ.

Исследования проводились в 2002–2015 годах на базе садовых насаждений лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур ВНИИСПК. Опытные растения были высажены весной 2001 года. Погодные условия зимних периодов в годы исследований представлены в таблице 1.

Все исследования проводили по «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» [19]. Оценка зимостойкости объектов исследования проводилась по 5-балльной шкале, где 0 – подмерзания нет, а 5 – подмерзание крайне сильное, вплоть до полной гибели дерева.

Оценка устойчивости объектов исследования к грибным заболеваниям проводилась согласно «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» [19]. Визуальный учет поражаемости сортов клястероспориозом проводили по 5-балльной шкале, где 0 – поражения нет, а 5 – поражено более 50 % листьев (плодов), на листьях внутри пятен выпадает растительная ткань, пятен много, они сливаются.

Оценка поражаемости плодов монилиозом проводилась по 5-балльной шкале, где 0 – поражения нет, а 5 – гнилью поражено от 50 % поверхности плодов, на пораженных участках хорошо различимо сильное спороношение гриба.

Степень цветения определяли по 5-балльной шкале, где 5 – обильное цветение, а 1 – крайне слабое цветение (единичные цветки). Полное отсутствие цветения отмечали нулем.

Степень плодоношения определяли по 5-балльной шкале, где 5 – обильное плодоношение, 0 – нет плодов.

Статистическая обработка полученных данных проведена по методике Б. М. Доспехова [20] и методам дисперсионного и корреляционного анализа с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Результаты (Results)

Цветение – важная фенофаза для любой плодовой культуры, в т. ч. и для сливы. Само по себе обильное цветение еще не гарантирует высокой урожайности, поскольку опыления цветков может не произойти. Такое может иметь место, например, если во время опыления стоит холодная ветреная погода, в которую практически не летают пчелы. Кроме того, дождливая погода во время цветения также мешает полноценному опылению. Значительная часть опыленных завязей позже опадает как по естественным причинам, так и ввиду различных погодных аномалий (град, засуха и пр.). Тем не менее определение степени цветения плодовых растений, в т. ч. сливы, является важным показателем, определяющим продуктивность того или иного сорта. Плодоношение также важно для развития растений [21]. Данный показатель более полно отражает особенности продуктивности сорта, поэтому его исследование име-

Таблица 1

Погодные условия зимних периодов в Орловской области, 2002–2015 гг.

Год	Средняя температура зимы, °С	Сумма температур зимы, °С	Количество осадков, мм
2002–2003	–6,5	–985,6	144,1
2003–2004	–2,1	–318,5	171,6
2004–2005	–4,3	–628,6	157,9
2005–2006	–6,5	–962,6	197,0
2006–2007	–2,4	–339,7	184,7
2007–2008	–2,6	–397,7	147,5
2008–2009	–2,8	–426,4	183,4
2009–2010	–6,0	–905,0	173,6
2010–2011	–5,4	–803,3	211,9
2011–2012	–5,2	–777,5	185,1
2012–2013	–5,8	–885,9	205,0
2013–2014	–0,6	–79,9	99,9
2014–2015	–3,7	–563,1	105,7

Table 1

Weather conditions of winter periods in the Oryol region, 2002–2015

Year	Average winter temperature, °C	Sum of winter temperatures, °C	Precipitation amount, mm
2002–2003	–6.5	–985.6	144.1
2003–2004	–2.1	–318.5	171.6
2004–2005	–4.3	–628.6	157.9
2005–2006	–6.5	–962.6	197.0
2006–2007	–2.4	–339.7	184.7
2007–2008	–2.6	–397.7	147.5
2008–2009	–2.8	–426.4	183.4
2009–2010	–6.0	–905.0	173.6
2010–2011	–5.4	–803.3	211.9
2011–2012	–5.2	–777.5	185.1
2012–2013	–5.8	–885.9	205.0
2013–2014	–0.6	–79.9	99.9
2014–2015	–3.7	–563.1	105.7

ет большое значение при сортоизучении. Чем выше степень плодоношения сорта, тем, как правило, бывает выше и его урожайность. Уровень плодоношения – важный показатель продуктивности сорта, прямо связанный с его урожайностью. Несмотря на то что обильное плодоношение довольно часто ведет к измельчанию массы плода, в селекции принято ориентироваться на повышение степени продуктивности. Урожайность же – это комплексный интегративный признак, обусловленный генетически. Тем не менее практическое проявление данного признака зависит от большого количества внешних и внутренних факторов – климатических, физиологических, почвенных, агротехнических и пр. Крайне сложно добиться оптимального сочетания всех этих факторов, особенно при возделывании сливы в промышленных условиях. Чтобы до определенной степени снизить влияние этих факторов, необходимо повышать потенциал продуктивности сливы селекционным путем. Практически любое направление селекции растений, в т. ч. и сливы, так или

иначе в итоге нацелено на повышение урожайности культуры.

Средняя степень цветения у контрольного сорта Евразия 21 за весь период исследований составил 1,80 балла. Данный показатель был превышен сортами Дубовчанка (3,14 балла), Татарская желтая (2,99 балла), Волгоградская (2,94 балла), Волжанка (2,86 балла), Золотое руно (2,36 балла). У сорта Теньковская голубка степень цветения была ниже контрольного показателя и составила 1,74 балла (таблица 2).

Среднегодовой показатель плодоношения у контрольного сорта Евразия 21 составил 0,57 балла. Данный показатель был превышен всеми изучаемыми сортами и колебался в пределах от 1,76 до 1,14 балла (таблица 2).

В среднем за период исследований у контрольного сорта Евразия 21 урожайность составила 2,4 кг с дерева, что является самым низким показателем среди всех изучаемых сортов. Все остальные сорта проявили урожайность выше контроля. Наи-

высшая же урожайность выявлена у сортов Золотое руно и Теньковская голубка, где она составила по 7,0 кг/дер (таблица 2).

Был проведен корреляционный анализ влияния погодно-климатических условий на показатели продуктивности сортов сливы. Так, отмечена средняя положительная корреляция между средней температурой зимы и степенью цветения, а также между суммой температур зимы и степенью цветения ($r = 0,45$ и $0,44$ соответственно); тогда как уровень корреляции между суммой осадков и цветением был низким отрицательным ($r = -0,17$). Аналогичная ситуация отмечена и с уровнем плодоношения: оно на среднем положительном уровне коррелирует со средней температурой зимы и суммой зимних температур ($r = 0,39$ и $0,38$ соответственно); тогда как корреляция этого показателя с суммой осадков зимой – низкая отрицательная ($r = -0,29$). Корреляция между урожайностью сортов сливы и суммой зимних температур и составляет 0,24, средней зимней температурой равна 0,25, суммой осадков за зиму равна $-0,37$.

Значимое направление в селекции растений – получение сортов, высокоустойчивых к болезням. Клястероспориоз представляет собой очень вредоносное заболевание сливы (наряду с сопутствующей плодовой гнилью), вызываемое фитопатогенным грибом *Wilsonomyces carpophilus* (Lev.). Эта вредоносная болезнь косточковых культур поража-

ет практически все надземные части косточковых деревьев, образуя на плодах шероховатые участки, вызывая поражение почек и ветвей, фитофтороз побегов. Однако наиболее визуально заметным повреждением являются отверстия в листьях: маленькие кругловатые кусочки больной ткани листа сначала отмирают, а затем выпадают в результате некроза под действием возбудителя. Болезнь снижает интенсивность фотосинтеза из-за отмирания и опадения листьев, что ведет к серьезному ослаблению деревьев и снижению урожайности плодов, а также падению качества полученного урожая. Кроме того, преждевременная дефолиация деревьев ведет к несвоевременному прохождению растениями закалки перед зимним периодом. Растения в этом случае могут уйти в зиму неподготовленными, не сформировавшими необходимый запас питательных элементов, осмолитов и прочих защитных веществ, которые позволили бы деревьям успешно перенести снижение температуры зимой до отрицательных значений. В результате деревья сильно подмерзают, вымерзают полностью или вступают в следующий период вегетации слишком ослабленными и не могут сформировать высокий и качественный урожай. Ослабленные деревья становятся более восприимчивыми к негативному влиянию других биотических и абиотических факторов, сильнее поражаются болезнями и вредителями. В отдельных случаях дерево может погибнуть.

Таблица 2
Степень цветения и плодоношения сортов сливы, 2002–2015 годы

Сорт	Цветение, балл	Плодоношение, балл	Урожайность, кг/дер.
Волгоградская	2,94	1,49	4,5
Волжанка	2,86	1,44	5,8
Дубовчанка	3,14	1,76	5,0
Золотое руно	2,36	1,71	7,0
Татарская желтая	2,99	1,29	5,6
Теньковская голубка	1,74	1,14	7,0
Евразия 21 (к)	1,80	0,57	2,4
Среднее	2,55	1,34	5,3
НСР ₀₅	0,67	$F_t > F_\phi$	$F_t > F_\phi$

Table 2
Degree of flowering and fruiting of plum varieties, 2002–2015

Variety	Flowering, point	Fruiting, point	Productivity, kg/tree
Volgogradskaya	2.94	1.49	4.5
Volzhanka	2.86	1.44	5.8
Dubovchanka	3.14	1.76	5.0
Zolotoye Runo	2.36	1.71	7.0
Tatarskaya Zheltaya	2.99	1.29	5.6
Ten'kovskaya Golubka	1.74	1.14	7.0
Evraziya 21 (c)	1.80	0.57	2.4
Average	2.55	1.34	5.3
LSD ₀₅	0.67	$F_t > F_f$	$F_t > F_f$

Таблица 3
Степень поражения кластероспориозом и монилиозом сортов сливы, 2002–2015 годы

Сорт	Кластероспориоз, балл	Монилиоз, балл
Волгоградская	0,64	0,01
Волжанка	0,74	0,00
Дубовчанка	0,64	0,09
Золотое руно	0,79	0,14
Татарская желтая	0,79	0,14
Теньковская голубка	0,85	0,16
Евразия 21 (к)	0,79	0,07
Среднее	0,75	0,09
НСР ₀₅	$F_{\tau} > F_{\phi}$	$F_{\tau} > F_{\phi}$

Table 3
Degree of damage by clusterosporiosis and moniliosis of plum varieties, 2002–2015

Variety	Clusterosporiosis, point	Moniliosis, point
<i>Volgogradskaya</i>	0.64	0.01
<i>Volzhanka</i>	0.74	0.00
<i>Dubovchanka</i>	0.64	0.09
<i>Zolotoye Runo</i>	0.79	0.14
<i>Tatarskaya Zheltaya</i>	0.79	0.14
<i>Tenkovskaya Golubka</i>	0.85	0.16
<i>Evrasiya 21 (c)</i>	0.79	0.07
<i>Average</i>	0.75	0.09
LSD ₀₅	$F_i > F_f$	$F_i > F_f$

Таблица 4
Степень подмерзания и общее состояние сортов сливы, 2002–2015 годы

Сорт	Подмерзание, балл	Общее состояние, балл
Волгоградская	0,56	4,24
Волжанка	0,67	4,22
Дубовчанка	0,38	4,08
Золотое руно	0,36	4,43
Татарская желтая	0,84	4,26
Теньковская голубка	0,42	3,94
Евразия 21 (к)	0,79	2,71
Среднее	0,57	3,98
НСР ₀₅	$F_{\tau} > F_{\phi}$	0,51

Table 4
The degree of freezing and the general condition of plum varieties, 2002–2015

Variety	Freezing, point	General condition, point
<i>Volgogradskaya</i>	0.56	4.24
<i>Volzhanka</i>	0.67	4.22
<i>Dubovchanka</i>	0.38	4.08
<i>Zolotoye Runo</i>	0.36	4.43
<i>Tatarskaya Zheltaya</i>	0.84	4.26
<i>Ten'kovskaya Golubka</i>	0.42	3.94
<i>Evrasiya 21 (c)</i>	0.79	2.71
<i>Average</i>	0.57	3.98
LSD ₀₅	$F_m > F_{\phi}$	0.51

Кластероспориоз поражает побеги, листву, плоды. На листьях появляются красноватые пятна с хлоротическими краями. Они активно расширяются, обретают коричневый цвет, отмирают, формируя

сквозные дыры на листьях. Кластероспориоз поражает сливу во все фазы его развития – от появления первых листьев и до листопада.

Монилиоз поражает цветки, побеги, листья, плоды. Цветки похожи на обожженные, соцветия сохнут. На пораженных частях растения видны серые мелкие подушечки. На плодах болезнь проявляется как гниль, плоды мумифицируются. За вегетацию гриб создает несколько поколений конидий. Гриб зимует в склероциях на больных плодах, плодоножках, листьях, переносит морозы до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Грибница на плодах весной образует споры возбудителя [22]. Споры прорастают, попадая на цветок [23], а затем проникают сквозь него в ветвь. Мицелий гриба активно и быстро разрастается внутри ветви и закупоривает проводящие сосуды. По ним не поступают вода и питательные элементы, и ветка в результате довольно быстро усыхает. При повреждении плодов вредителями появляются ранки, куда также проникает гриб. Прохладная влажная погода при цветении усиливает развитие болезни. Кроме того, монилиоз активнее распространяется на загущенных посадках с неправильно сформированной кроной, на непрветриваемых участках. При поражении плодов болезнь распространяется, если плодов на дереве слишком много, и они близко и плотно соприкасаются друг с другом. Как и в случае с клястероспориозом, слишком сильное распространение болезни может привести к гибели растений. Кроме того, патоген способен поражать растения на протяжении нескольких лет.

Согласно нашим исследованиям, все изученные сорта сливы поволжской селекции проявили высокую степень устойчивости к грибным болезням в условиях Орловской области. У контрольного сорта Евразия 21 поражение клястероспориозом составило 0,79 балла. Более устойчивыми по сравнению с контролем были сорта Волгоградская и Дубовчанка (по 0,64 балла) и сорт Волжанка (0,74 балла). У сортов Золотое руно и Татарская желтая поражение клястероспориозом было на уровне контроля. У сорта Теньковская голубка поражение клястероспориозом было выше контроля и составило 0,85 балла, тем не менее сорт также является устойчивым. Степень поражения монилиозом у контрольного сорта Евразия 21 составила 0,07 балла. Более устойчивыми по сравнению с ним были сорта Волгоградская (0,01 балла), Волжанка (0,00 балла). Более высокая степень поражения монилиозом была отмечена у сортов Теньковская голубка (0,16 балла), Золотое руно и Татарская желтая (по 0,14 балла), Дубовчанка (0,09 балла). Тем не менее эти сорта также проявили себя устойчивыми (таблица 3).

Не удалось установить наличия высокой корреляции между погодно-климатическими условиями зимнего периода и уровнем устойчивостью сортов сливы к грибным болезням. Так, выявлен низкий отрицательный уровень корреляции поражения сортов сливы клястероспориозом со средней температурой зимы, с суммой зимних температур и с сум-

мой осадков за зиму ($r = -0,15; -0,15$ соответственно) и низкий положительный уровень корреляции с суммой осадков за зиму ($r = 0,02$). Также выявлен низкий положительный уровень корреляции поражения сортов сливы монилиозом со средней температурой зимы, с суммой зимних температур и с суммой осадков за зиму ($r = 0,14; 0,13; 0,03$ соответственно).

Определение степени устойчивости плодовых культур к неблагоприятным факторам зимнего периода – приоритетное направление селекции, т. к. слабая зимостойкость может устранить иные преимущества сортов. Если сорт обладает большим количеством положительных свойств, но при этом недостаточно зимостоек, он едва ли сможет получить большое распространение, особенно за пределами своего ареала. Кроме того, последствия низкой зимостойкости дерева ослабляют дерево, снижают урожайность и качество его плодов, делают растения более восприимчивым к неблагоприятному влиянию патогенов. Зимостойкость определяют и наследственные признаки сортов, и физиологическое состояние дерева, условия его произрастания. Зимостойкость плодового растения – непостоянный признак, который может меняться от года к году. Чтобы дерево любой плодовой культуры, в т. ч. и сливы, успешно прошло зимний период, оно должно должным образом пройти закалку. Процесс закаливания начинается после конца роста побегов во второй половине лета, когда прекращается рост побегов в верхней части дерева. В этот период постепенно снижается оводненность растения, при этом увеличивается содержание связанной воды, тогда как свободной воды в тканях растения становится меньше. Идет активное накопление сахаров, антиоксидантов, осмолитов, которые будут защищать растение от неблагоприятных факторов зимнего периода. Одновременно с этим осуществляется дифференциация генеративных почек, формирование в них зачатков их будущих частей – пыльника, тычинок и пр. Чем менее дифференцированными цветковые почки уйдут в зиму, тем выше будет их зимостойкость, что позволило бы сохранить урожай. Тем не менее практически всегда почки уходят в зиму в определенной степени дифференциации. Особенно важно для сливы, как и для других косточковых культур, сохранить зимостойкость во второй половине зимы, когда органический период покоя сменяется на вынужденный период покоя. В это время отсутствие вегетации сливы связано не с физиологическими, а с температурными факторами. Однако при повышении температуры во время оттепелей зимой и в начале весны в растениях начинаются определенные процессы, которые означают начало вегетации. В этот период растения сливы теряют зимостойкость особенно быстро, и следующее за оттепелью понижение температуры, осо-

бенно если оно будет слишком резким и сильным, может стать губительным как для одного отдельного дерева, так и для всего сорта. Сорт должен быть достаточно зимостоек, чтобы переносить подобные температурные перепады.

Согласно нашим исследованиям, все сорта, находившиеся в изучении, проявили высокую зимостойкость в полевых условиях. У контрольного сорта Евразия 21 степень подмерзания составила 0,79 балла, и все остальные сорта проявили себя как более зимостойкие. Наименьшее же подмерзание отмечено у сортов Теньковская голубка (0,42 балла), Дубовчанка (0,38 балла), Золотое руно (0,36 балла). Исключение стал лишь сорт Татарская желтая, у которого подмерзание составило 0,84 балла. Общее состояние дерева является важным показателем сравнительной хозяйственно-биологической оценки сортов, в котором отражается их реакция на условия произрастания и степень приспособленности к природным условиям конкретного района. У контрольного сорта Евразия 21 общее состояние было самым низким среди всех сортов и составило 2,71 балла. Наивысшие же показатели общего состояния отмечены у сорта Золотое руно (4,43 балла) (таблица 4).

Выявлен высокий уровень отрицательной корреляции между степенью подмерзания растений и

средней температурой зимы и суммой температур зимнего периода, в обоих случаях уровень корреляции составил $-0,62$. В то же время уровень корреляции подмерзания и суммы осадков за зиму составил $0,49$. По уровню общего состояния не отмечено высоких корреляционных зависимостей. Так, уровень корреляции данного показателя со средней температурой зимнего периода и суммой зимних температур составил соответственно $0,15$ и $0,17$. Уровень корреляции состояния растений с суммой осадков в зимний период был несколько выше и составил $0,47$.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По итогам выполненного исследования можно сделать вывод о том, что все изученные сорта сливы поволжской селекции проявили высокий уровень хозяйственно-биологических показателей в условиях Орловской области. Большинство из них является источником тех или иных хозяйственно ценных признаков, что обуславливает возможность использования их в селекции сливы на комплекс хозяйственно ценных признаков, а также говорит о перспективности их использования в промышленном садоводстве на территории региона. Наилучшим же образом по комплексу хозяйственно-биологических признаков проявили себя сорта Волгоградская, Волжанка, Дубовчанка.

Библиографический список

1. Faisal Z., Saeed F., Afzaal M., Akram N., Shah Y.A., Islam F., Ateeq H. Phytochemical Profile and Food Applications of Edible Flowers: A Comprehensive Treatise // Journal of Food Processing and Preservation. 2022. No. 46 (11). Article number E17061. DOI: 10.1111/jfpp.17061.
2. Ефремов И. Н., Гуляева А. А., Берлова Т. Н., Галькова А. А., Безлепкина Е. В. Влияние стимуляторов корнеобразования на биометрические показатели клоновых подвоев сливы // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2021. Т. 8, № 1-2. С. 32–34. DOI: 10.24411/2500-0454-2021-10110.
3. Wei X., Shen F., Zhang Q., Liu N., Zhang Y., Xu M. et al. Genetic diversity analysis of Chinese plum (*Prunus Salicina* L.) based on whole-genome resequencing // Tree Genetics & Genomes. 2021. Vol. 17. Article number 26. DOI: 10.1007/s11295-021-01506-x.
4. Fotiric Akšić M., Cerovic R., Hjeltnes S. H., Meland M. The Effective Pollination Period of European Plum (*Prunus domestica* L.) Cultivars in Western Norway // Horticulturae. 2022. Vol. 8. Article number 55. DOI: 10.3390/horticulturae8010055.
5. Taiti C., Pandolfi, C., Caparrotta S., Dei M., Giordani E., Mancuso S., Nencetti V. Fruit aroma and sensorial characteristics of traditional and innovative Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) cultivars grown in Italy // European Food Research and Technology. 2019. Vol. 245. Pp. 2655–2668. DOI: 10.1007/s00217-019-03377-y.
6. Sümbül A., Yildiz E., Yaman M. et al. Morphological, biochemical, and molecular evaluation of genetic diversity in different plum genotypes (*Prunus domestica* L.) // Genetic Resources and Crop Evolution. 2024. Vol. 71. Pp. 1973–1988. DOI: 10.1007/s10722-023-01749-8.
7. Aranzana M. J., Decroocq V., Dirlewanger E., Eduardo I., Gao Z. S., Gasic K., Iezzoni A., Jung S., Peace C., Prieto H., et al. *Prunus* genetics and applications after de novo genome sequencing: Achievements and prospects // Horticulture Research. 2019. Vol. 6. Article number 58. DOI: 10.1038/s41438-019-0140-8.
8. Hodel R. G. I., Zimmer E., Wen J. A phylogenomic approach resolves the backbone of *Prunus* (*Rosaceae*) and identifies signals of hybridization and allopolyploidy // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2021. Vol. 160. Pp. 107–118. DOI: 10.1016/j.ympev.2021.107118.
9. Gaši F., Sehic J., Grahic J., Hjeltnes S. H., Ordidge M., Benedikova D., Blouin-Delmas M., Drogoudi P., Giovannini D., Höfer M., et al. Genetic assessment of the pomological classification of plum *Prunus domestica* L. accessions sampled across Europe // Genetic Resources and Crop Evolution. 2020. Vol. 67. Pp. 1137–1161. DOI: 10.1007/s10722-020-00901-y.

10. Eremin G. V., Dedova A. E. Varieties of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) as donors of large-fruitiness in the breeding of Russian plum (*Prunus rossica* Erem.) // BIO Web of Conferences 2022. Vol. 6. Article number 02007. DOI: 10.1051/bioconf/20224702007.
11. Zhebentyayeva T., Shankar V., Scorza R., Callahan A., Ravelonandro M., Castro S., DeJong T., Saski C.A., Dardick C. Genetic characterization of worldwide *Prunus domestica* (plum) germplasm using sequence-based genotyping // Horticulture Research. 2019. Vol. 6. Article number 12. DOI: 10.1038/s41438-018-0090-6.
12. Guerrero B. I., Guerra M. E., Herrera S., Irisarri P., Pina A., Rodrigo J. Genetic diversity and population structure of Japanese plum-type (Hybrids of *P. salicina*) accessions assessed by SSR markers // Agronomy. 2021. Vol. 11. Article number 1748. DOI: 10.3390/agronomy11091748.
13. Castro S., DeJong T. M. Developing new prune cultivars for the California dried prune industry // Acta Horticulturae. 2021. Vol. 1322. Pp. 13–18. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1322.3.
14. Sottile F., Caltagirone C., Giacalone G., Peano C., Barone E. Unlocking Plum Genetic Potential: Where Are We At? // Horticulturae. 2022. Vol. 8. Article number 128. DOI: 10.3390/horticulturae8020128.
15. Fadón E., Herrera S., Guerrero B.I., Guerra M.E., Rodrigo J. Chilling and Heat Requirements of Temperate Stone // Agronomy. 2020. Vol. 10. Article number 409. DOI: 10.3390/agronomy10030409.
16. Hartmann W. Three new sharka resistant (hypersensitive) plum cultivars from Hohenheim plum breeding programme // Acta Horticulturae. 2019. Vol. 1260. Pp. 9–11. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1260.2.
17. Гуляева А. А., Ефремов И. Н., Берлова Т. Н., Галькова А. А. Клоновые подвои сливы в сорто-подвойных комбинациях для садов интенсивного типа // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 6. С. 27–30. DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/27-30.
18. Александрова Т. И. Сортоизучение сливы домашней для интенсивных насаждений в аридных условиях Северного Прикаспия // Аграрный научный журнал. 2022. № 6. С. 4–6. DOI: 10.28983/asj.y2022i6pp4-6.
19. Джигадло Е. Н., Колесникова А. Ф., Еремин Г. В. [и др.] Косточковые культуры // В кн.: Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. С. 300–350.
20. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 6-е изд., доп. и перераб. Москва: Альянс, 2011. 351 с.
21. Гуляева А. А., Безлепкина Е. В., Берлова Т. Н., Галькова А. А., Ефремов И. Н. Результаты изучения в условиях Орловской области сортов вишни селекции Татарского НИИСХ // Плодоводство и ягодоводство России. 2020. Т. 62. С. 24–31. DOI: 10.31676/2073-4948-2020-62-24-31.
22. Галькова А. А., Гуляева А. А., Берлова Т. Н., Ефремов И. Н. Устойчивость сортов абрикоса биоресурсной коллекции ВНИИСПК к грибным заболеваниям // Современное садоводство. 2023. № 2. С. 1–6. DOI: 10.52415/23126701_2023_0201.
23. Яковлева В. В. Источники устойчивости к грибным болезням для создания новых сортов сливы в условиях юга Приморья // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. Вып. 4 (60). С. 65–71. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-4-65-71.

Об авторах:

Александра Алексеевна Гуляева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0002-5528-0981, AuthorID 305835. *E-mail: gulyaeva@orel.vniispk.ru*

Татьяна Николаевна Берлова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0009-0000-5660-3773, AuthorID 1181113. *E-mail: berlova@orel.vniispk.ru*

Анна Александровна Галькова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0009-0003-1035-9738; AuthorID 742411. *E-mail: galkova@orel.vniispk.ru*

Игорь Николаевич Ефремов, научный сотрудник лаборатории селекции и сортоизучения косточковых культур, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0009-0000-1035-3318, AuthorID 912316. *E-mail: efremov@orel.vniispk.ru*

References

1. Faisal Z., Saeed F., Afzaal M., Akram N., Shah Y. A., Islam F., Ateeq H. Phytochemical Profile and Food Applications of Edible Flowers: A Comprehensive Treatise. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022; 46 (11): E17061. DOI: 10.1111/jfpp.17061.

2. Efremov I. N., Gulyayeva A. A., Berlova T. N., Galkova A. A., Bezlepkina E. V. Influence of root formation stimulants on biometric parameters of plum clonal rootstocks. *Selektsiya i sortorazvedenie sadovykh kul'tur*. 2021; 8; 1–2: 32–34. DOI: 10.24411/2500-0454-2021-10110. (In Russ.)
3. Wei X., Shen F., Zhang Q., Liu N., Zhang Y., Xu M. et al. Genetic diversity analysis of Chinese plum (*Prunus Salicina* L.) based on whole-genome resequencing. *Tree Genetics & Genomes*. 2021; 17: 26. DOI: 10.1007/s11295-021-01506-x.
4. Fotiric Akšic M., Cerovic R., Hjeltnes S. H., Meland M. The Effective Pollination Period of European Plum (*Prunus domestica* L.) Cultivars in Western Norway. *Horticulturae*. 2022; 8: 55. DOI: 10.3390/horticulturae8010055.
5. Taiti C., Pandolfi C., Caparrotta S., Dei M., Giordani E., Mancuso S., Nencetti V. Fruit aroma and sensorial characteristics of traditional and innovative Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) cultivars grown in Italy. *European Food Research and Technology*. 2019; 245: 2655–2668. DOI: 10.1007/s00217-019-03377-y.
6. Sümbül A., Yildiz E., Yaman M., et al. Morphological, biochemical, and molecular evaluation of genetic diversity in different plum genotypes (*Prunus domestica* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024; 71: 1973–1988. DOI: 10.1007/s10722-023-01749-8.
7. Aranzana M. J., Decroocq V., Dirlwanger E., Eduardo I., Gao Z. S., Gasic K., Iezzoni A., Jung S., Peace C., Prieto H., et al. *Prunus* genetics and applications after de novo genome sequencing: Achievements and prospects. *Horticulture Research*. 2019; 6: 58. DOI: 10.1038/s41438-019-0140-8.
8. Hodel R. G. I., Zimmer E., Wen J. A phylogenomic approach resolves the backbone of *Prunus* (*Rosaceae*) and identifies signals of hybridization and allopolyploidy. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 2021; 160: 107–118. DOI: 10.1016/j.ympev.2021.107118.
9. Gaši F., Sehic J., Grahic J., Hjeltnes S. H., Ordidge M., Benedikova D., Blouin-Delmas M., Drogoudi P., Giovannini D., Höfer M., et al. Genetic assessment of the pomological classification of plum *Prunus domestica* L. accessions sampled across Europe. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2020; 67: 1137–1161. DOI: 10.1007/s10722-020-00901-y.
10. Eremin G. V., Dedova A. E. Varieties of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) as donors of large-fruitiness in the breeding of Russian plum (*Prunus rossica* Erem.). *BIO Web of Conferences*. 2022; 6: 02007. DOI: 10.1051/bioconf/20224702007.
11. Zhebentyayeva T., Shankar V., Scorza R., Callahan A., Ravelonandro M., Castro S., DeJong T., Saski C. A., Dardick C. Genetic characterization of worldwide *Prunus domestica* (plum) germplasm using sequence-based genotyping. *Horticulture Research*. 2019; 6: 12. DOI: 10.1038/s41438-018-0090-6.
12. Guerrero B. I., Guerra M. E., Herrera S., Irisarri P., Pina A., Rodrigo J. Genetic diversity and population structure of Japanese plum-type (Hybrids of *P. salicina*) accessions assessed by SSR markers. *Agronomy*; 11: 1748. DOI: 10.3390/agronomy11091748.
13. Castro S., DeJong T. M. Developing new prune cultivars for the California dried prune industry. *Acta Horticulturae*. 2021; 1322: 13–18. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1322.3.
14. Sottile F., Caltagirone C., Giacalone G., Peano C., Barone E. Unlocking Plum Genetic Potential: Where Are We At? *Horticulturae*. 2022; 8: 128. DOI: 10.3390/horticulturae8020128.
15. Fadón E., Herrera S., Guerrero B. I., Guerra M. E., Rodrigo J. Chilling and Heat Requirements of Temperate Stone. *Agronomy*. 2020; 10: 409. DOI: 10.3390/agronomy10030409.
16. Hartmann W. Three new sharka resistant (hypersensitive) plum cultivars from Hohenheim plum breeding programme. *Acta Horticulturae*. 2019; 1260: 9–11. DOI: 10.17660/ActaHortic.2019.1260.2.
17. Gulyaeva A. A., Efremov I. N., Berlova T. N., Galkova A. A. Plum clonal rootstocks in variety-rootstock combinations for intensive orchards. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2021; 6: 27–30. DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/27-30. (In Russ.)
18. Aleksandrova T. I. Variety study of home plum for intensive plants in arid conditions of the Northern Caspian region. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; 6: 4–6. DOI: 10.28983/asj.y2022i6pp4-6. (In Russ.)
19. Dzhigadlo E. N., Kolesnikova A. F., Eremin G. V., et al. Stone fruit crops. In: *Program and methodology for studying varieties of fruit, berry and nut crops*. Orel: VNIISPK, 1999. Pp. 300–350. (In Russ.)
20. Dospikhov B. A. *Field experiment methodology*. Ed. 4th, revised and supplemented. Moscow: Kolos, 1979. 416 p. (In Russ.)
21. Gulyaeva A. A., Bezlepkina E. V., Berlova T. N., Galkova A. A., Efremov I. N. The results of the study in the conditions of the Orel region of sour cherry varieties of breeding of the Tatar research institute of agriculture. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*. 2020; 62: 24–31. DOI: 10.31676/2073-4948-2020-62-24-31. (In Russ.)

22. Galkova A. A., Gulyaeva A. A., Berlova T. N., Efremov I. N. Resistance of apricot cultivars from the bioresource collection of VNIISPK to fungal diseases. *Sovremennoye Sadovodstvo*. 2023; 2: 1–6. DOI: 10.52415/23126701_2023_0201. (In Russ.)

23. Yakovleva V. V. Resistance sources to fungal diseases for the creation of new plum varieties in the conditions of the south of Primorye. *Dalnevostochnyy Agrarnyy Vestnik*. 2021; 4 (60): 65–71. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-4-65-71. (In Russ.)

Authors' information:

Aleksandra A. Gulyaeva, candidate of agricultural sciences, leading researcher, head of the laboratory for selection and variety study of stone fruit crops, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Oryol region, Russia; ORCID 0000-0002-5528-0981, AuthorID 305835. *E-mail: gulyaeva@orel.vniispk.ru*

Tatyana N. Berlova, junior researcher at the laboratory of selection and variety study of stone fruit crops, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Oryol region, Russia; ORCID 0009-0000-5660-3773, AuthorID 1181113. *E-mail: berlova@orel.vniispk.ru*

Anna A. Galkova, junior researcher at the laboratory of selection and variety study of stone fruit crops, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Oryol region, Russia; ORCID 0009-0003-1035-9738; AuthorID 742411. *E-mail: galkova@orel.vniispk.ru*

Igor N. Efremov, researcher at the laboratory for selection and variety study of stone fruit crops, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Oryol region, Russia; ORCID 0009-0000-1035-3318, AuthorID 912316. *E-mail: efremov@orel.vniispk.ru*

Лабораторный скрининг сортов овса Тюменской селекции на устойчивость к солевому стрессу

Д. И. Еремин[✉], В. В. Сахарова, Ю. В. Савельева, П. С. Бататин

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия

[✉]E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Аннотация. Цель работы – определение степени устойчивости генотипов овса Тюменской селекции к хлоридному и сульфатному засолению и выделение перспективных родительских форм для селекции солеустойчивых сортов. **Материалы и методы.** Изучали реакцию сортов овса Тюменской селекции Мегион, Талисман, Отрада, Фома, Тобояк, Радужный и Сириус на различный уровень засоления Na_2SO_4 и NaCl . Устойчивость к солевому стрессу определяли по комплексу лабораторных и расчетных показателей. **Результаты.** Установлено, что хлоридное засоление приводит к затормаживанию ростовых процессов, но не имеет сильного токсического эффекта вплоть до концентрации соли в растворе 7 г/л. Лабораторная всхожесть достоверно снижалась при концентрации 10 г/л на 10–25 % относительно контроля. Негативное воздействие сульфата натрия проявляется при меньших концентрациях (от 3 г/л) на отдельных сортах и выражается в стабильном угнетении овса на начальных этапах онтогенеза. При концентрации 7 г/л всхожесть сортов снижалась на 10–36 % относительно контроля. При 1 г/л сульфата натрия индекс длины корней сортов Мегион, Талисман и Отрада был на 8–10 % выше контроля. Хлорид натрия имел аналогичный эффект при концентрациях 1–3 г/л. По комплексу показателей установлено, что наиболее устойчивыми к сульфатному засолению являются сорта Сириус, Тобояк и Отрада. К хлоридному – Талисман и Отрада. Чувствительным к Na_2SO_4 и NaCl был сорт Радужный, который негативно реагировал на соли даже в минимальной концентрации (1 г/л). **Научная новизна.** Впервые была изучена сортовая реакция овса Тюменской селекции на сульфатное и хлоридное засоление в процессе прорастания. Установлены концентрации хлорида и сульфата натрия, вызывающие стресс от засоления. **Рекомендации.** Сорта Сириус, Тобояк, Отрада и Талисман рекомендуется использовать в качестве родительских форм при селекции солеустойчивых сортов овса.

Ключевые слова: овес (*Avena sativa* L.), стресс-фактор, ингибирование ростовых процессов, солеустойчивость, сульфатное и хлоридное засоление, селекция, фитозффект, индекс длины корней

Благодарности. Работа выполнена в рамках научного проекта «Разработка ускоренной системы отбора устойчивых к абиотическим факторам ценных генотипов зернофуражных культур (ячмень, овес) методом биохимического маркирования» (FWRZ-2024-0008).

Для цитирования: Еремин Д. И., Сахарова В. А., Савельева Ю. В., Бататин П. С. Лабораторный скрининг сортов овса Тюменской селекции на устойчивость к солевому стрессу // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 230–244. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-230-244>.

Дата поступления статьи: 17.09.2024, **дата рецензирования:** 07.11.2024, **дата принятия:** 02.12.2024.

Laboratory screening of Tyumen oat varieties for resistance to salt stress

D. I. Eremin[✉], V. V. Sakharova, Yu. V. Savelyeva, P. S. Batatin

Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center “Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia

[✉]E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Abstract. The purpose of the work is to determine the degree of resistance of oat genotypes of Tyumen breeding to chloride and sulfate salinization and to identify promising parental forms for the selection of salt-resistant varieties. **Materials and methods.** The reaction of Tyumen oat cultivars Megion, Talisman, Otrada, Foma, Tobolyak, Raduzhnyy and Sirius to different levels of salinity of Na₂SO₄ and NaCl was studied. Resistance to salt stress was determined by a set of laboratory and calculated parameters. **Results.** It was found that chloride salinization leads to inhibition of growth processes, but does not have a strong toxic effect up to a salt concentration in a solution of 7 g/l. Laboratory germination significantly decreased at a concentration of 10 g/l by 10–25 % relative to the control. The negative effect of sodium sulfate is manifested at lower concentrations (from 3 g/l) on individual cultivars and is expressed in stable suppression of oats at the initial stages of ontogenesis. At a concentration of 7 g/l, the germination of cultivars decreased by 10–36 % relative to the control. At 1 g/l of sodium sulfate, the root length index of Megion, Talisman and Otrada cultivars was 8–10 % higher than the control. Sodium chloride had a similar effect at concentrations of 1–3 g/l. According to the set of indicators, it was found that the most resistant to sulfate salinization are the cultivars: Sirius, Tobolyak and Otrada. Chloride is a Talisman and Otrada. The Raduzhnyy variety was sensitive to Na₂SO₄ and NaCl, which reacted negatively to salts even at a minimum concentration (1 g/l). **Scientific novelty.** For the first time, the varietal reaction of Tyumen oats to sulfate and chloride salinization during germination was studied. Concentrations of sodium chloride and sulfate causing stress from salinization have been established. **Recommendations.** The cultivars Sirius, Tobolyak, Otrada and Talisman are recommended to be used as parent forms in the selection of salt-resistant varieties of oats.

Keywords: oats (*Avena sativa* L.), stress factor, inhibition of growth processes, salt resistance, sulfate and chloride salinization, breeding, phytoeffect, root length index

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of the scientific project “Development of an accelerated system for the selection of valuable genotypes of grain crops (barley, oats) resistant to abiotic factors by biochemical labeling” (FWRZ-2024-0008).

For citation: Eremin D. I., Sakharova V. A., Savelyeva Yu. V., Batatin P. S. Laboratory screening of oat varieties of Tyumen breeding for resistance to salt stress. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 230–244. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-230-244>. (In Russ.)

Date of paper submission: 17.09.2024, **date of review:** 07.11.2024, **date of acceptance:** 02.12.2024.

Постановка проблемы (introduction)

Глобальное изменение климата на планете оказывает непосредственное воздействие на современную экосистему и геополитику современного мира. В последние десятилетия сложилась устойчивая тенденция к сокращению площадей земель сельскохозяйственного назначения за счет естественного и антропогенного засоления почв. Современные исследования показали, что механизм аккумуляции и переноса водорастворимых солей в почвах намного сложнее, чем принято считать [1]. В условиях изменения климата основная часть высокоплодородных земель, используемых в пашне, имеет высокую степень риска перехода в категорию засоленных. Эта

проблема затрагивает и пахотные земли с достаточной влагообеспеченностью в Западной Сибири, которая активно осваивается в сельскохозяйственном направлении. В связи с этим необходима своевременная подготовка агропромышленного комплекса к последствиям глобального изменения климата. Существующие мелиоративные приемы позволяют уменьшить засоление, а в отдельных случаях и полностью избавиться от него. На значительной площади Российской Федерации проведение мелиорации будет экономически неоправданным или технологически невыполнимым [2]. Поэтому рациональной стратегией устойчивого развития сельского хозяйства в условиях изменяющегося клима-

та будет создание новых сортов сельскохозяйственных культур, обладающих генетической устойчивостью к повышенному содержанию солей в почве. Для этого необходимо комплексное изучение механизмов устойчивости к солям и физиологических стрессов, вызываемых ими. Как показывает анализ литературных источников, эту проблему решают по всему миру: идет активный поиск солеустойчивых культурных и диких генотипов растений [3; 4]. Углубленно изучаются биохимия, протеомика и метаболомика стрессов, вызванных абиотическими факторами на клеточном уровне [5]. Как отмечает В. В. Иванищев, растения имеют достаточно большой спектр механизмов устойчивости к токсическому действию солей. Прежде всего это селективное накопление или выброс ионов; контроль поглощения корнями и их транспортировка в листья; изолирование ионов в компартменты на уровне клетки и целого растения; синтез метаболитов для поддержания осмотического давления цитоплазмы; изменение структуры мембран; синтез антиоксидантных ферментов; индукция гормонов растений [6]. Выбор механизма защиты зависит от генотипа растения, вида и степени засоления.

Среди зерновых культур овес считается наименее устойчивым к водорастворимым солям, поэтому на засоленных почвах ему предпочитают ячмень [7; 8]. При этом для умеренных широт среди зернофуражных культур овес является наиболее выгодным по устойчивости к неблагоприятным факторам (локальное переувлажнение, низкие положительные температуры корнеобитаемой зоны). За последние десятилетия селекционная наука создала сотни сортов овса, раскрывающих свой генетический потенциал в различных почвенно-климатических условиях. Поэтому существует большая вероятность того, что есть генотипы овса, наименее подверженные токсическому действию водорастворимых солей и способные формировать урожай на солончаковых почвах. Для ускорения оценки устойчивости сортов часто проводят исследования по определению прорастания семян и развитию растений на начальных этапах онтогенеза [9]. Это дает возможность точно установить степень стресса от химизма и степени засоления. В дальнейшем результаты лабораторной оценки становятся основой для модельных и полевых опытов в селекционной работе.

Цель исследований – определение степени устойчивости генотипов овса Тюменской селекции к хлоридному и сульфатному засолению и выделение перспективных родительских форм для селекции солеустойчивых сортов.

Методология и методы исследования (Methods)

Изучение солеустойчивости овса проводили в лаборатории геномных исследований в растениеводстве Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала

ФИЦ «Тюменский научный центр сибирского отделения Российской академии наук». Были изучены пленчатые сорта местной селекции: Мегион (год регистрации – 1993), Талисман (2002), Отрада (2013), Фома (2013), Тобояк (2020), Радужный (2022) и Сириус, который в 2023 году был передан на государственное сортоиспытание. Описание этих сортов подробно представлено в публикациях [10–14]. Лабораторный опыт был заложен по методике, разработанной Федеральным исследовательским центром «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова»¹. В опыте были смоделированы два типа засоления: хлоридный (NaCl) и сульфатный (Na₂SO₄) как наиболее типичные для Западной Сибири [15; 16]. Для определения пороговой концентрации солей, вызывающих стресс овса, были использованы растворы 1; 3; 5; 7 и 10 г/л (таблица 1). Это позволило охватить все категории засоленных почв – от солончакватых до солончаков. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Для исследований были отобраны неповрежденные и выравненные семена овса одного года и репродукции, полученные из коллекции НИИСХ Северного Зауралья. Проращивание семян (ГОСТ 12044–93) проводили в рулонах из фильтровальной бумаги, увлажненной растворами соответствующих концентраций до полной влагоемкости. Для предотвращения испарения рулоны бумаги с семенами обертывали полиэтиленовой пленкой. Рулоны помещали вертикально в лабораторные стаканы. Далее стаканы с рулонами фильтровальной бумаги и семенами помещали в термостат с выставленной температурой +20 ...+21 °C на 7 суток.

Через трое суток определяли энергию прорастания, через 7 суток – лабораторную всхожесть. Параллельно этому измеряли длину корешков у каждого растения. Далее отделяли корешки и проростки, объединяли их в усредненную пробу и высушивали до воздушно-сухого состояния с последующим взвешиванием. Опыт проводили в четырех биологических повторностях. Для каждого варианта рассчитывали среднее значение, стандартное отклонение ($X \pm SO$). По полученным данным проводили расчет следующих показателей:

Индекс скорости прорастания [17]:

$$\text{ИСП} = \text{ЭП/ЛВ}, \quad (1)$$

где ЭП – энергия прорастания;

ЛВ – лабораторная всхожесть.

Индекс длины корней:

$$\text{ИДК} = \frac{L_{\text{ср.В}}}{L_{\text{ср.К}}} * 100, \quad (2)$$

где $L_{\text{ср.В}}$ – средняя длина корней варианта, мм;

$L_{\text{ср.К}}$ – средняя длина корней на контроле, мм;

¹ Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство) / Под ред. Г. В. Удовенко. Ленинград: ВИР, 1988. 227 с.

Химизм и степень засоления, используемые в опыте

Концентрация, г/л	Сульфат натрия		Хлорид натрия		Соответствие степени засоления почв
	Ммоль/л	Осмотическое давление, Па	Ммоль/л	Осмотическое давление, Па	
1	7,042	52,34	17,11	84,78	Незасоленные
3	21,13	157,1	51,33	254,3	Слабозасоленные (солончаковатые)
5	35,21	261,7	85,56	424	Среднезасоленные (солончаковатые)
7	49,3	366,4	119,76	593,6	Сильно засоленные (солончаковатые)
10	70,42	523,4	171,1	847,8	Очень сильно засоленные (солончаки)

Table 1

Chemistry and degree of salinity used in the experiment

Concentration, g/L	Sodium sulfate		Sodium chloride		Compliance with the degree of soil salinity
	mmol/L	Osmotic pressure, Pa	mmol/L	Osmotic pressure, Pa	
1	7.042	52.34	17.11	84.78	Unsalted
3	21.13	157.1	51.33	254.3	Subsaline (saline)
5	35.21	261.7	85.56	424	Medium saline (saline)
7	49.3	366.4	119.76	593.6	Highly saline (saline)
10	70.42	523.4	171.1	847.8	Very highly saline (salt flats)

Согласно методике ВИР, если индекс длины корня находится в пределах 70–80 %, то генотип считается среднеустойчивым к стрессу, вызванному каким-либо фактором; 80–90 % – устойчивый; 90–100 % – высокоустойчивый.

Фитоэффект (E_M) от воздействия стресса определяли по воздушно-сухой массе первичных корешков.

$$E_M = \frac{M_K - M_{оп}}{M_{оп}} * 100 \%, \quad (3)$$

где E_M – фитоэффект, вызванный стрессом, %;

M_K – средняя масса корней на контроле, г;

$M_{оп}$ – средняя масса корней на варианте, г.

Статистическую обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа² с использованием пакета анализа компьютерной программы Microsoft Excel.

Ранжирование сортов проводили методом рангового распределения по комплексу исследуемых показателей с последующим суммированием баллов. Используя квартильный анализ, определяли диапазоны степени устойчивости к засолению [18; 19].

Результаты (Results)

Подсчет проросших семян на третьи сутки показал наличие сортовой реакции овса на химизм засоления и концентрацию солей. При минимальном содержании сульфата натрия (1 г/л) энергия прорастания сортов Мегион и Отрада достоверно уменьшилась ($F_{факт} > F_{теор.}$ при $p = 5 \%$) относительно

контроля до 91 и 76 % соответственно (таблица 2). Увеличение концентрации до 3 г/л не оказало воздействия на сорта Талисман; Тоболяк и Радужный: энергия прорастания была на уровне контроля. Сорта Мегион и Отрада выделялись резким снижением темпов прорастания: 42 и 57 % относительно контроля. Также было отмечено проявление стресса от сульфата натрия у сортов Фома и Сириус, снижение энергии прорастания у которых было выше значений наименьшей существенной разницы.

Концентрация Na_2SO_4 на уровне 5 г/л наиболее показательна, поскольку при ней начинают проявляться защитные механизмы растения на засоление. Энергия прорастания тех сортов, которые негативно реагировали на меньшие концентрации сульфата натрия, возросла: Мегион – 85 %; Отрада – 71 %; Сириус – 96 % от контроля. У остальных сортов отмечалась четкая негативная реакция на концентрацию 5 г/л. Наиболее сильно реагировал сорт Радужный: энергия прорастания снизилась до 27 %. Однако, механизм защиты у этого сорта включился при концентрации 7 г/л, что восстановило процесс прорастания до 71 % на третьи сутки опыта. Аналогично проявили себя сорта Талисман и Отрада, у которых энергия прорастания возросла при концентрации сульфата натрия 10 г/л – она достигла 50 %. При таком уровне засоления сорта Мегион, Тоболяк, Радужный и Сириус на третьи сутки не проросли.

² Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 2014. 336 с.

Энергия прорастания сортов овса Тюменской селекции при различной концентрации сульфата и хлорида натрия, % от контрольных значений

Таблица 2

Сорт	Na ₂ SO ₄ , г/л					NaCl, г/л				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	91	42	85	24	0	100	100	58	17	0
Талисман	100	100	36	29	50	83	100	55	28	0
Отрада	76	57	71	24	50	100	100	33	2	0
Фома	94	70	40	41	29	100	54	10	2	0
Тобояк	100	100	81	46	0	93	100	37	40	0
Радужный	100	100	27	71	0	100	100	8	0	0
Сириус	100	88	96	69	3	83	30	3	0	0

Примечание. Факторы: А – сорт; В – концентрация; АВ – взаимодействие. HCP₀₅ (Na₂SO₄): А – 6; В – 7; АВ – 9 %. HCP₀₅ (NaCl): А – 5; В – 7; АВ – 8 %.

Germination energy of oat varieties of Tyumen selection at different concentrations of sulfate and sodium chloride, % of control values

Table 2

Cultivar	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	91	42	85	24	0	100	100	58	17	0
Talisman	100	100	36	29	50	83	100	55	28	0
Otrada	76	57	71	24	50	100	100	33	2	0
Foma	94	70	40	41	29	100	54	10	2	0
Tobolyak	100	100	81	46	0	93	100	37	40	0
Raduzhnyy	100	100	27	71	0	100	100	8	0	0
Sirius	100	88	96	69	3	83	30	3	0	0

Note. Factors: А – cultivar; В – concentration; АВ – interaction. AD₀₅ (Na₂SO₄): А – 6; В – 7; АВ – 9 %. AD₀₅ (NaCl): А – 5; В – 7; АВ – 8 %.

При хлоридном засолении наблюдалась аналогичная реакция, которая проявилась также при минимальной концентрации (1 г/л хлорида натрия). Энергия прорастания Талисмана и Сириуса составила 83 %. У остальных сортов она была на уровне контроля. Необходимо отметить, что 3 г/л NaCl вызвало стресс только у Фомы и Сириуса. При дальнейшем повышении концентрации энергия прорастания этих сортов достигла критических значений (< 10 %). Наименее подверженным хлоридному засолению оказался сорт Тобояк, у которого на третьи сутки проросло 40 % зерна при концентрации 7 г/л. Частичное прорастание было зафиксировано у Мегиона и Талисмана. На варианте с максимальной концентрацией 10 г/л хлорида натрия ни один из Тюменских сортов овса на третьи сутки не пророс.

Ранее проведенные собственные исследования, а также опыт других ученых неоднократно подтверждали, что наличие солей в растворе может как стимулировать, так и задерживать процесс прорастания семян, поэтому крайне важно получение информации на 7-е сутки проращивания, когда определяется лабораторная всхожесть [20; 21].

Лабораторные исследования показали, что число проросших семян изучаемых сортов при низких концентрациях NaCl и Na₂SO₄ (1 и 3 г/л) не отличается от контроля (таблица 3). При концентрации 5

г/л сульфата натрия сорта Талисман и Фома достоверно снизили всхожесть до 88–89 % относительно контроля. Дальнейшее повышение концентрации сульфата натрия усилило негативный эффект: при 7 г/л всхожесть сортов Мегион, Тобояк и Радужный составила 83, 90 и 64 % соответственно. Максимальная степень засоления (10 г/л) достоверно снизила лабораторную всхожесть всех изучаемых сортов овса. Наименее устойчивыми к столь высокой концентрации сульфата натрия оказались сорта Радужный и Отрада, лабораторная всхожесть которых составила соответственно 74 и 80 % относительно контроля.

Достоверное влияние хлорида натрия на лабораторную всхожесть отмечалось только на варианте с концентрацией 10 г/л. Среди 7 изучаемых сортов только Талисман обладал устойчивостью к высокому уровню засоления. Сорта Мегио, Отрада и Сириус уменьшили всхожесть до 90, 88 и 81 % соответственно, что не является критичным.

Посевной материал, используемый в опыте, был получен в однотипных условиях и представлял собой физиологически зрелое зерно. Поэтому различия на контроле (дистиллированная вода) являются сортовыми особенностями. Индекс скорости прорастания зерна овса Тюменской селекции на контроле варьировал в относительно узком диапазоне – от 70 (Сириус) до 83 % (Талисман).

Влияние уровня и химизма засоления на лабораторную всхожесть сортов овса Тюменской селекции, % от контрольных значений

Сорт	Na ₂ SO ₄ , г/л					NaCl, г/л				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	100	96	100	83*	84*	99	100	96	94	90*
Талисман	97	100	89*	88*	85*	99	100	100	100	100
Отрада	100	100	100	97	80*	100	100	99	100	88*
Фома	100	100	88*	85*	82*	100	100	100	100	75*
Тобояк	100	100	95	90*	84*	95	100	100	95	76*
Радужный	100	100	93	64*	74*	100	100	100	100	78*
Сириус	100	92	95	100	88*	100	100	100	96	81*

Примечание. * Изменение достоверно ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$).

Table 3

The effect of the level and chemistry of salinity on the laboratory germination of oat varieties of Tyumen selection, % of control values

Cultivar	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	100	96	100	83*	84*	99	100	96	94	90*
Talisman	97	100	89*	88*	85*	99	100	100	100	100
Otrada	100	100	100	97	80*	100	100	99	100	88*
Foma	100	100	88*	85*	82*	100	100	100	100	75*
Tobolyak	100	100	95	90*	84*	95	100	100	95	76*
Raduzhnyy	100	100	93	64*	74*	100	100	100	100	78*
Sirius	100	92	95	100	88*	100	100	100	96	81*

Note. * The change is valid ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ is at $p = 5\%$).

Были выделены три генотипа (Мегион, Отрада и Сириус), которые положительно отреагировали на минимальную концентрацию сульфата натрия (1 г/л). Индекс прорастания был достоверно выше контрольных значений ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$). Помимо этого, у Мегиона был зафиксирован аналогичный стимулирующий эффект от NaCl той же концентрации. По нашему мнению, данный факт объясняется тем, что поглощаемый во время прорастания овса натрий накапливается в клеточных вакуолях и выполняет функцию осмотически активного элемента. Аналогичный эффект отмечали А. А. Иванов в опытах с пшеницей [22] и группа ученых из Азербайджана под руководством Г. С. Меджидовой [23].

Прорастание зерна сорта Талисман при концентрации 1 г/л сульфата натрия замедлилось, о чем свидетельствует индекс скорости прорастания, который снизился с 83 до 41 % (таблица 4). На варианте с засолением 3 г/л прорастание изучаемых сортов достоверно замедлялось: ИСП снижался до 46–76 %. У сорта Тобояк при концентрации сульфата натрия 5 г/л включились защитные механизмы, которые увеличили скорость прорастания (ИСП = 74 %) до уровня контроля. Отсутствие замедления процесса прорастания было зафиксировано у сортов Талисман и Сириус. Остальные сорта характеризовались устойчивой тенденцией замедления прорастания при концентрациях 5 и 7 г/л сульфата натрия. Максимальный индекс скорости

прорастания при 10 г/л был зафиксирован у сортов Тобояк (32 %) и Сириус (47 %), что делает их привлекательными для выращивания на сульфатных солончаках и перспективными для селекции солеустойчивых сортов овса.

Хлоридное засоление обладает более жестким воздействием на ростовые процессы в ходе прорастания овса. При минимальной концентрации (1 г/л) эффект затормаживания был зафиксирован только у сорта Сириус (ИСП = 58 %) при $НСР_{05} = 4\%$. Нужно отметить, что этот сорт характеризуется практически полным отсутствием устойчивости к хлориду натрия – при концентрации 3 г/л индекс скорости прорастания уменьшился до 21 %, а при более высоких концентрациях все семена дали проростки позже срока определения энергии прорастания (3 суток).

Концентрация хлорида натрия 5 г/л оказала негативное влияние на скорость прорастания также сортов Фома и Радужный – ИСП достиг критических величин – 6 и 5 % соответственно. Наиболее устойчивыми к такой концентрации оказались Мегион и Талисман, у которых за 3 дня проросли 52 и 37 % зерен от контроля. Следует отметить сорт Тобояк, который характеризовался снижением индекса скорости прорастания при концентрации 5 г/л NaCl до 27 %, но при более высокой концентрации (7 г/л) прорастание шло достоверно быстрее (ИСП = 39 %, $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$).

Таблица 4

Индекс скорости прорастания (ИСП) овса в условиях возрастающей концентрации солей в растворе, %

Сорт	Контроль	Na ₂ SO ₄ , г/л					NaCl, г/л				
		1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	79	83	62	27	22	6	85	79	52	14	0
Талисман	83	41	53	53	22	6	70	65	37	22	0
Отрада	69	80	46	31	20	5	71	61	23	1	0
Фома	73	79	64	44	20	7	70	32	6	1	0
Тоболяк	74	70	65	74	63	32	73	86	27	39	0
Радужный	81	74	71	58	17	19	76	55	5	0	0
Сириус	70	90	76	73	74	47	58	21	2	0	0

Факторы: А – сорт; В – концентрация; АВ – взаимодействие. НСР₀₅ (Na₂SO₄): А – 5; В – 4; АВ – 7%. НСР₀₅ (NaCl): А – 6; В – 5; АВ – 4%.

Table 4

The germination index (GI) of oats under conditions of increasing salt concentration in solution, %

Variety	Standard	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
		1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	79	83	62	27	22	6	85	79	52	14	0
Talisman	83	41	53	53	22	6	70	65	37	22	0
Otrada	69	80	46	31	20	5	71	61	23	1	0
Foma	73	79	64	44	20	7	70	32	6	1	0
Tobolyak	74	70	65	74	63	32	73	86	27	39	0
Raduzhnyy	81	74	71	58	17	19	76	55	5	0	0
Sirius	70	90	76	73	74	47	58	21	2	0	0

Factors: А – crop; В – Concentration; АВ – Interaction. AD₀₅ (Na₂SO₄): А – 5; В – 4; АВ – 7%. AD₀₅ (NaCl): А – 6; В – 5; АВ – 4%.

Концентрация хлорида натрия в 10 г/л затормаживала прорастание всех сортов овса – проростки появились только на 4–5-е сутки проращивания, поэтому индекс скорости прорастания был нулевым.

Биомасса проростков – один из важнейших показателей состояния растения на начальных этапах онтогенеза [24]. При отсутствии засоления (контроль) общая биомасса растений на 7-е сутки проращивания варьировала от 0,43 г (Мегион) до 0,98 г (Фома) (рис. 1). На долю первичных корешков приходилось 34–56 % от общей биомассы. При концентрации сульфата натрия до 3 г/л все сорта овса, за исключением Тоболяка увеличили биомассу, что указывает на явный стимулирующий эффект. Общая биомасса у Талисмана, Фомы и Сириуса была на 19–21 % выше контроля. Увеличение происходило как за счет нарастания корешков, так и ростков. Особо выделился сорт Тоболяк, у которого воздушно-сухая масса корней при концентрации сульфата натрия 1–3 г/л уменьшилась на 54–66 %, но масса ростков возросла на 25–54 % относительно контроля. Этот сорт при более высоких концентрациях имел резкую негативную реакцию, более выраженную в сравнении с другими сортами.

С повышением концентрации сульфата натрия 5 г/л, что соответствует солончаковатым почвам, положительный эффект был обнаружен только у сортов Мегион (32 %) и Отрада (16 %). У сортов Талисман, Фома, Радужный и Сириус общая биомасса через 7 суток прорастания была на уровне

контроля. Концентрация 7 г/л выявила устойчивость к сульфатному засолению у Талисмана и Сириуса, биомасса которых соответствовала контролю. Остальные сорта характеризовались устойчивым снижением. Максимальную степень засоления выдержал Сириус, биомасса которого оставалась на уровне контроля. У сорта Талисман снижение при 10 г/л составило 33 % относительно варианта без засоления. Наиболее сильное угнетение проявилось у Радужного, Мегиона и Тоболяка – 42–54 %

При хлоридном засолении стимулирующий эффект от минимальной концентрации (1 г/л) отмечен на сортах Фома и Радужный, биомасса которых возросла на 31 и 47 % относительно контроля соответственно (рис. 2). Необходимо отметить, что сорт Тоболяк уже при минимальной концентрации негативно реагировал на хлорид натрия. Снижение общей биомассы составило 12 % при НСР₀₅ = 7 %. На остальных сортах изменения относительно контроля были недостоверны ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$). Концентрация 3 г/л NaCl обеспечила эффект стимулирования у всех изучаемых сортов, кроме Тоболяка и Сириуса, у которых общая биомасса была на уровне контроля.

Повышение содержания хлорида натрия в растворе до 7 г/л позволило выделить группу сортов, у которых эффект стимулирования варьировал от 11–18 % (Талисман, Отрада, Фома) до 48 % (Радужный). Прорастание в растворе с максимальной концентрацией (10 г/л) было угнетенным у всех со-

ртов, за исключением сорта Радужный. Его общая биомасса была на 9 % выше значений контроля. Необходимо отметить, что при такой концентрации масса первичных корней была меньше на 27 %, тогда как длина ростка выше на 29 % значений кон-

троля. Минимальное изменение массы корней при концентрации 10 г/л было зафиксировано у сортов Отрада и Тобояк, что указывает на их потенциальную солеустойчивость.

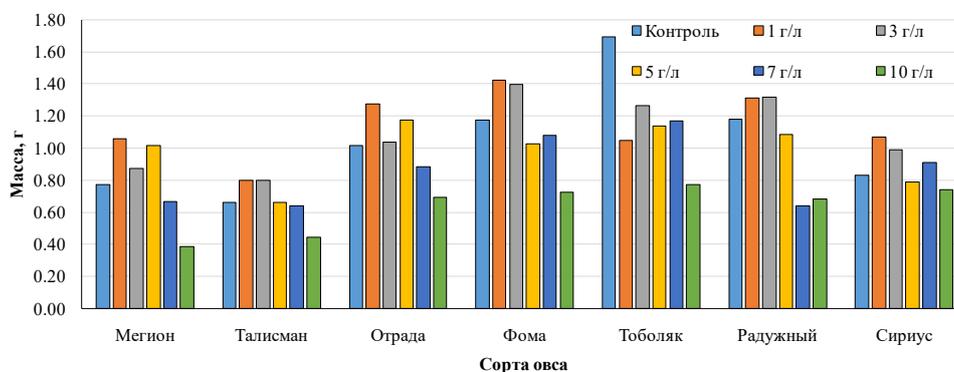


Рис. 1. Воздушно-сухая масса овса на 7-е сутки прорастания при возрастающей концентрации сульфата натрия, г

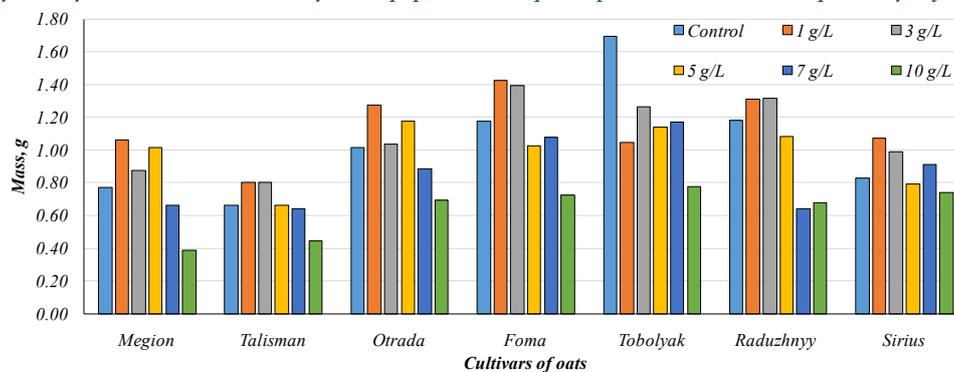


Fig. 1. Air-dry mass of oats on the 7th day of germination with an increasing concentration of sodium sulfate, g

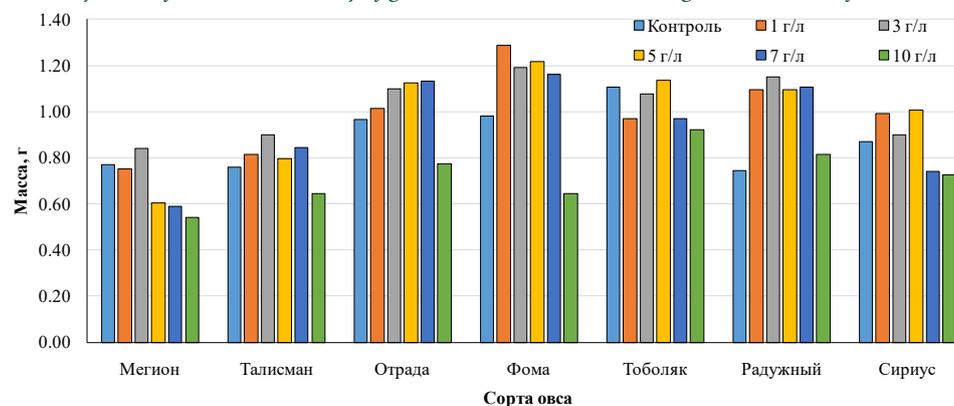


Рис. 2. Воздушно-сухая масса овса на 7-е сутки прорастания при возрастающей концентрации хлорида натрия, г

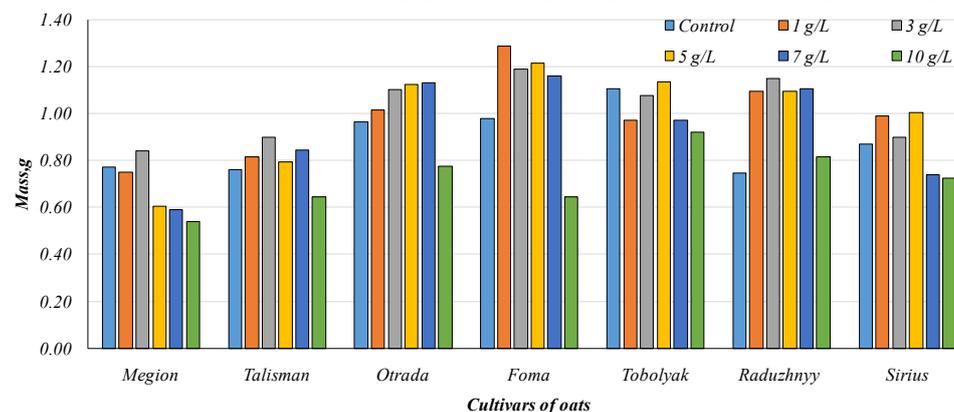


Fig. 2. Air-dry mass of oats on the 7th day of germination at an increasing concentration of sodium chloride, g

Таблица 5
Индекс длины корней (ИДК) сортов овса Тюменской селекции при различном уровне засоления, % относительно контроля

Сорта	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	111	99*	92	67	45	129	129	63	89	73
Талисман	110	94	81	71	50	87	113	91	62	52
Отрада	109	89	91	67	48	102*	104*	88	82	52
Фома	83	81	69	41	41	88	61	57	37	37
Тоболяк	102*	91	64	41	41	121	108	48	63	63
Радужный	108	101*	55	44	44	104*	81	54	21	21
Сириус	92	72	51	33	33	83	75	53	53	53

Примечание. * Изменение недостоверно ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$).

Table 5
Root length index (RLI) of oat varieties of Tyumen breeding at different levels of salinity, % relative to standard

Cultivar	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	111	99*	92	67	45	129	129	63	89	73
Talisman	110	94	81	71	50	87	113	91	62	52
Otrada	109	89	91	67	48	102*	104*	88	82	52
Foma	83	81	69	41	41	88	61	57	37	37
Tobolyak	102*	91	64	41	41	121	108	48	63	63
Raduzhnyy	108	101*	55	44	44	104*	81	54	21	21
Sirius	92	72	51	33	33	83	75	53	53	53

Note. * The change is unreliable ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ at $p = 5\%$).

Таблица 6
Фитозэффект (E_m) солевого стресса различных сортов овса, % от контроля

Сорта	Na ₂ SO ₄ , г/л					NaCl, г/л				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	-19	0	-32	22	51	28	-15	49	15	15
Талисман	-8	-21	-15	-2	23	-42	-46	-31	-38	-27
Отрада	-45	-10	-35	-10	4	-19	-50	-31	-49	3
Фома	-25	-21	11	-7	24	-20	-20	-7	-20	37
Тоболяк	66	59	59	56	72	23	-13	-11	16	-2
Радужный	-26	-16	13	51	29	-47	-57	-39	-20	27
Сириус	-24	-16	4	-10	7	-12	2	-3	39	17

Примечание. Согласно МР 2.1.77297-07, утвержденным 28.12.2007 г., негативное воздействие солей считается доказанным, если фитозэффект составляет 20 % и более.

Table 6
Phytoeffect (E_m) of salt stress of various cultivars of oats, % of standard

Cultivar	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	-19	0	-32	22	51	28	-15	49	15	15
Talisman	-8	-21	-15	-2	23	-42	-46	-31	-38	-27
Otrada	-45	-10	-35	-10	4	-19	-50	-31	-49	3
Foma	-25	-21	11	-7	24	-20	-20	-7	-20	37
Tobolyak	66	59	59	56	72	23	-13	-11	16	-2
Raduzhnyy	-26	-16	13	51	29	-47	-57	-39	-20	27
Sirius	-24	-16	4	-10	7	-12	2	-3	39	17

Note. According to Methodological recommendations 2.1.77297-07 approved on 12/28/2007, the negative effect of salts is considered proven if the phytoeffect is 20 % or more.

Длина первичных корешков, образующихся на ранних этапах онтогенеза, также играет решающую роль в выживаемости и продуктивности растений. Отмечено, что сорта зерновых культур с более длинными первичными корнями обладают высокой устойчивостью к неблагоприятным абиотическим и антропогенным факторам [25; 26]. Средняя длина зародышевых корней изучаемых сортов овса через

7 суток проращивания составила 135 мм. Варьирование длины было в диапазоне от 99 (Мегион) до 169 мм (Сириус). О сортовых особенностях формирования корневой системы овса заявляли, как отечественные, так и зарубежные ученые [27–29]. Анализ индекса длины корней (ИДК) показал, что при концентрации 1 г/л сульфата натрия происходит удлинение первичных корешков. Так, индекс

длины корней у сортов Мегион, Талисман, Отрада и Радужный был достоверно выше ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор.}}$ при $p = 5\%$): 111–118 % относительно контроля (таблица 5). При такой же концентрации длина корней Фомы и Сириуса уменьшилась до 120 и 151 мм, а ИДК составил 83 и 92 % соответственно. Стимулирующий эффект сульфата натрия на длину первичной корневой системы исчез при повышении концентрации до 3 г/л. Негативного влияния не зафиксировано только у сортов Мегион и Радужный. Индекс длины корней остальных сортов снизился до 72–94 %. Концентрация 5 г/л Na_2SO_4 стала критичной для сортов Радужный и Сириус – длина корней уменьшилась до 66 и 84 мм, что на 45 и 49 % меньше контроля. Корневая система в период прорастания остальных сортов уменьшилась не столь значительно: ИДК варьировал от 64 % (Тобояк) до 92 % (Мегион).

На варианте с повышенным содержанием сульфата натрия (7 г/л) все изучаемые сорта овса достоверно уменьшили длину зародышевых корешков до 53–82 мм. Наиболее длинные корни были у Отрады (82 мм) и Талисмана (70 мм) при ИДК 67 и 71 % соответственно. При максимальном засолении, соответствующем сульфатным солончакам Западной Сибири (10 г/л), длина корней этих сортов уменьшилась вдвое, тогда как у остальных сортов индекс длины корней был в диапазоне от 33 (Сириус) до 45 % (Мегион).

Хлорид натрия, как показали наши исследования, обладает меньшим токсическим эффектом. Стимулирующий эффект проявлялся при более высоких концентрациях (1–3 г/л). Положительно реагировали сорта Мегион и Тобояк, корни которых были длиннее контроля на 29 и 8 % соответственно. Следует обратить внимание на сорт Талисман, у которого ИДК был достоверно ниже – 87 % от контроля на варианте с минимальной концентрацией хлорида натрия (1 г/л), но при более высокой (3 г/л) был зафиксирован стимулирующий эффект – длина корней увеличилась до 160 мм, а ИДК составил 113 % ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор.}}$ при $p = 5\%$). Аналогичная особенность была обнаружена и у сорта Мегион, индекс длины корней которого при концентрации 5 г/л был 63 %, но уже при более высокой концентрации (7 г/л) корни стали длиннее на 42 % при ИДК, равном 89 %. У сорта Тобояк схожая закономерность зафиксирована только при более высокой концентрации (5–7 г/л). По нашему мнению, это является сортовой особенностью депонирования ионов натрия в клеточных вакуолях с последующим повышением осмотического давления. Такого же мнения придерживаются и другие ученые [30]. Наиболее сильная негативная реакция на хлоридное засоление при концентрации 5 г/л была отмечена у сортов Фома, Тобояк, Радужный и Сириус: индекс длины корней был в диапазоне 48–57 % от контроля.

Концентрация хлорида натрия 7 г/л, которая часто встречается в солончаковых почвах, обеспечила ухудшение роста первичных корешков: ИДК варьировал от 21 (Радужный) до 89 % (Мегион). Согласно градации устойчивости сортов овса на ранних этапах онтогенеза, предложенной ВИР им. Вавилова, устойчивыми к хлоридному засолению оказались Отрада и Мегион. На варианте с максимальной концентрацией хлорида натрия сорта Радужный и Фома характеризовались минимальным значением индекса длины корней – 21 и 37 %, тогда как у сортов Тобояк и Мегион данный показатель был в 2 и более раза выше. Столь существенная разница дает возможность провести ранжирование сортов и группировку по степени устойчивости овса к водорастворимым солям.

Степень воздействия стресса, вызываемого различными абиотическими факторами, возможно установить при расчете фитoeffекта – показателя, который показывает степень уменьшения (изменения) признака относительно контроля. Для определения фитoeffекта обычно используют длину корней, но на стадии прорастания однодольных семян это имеет определенные трудности методического характера. Наличие мочковатой корневой системы затрудняет полноценную оценку степени уменьшения длины корней, что искажает результат расчета [31]. Чтобы исключить такую вероятность, было принято решение провести расчет фитoeffекта по воздушно-сухой массе первичных корешков.

Фитoeffект различных концентраций сульфата и хлорида натрия показал, что устойчивость к токсическому действию сульфатного и хлоридного засоления является сортовой особенностью и, следовательно, закреплена на генетическом уровне. Так, сорт Тобояк характеризовался максимальной чувствительностью к сульфату натрия во всем диапазоне изучаемых концентраций – фитoeffект варьировал от 57 до 72 % (таблица 6). В то же время он достаточно хорошо прорастал при концентрации хлорида натрия от 3 до 10 г/л. Следует отметить, что на варианте с концентрацией 1 г/л NaCl фитoeffект превысил пороговое значение в 20 %, что указывает на негативную реакцию. Однако при более высоком уровне хлоридного засоления растения быстрее адаптировались к стрессу. Аналогичный эффект отмечала группа ученых J. P. Martinez, J. M. Kinet, M. Vajji и S. Lutts, проводя эксперименты с галофитами (*Atriplex halimus* L.). По их мнению, защитный механизм растений включался по мере накопления хлорида натрия в вакуолях, что обеспечивало водный баланс клетки [32].

Отсутствие токсического воздействия Na_2SO_4 и NaCl было зафиксировано у сорта Сириус, фитoeffект которого даже при максимальной концентрации (10 г/л) составил 7 и 17 % соответственно. Это указывает на высокую устойчивость к сульфатному

и хлоридному засолению на этапе прорастания. Отсутствие негативного воздействия солей на нарастание корневой массы также было зафиксировано у сорта Отрада – фитозэффект не превышал пороговое значение в 20 % и более. Сорт Фома испытывал стресс только при концентрации сульфата и хлорида натрия 10 г/л, о чем свидетельствует фитозэффект 24 и 37 % соответственно. Наиболее близким к Фоме оказался сорт Талисман с тем отличием, что негативное воздействие максимальной концентрации было только в опыте с хлоридом натрия.

Сорта Мегион и Радужный характеризовались меньшим порогом устойчивости к сульфату натрия относительно других генотипов. Негативная реакция к этой соли достоверно возникла при концентрации 7 г/л. Фитозэффект этих сортов составил 51 и 72 % соответственно. При хлоридном засолении (10 г/л) данный показатель превышал пороговое значение только у сорта Радужный, тогда как у Мегиона фитозэффект составил 15 %.

Для определения солеустойчивости сортов овса местной селекции было проведено ранжирование по комплексу показателей, используемых в данной работе, с последующим ранговым распределением (рис. 3).

Высокая чувствительность к сульфатному и хлоридному засолению была выявлена у сорта Радужный. По совокупности изучаемых показателей данный сорт набрал 26 и 28 баллов. Высокая чувствительность к хлориду натрия была также зафик-

сирована у сорта Сириус, который характеризовался высокой устойчивостью к сульфатному засолению. В категории высокоустойчивых к засолению был отнесен сорт Отрада, который набрал 42 и 50 баллов при сульфатном и хлоридном засолении соответственно. Данный сорт является перспективным для дальнейшей селекции солеустойчивых сортов овса. Помимо этого, Отраду и Радужный возможно использовать в дальнейшем для изучения генетической устойчивости к сульфату и хлориду натрия. При использовании квартильного анализа были установлены диапазоны степени устойчивости по рангу сортов: Q1 (< 30 баллов) – соответствует сортам, чувствительным к хлоридному и сульфатному засолению с концентрацией от 7 г/л и выше; (Q2 + Q3) ранг от 31 до 37 баллов – среднеустойчивые сорта; Q4 (> 37 баллов) – высокоустойчивые к засолению сорта.

Таким образом, ряд сортов овса Тюменской селекции по степени устойчивости к Na_2SO_4 имеет вид: Радужный > Мегион > Талисман > Фома > Сириус > Тобояк > Отрада. Ряд по устойчивости к хлоридному засолению имеет некоторые отличия: Сириус > Радужный > Мегион > Фома > Тобояк > Талисман > Отрада. Так, сорт Сириус будет интересным для изучения механизма избирательной устойчивости, поскольку он проявил себя высокоустойчивым к Na_2SO_4 , но очень чувствительным к NaCl , раствор которого уже в минимальной концентрации 1 г/л вызывает достоверное негативное влияние в процессе прорастания зерна.

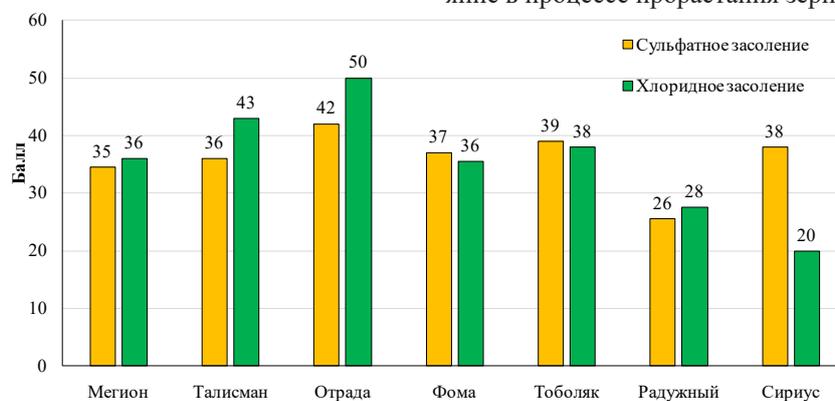


Рис. 3. Ранговое распределение сортов по солеустойчивости, баллов

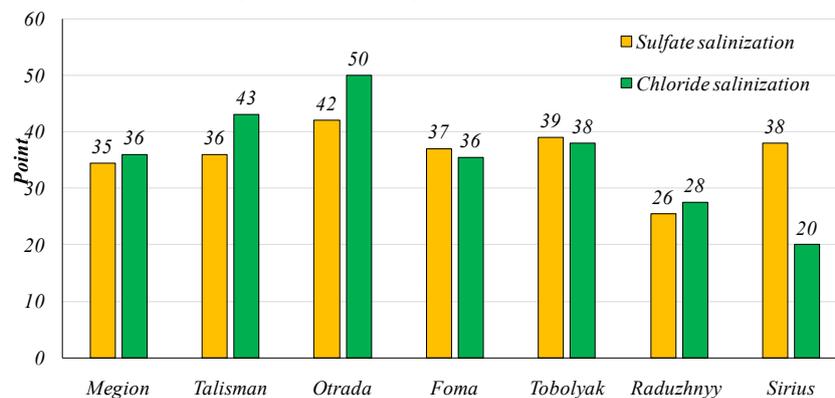


Fig. 3. The rank distribution of cultivars by salt resistance, score

Такие генотипы, как Мегион, Фома и Тоболяк, перспективны для дальнейшего изучения механизмов солеустойчивости и селекционной работы с целью создания устойчивых к засолению сортов овса.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. В ходе проведенных лабораторных исследований было установлено, что для сортов овса характерен разный порог концентрации сульфата и хлорида натрия, вызывающий стресс в период прорастания зерна. Так, достоверное снижение лабораторной всхожести Талисмана и Фомы начиналось при концентрации сульфата натрия 5 г/л, а остальных сортов – только при 7 г/л. При хлоридном засолении порог концентрации, вызывающий снижение всхожести, был выше – от 7 г/л.

2. Стресс, вызываемый хлоридом натрия, начинает проявляться в торможении процесса прорастания уже при концентрации 3 г/л – индекс скорости

прорастания сортов Сириус, Фома и Радужный составил 21, 32 и 55 % соответственно при контрольных значениях 70–80 %. Сульфатное засоление в меньшей степени затормаживает процесс прорастания, но обладает более выраженным токсическим действием.

3. Ряд степени устойчивости сортов овса к засолению от чувствительных к высокоустойчивым имеет следующий вид: для сульфата натрия: Радужный > Мегион > Талисман > Фома > Сириус > Тоболяк > Отрада; для хлорида натрия: Сириус > Радужный > Мегион > Фома > Тоболяк > Талисман > Отрада.

4. Генотипы Талисман, Отрада и Тоболяк рекомендуются как перспективные родительские формы в селекционном процессе для создания солеустойчивых сортов овса.

Библиографический список

1. Котенко М. Е., Сорокин А. Е., Савич В. И. Изменение засоления почв во времени и в пространстве // Плодородие. 2020, № 1 (112). С. 43–48. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.13.
2. Горехова И. Н., Панкова Е. И. Проблемы организации мониторинга засоления орошаемых почв // Аридные экосистемы. 2024. Т. 30, № 1. С. 22–30. DOI: 10.24412/1993-3916-2024-1-22-30.
3. Беловолова А. А., Громова Н. В., Голосной Н. В. Солеустойчивость зернобобовых культур и их сортовая разнокачественность // Вестник АПК Ставрополя. 2021. № 4 (44). С. 21–26. DOI: 10.31279/2222-9345-2021-10-43-21-26.
4. Bai J., Yan W., Wang Y., Yin Q., Liu J., Wight C., Ma. Screening Oat Genotypes for Tolerance to Salinity and Alkalinity // Frontiers in Plant Science. 2018. No. 9. Pp. 1302. DOI: 10.3389/fpls.2018.01302.
5. Kiani B. H. Metabolomic profiling of different cereals during biotic and abiotic stresses // In: Roychoudhury A., Aftab T., Acharya K. (eds.) Omics Approach to Manage Abiotic Stress in Cereals. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-0140-9-7.
6. Иванищев В. В. О механизмах солеустойчивости растений и специфике влияния засоления // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2019. № 4. С. 76–88.
7. Loskutov I. G. Advances in cereal crops breeding // Plants. 2021. Vol. 10, No. 8. Article number 1705. DOI: 10.3390/plants10081705.
8. Шахова О. А., Якубышина Л. И. Солеустойчивость сортов ячменя при хлоридном, содовом и сульфатном засолении // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (102). С. 61–65. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-61-65.
9. Косых Л. А., Никонорова Ю. Ю. Оценка сортов ярового ячменя на устойчивость к солевому стрессу // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 11. С. 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_11_31.
10. Любимова А. В., Еремин Д. И., Мамаева В. С. Каталог биохимических паспортов сортов овса посевного сибирской селекции // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5 (182). С. 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83.
11. Любимова А. В., Фомина М. Н., Еремин Д. И. Аллельное состояние проламин-кодирующих локусов нового сорта овса посевного «Тоболяк» // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 3. С. 123–131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131.
12. Иванова Ю. С., Фомина М. Н., Ярославцев А. А. Оценка коллекции овса по основным биохимическим показателям качества в условиях Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 1. С. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11.
13. Фомина М. Н., Иванова Ю. С., Пай О. А., Брагин Н. А. «Тоболяк» – сорт овса ярового универсального использования // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 2. С. 107–113. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-107-113.
14. Андреева О. В. Оценка перспективных сортов овса ярового на выщелоченном черноземе Чувашской Республики в 2023 году // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2023. С. 3–5.
15. Курачев В. М., Рябова Т. Н. Засоленные почвы Западной Сибири // Новосибирск: Новосибирское отделение издательства «Наука», 1981. 153 с.

16. Черноусенко Г. И. Засоленные почвы котловин юга Восточной Сибири. Москва: ООО «МАКС Пресс», 2022. 480 с. DOI: 10.29003/m2657.978-5-317-06783-0.
17. Бухаров А. Ф., Балеев Д. Н., Бухарова А.Р. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. № 2. С. 5–19.
18. Попов А. М. Квантили, квартили, децили и центили в статистических расчетах // Передача, прием, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах. Сочи: Издательский дом «Академия Жуковского», 2023. С. 429–443.
19. Максимов В. Н. О ранговых распределениях в экологии сообществ с точки зрения статистики // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2004. № 3. С. 352–341.
20. Еремин Д. И., Менщикова А. А., Сергеева Т. Е., Касторнова М. Г. Устойчивость сортов овса краснодарской селекции к солевому стрессу на начальном этапе онтогенеза // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 8. С. 14–19. DOI: 10.53859/02352451-2022-36-8-14.
21. Chauhan A., AbuAmarah B. A., Kumar, et al. A., Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of oat cultivars // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 6 (22). Pp. 1298–1304. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.04.014.
22. Иванов А. А. Совместное действие водного и солевого стрессов на фотосинтетическую активность листьев пшеницы разного возраста // Физиология и биохимия культурных растений. 2013. Т. 45, № 2. С. 155–163.
23. Меджидова Г. С., Грайбекова Н. А., Шафизаде Н. А. Солеустойчивость ячменя (*Hordeum vulgare* subsp. *vulgare* var. *glabriparallelum* Orł.) сорта Джамиль // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры: материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. В 2-х частях. Часть 1. Минск, 2022. С. 425–428.
24. Войцуккая Н. П. Овес: агробиологическая характеристика образцов в условиях Краснодарского края. Санкт-Петербург: Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», 2021. 102 с. DOI: 10.30901/978-5-907145-78-8.
25. Шахова О. А. Особенности формирования корневых систем зерновых культур в условиях лесостепи Зауралья // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (71). С. 38–41.
26. Колпакова Д. Е., Серазетдинова Н. В., Фотина Н. В. [и др.] Микробная биофортификация злаковых культур: перспективы и текущее развитие // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54, № 2. С. 191–211. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2500.
27. Тарасов С. И., Кравченко М. Е., Бужина Т. А. Биологический круговорот питательных веществ при использовании удобрений и биоресурсов в системах земледелия различной интенсификации: коллективная монография. Суздаль – Иваново: Верхневолжский федеральный аграрный научный центр ; ПресСто, 2021. 312 с. DOI: 10.51961/9785604637456.
28. Krishna G. Study of root system architectural traits of oat and response to endophyte inoculation and drought stress: dissertation ... Agronomy, Horticulture, and Plant Science (PhD) // Open PRAIRIE. Electronic Theses and Dissertations. 2022. URL: <https://openprairie.sdstate.edu/etd2/449> (дата обращения: 13.09.2024).
29. Khan Md. T., Faisal N., Gao, Yo., Wang Ya., Zeng X., Yuegao Hu. A larger root system in oat (*Avena Nuda* L.) is coupled with enhanced biomass accumulation and hormonal alterations under low nitrogen // Applied Ecology and Environmental Research. 2019. Vol. 17. Pp. 4631–4653.
30. Atta K., Mondal S., Gorai S., Singh A. P., Kumari A., Ghosh T., Roy A., Hembram S., Gaikwad D. J., Mondal S., Bhattacharya S., Jha U. C., Jespersen D. Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection // Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. Article number 1241736. DOI: 10.3389/fpls.2023.1241736.
31. Воронова Л. П., Флерчук В. Л. Поногайбо К. Э. Оценка потенциального риска хлоридов и их влияние на всхожесть семян и развитие проростков растений // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 1. С. 156–165. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-1-156-165.
32. Martinez J. P., Kinet J. M., Bajji M., Lutts S. NaCl alleviates polyethylene glycol-induced water stress in the halophyte species *Atriplex halimus* L. // Ibid. 2005. No. 419. Pp. 2421–2431.

Об авторах:

Дмитрий Иванович Еремин, доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, п. Московский, Тюменская область, Россия; ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870. E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Виктория Викторовна Сахарова, заведующая лабораторией аналитических исследований и технологической оценки качества зерна, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Заура-

ля – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, п. Московский, Тюменская область, Россия; ORCID 0009-0006-4996-5542, AuthorID 1143913.

E-mail: saharova.vv@edu.gausz.ru

Юлия Владимировна Савельева, младший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, п. Московский, Тюменская область, Россия; ORCID 0009-0002-8445-3754, AuthorID 1196853. E-mail: savelyeva25@mail.ru

Павел Сергеевич Бататин, младший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, п. Московский, Тюменская область, Россия; ORCID 0009-0006-2081-9664, AuthorID 1256572. E-mail: batatin3@gmail.com

References

1. Kotenko M. E., Sorokin A. E., Savich V. I. Changes in soil salinity in time and space. *Fertility*. 2020; 1 (112): 43–48. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.13. (In Russ.)
2. Gorokhova I. N., Pankova E. I. Problems of organization of monitoring of salinization of irrigated soils. *Arid Ecosystems*. 2024; 30 1: 22–30. DOI: 10.24412/1993-3916-2024-1-22-30.
3. Belovolova A. A., Gromova N. V., Golosnoy N. V. Salt resistance of leguminous crops and their varietal heterogeneity. *Bulletin of Agroindustrial Complex of Stavropol Territory*. 2021; 4 (44): 21–26. DOI: 10.31279/2222-9345-2021-10-43-21-26. (In Russ.)
4. Bai J., Yang W., Wang I., Yin K., Liu J., White S. Screening Ma. Of oat genotypes for resistance to salinity and alkalinity. *Frontiers in Plant Science*, 2018; 9: 1302. DOI: 10.3389/fpls.2018.01302.
5. Kiani B. H. Metabolomic profiling of various cereals during biotic and abiotic stresses. In: Roychoudhury A., Aftab T., Acharya K. (eds.) *The Omics Approach to Abiotic Stress Management in Cereals*. Singapore: Springer, DOI: 10.1007/978-981-19-0140-9-7.
6. Ivanishchev V. V. On the mechanisms of salt resistance of plants and the specifics of the effect of salinization. *Proceedings of Tula State University. Natural Sciences*. 2019; 4: 76–88. (In Russ.)
7. Loskutov I. G. Achievements in the breeding of grain crops. *Plants*. 2021; 10 (8): 1705. DOI: 10.3390/plants10081705.
8. Shakhova O. A., Yakubyshina L. I. Salt resistance of barley varieties under chloride, soda and sulfate salinization. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2023; 4 (102): 61–65. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-61-65. (In Russ.)
9. Kosykh L. A., Nikonorova Yu. Yu. Assessment of spring barley varieties for resistance to salt stress. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2022; 36 (11): 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_11_31.
10. Lyubimova A. V., Eremin D. I., Mamaeva V. S. Catalog of biochemical passports of oat varieties of Siberian breeding. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; 5 (182): 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83. (In Russ.)
11. Lyubimova A. V., Fomina M. N., Eremin D. I. The allelic state of the prolamine-coding loci of a new variety of oats “Tobolyak”. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022; 183 (3): 123–131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131.
12. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Yaroslavtsev A. A. Evaluation of the oat collection according to the main biochemical quality indicators in the conditions of the Tyumen region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (1): 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11. (In Russ.)
13. Fomina M. N., Ivanova Y. S., Pai O. A., Bragin N. A. “Tobolyak” is a variety of spring oats of universal use. *Works on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021. 182 (2): 107–113. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-107-113.
14. Andreeva O. V. Evaluation of promising varieties of spring oats on leached chernozem of the Chuvash Republic in 2023. *Scientific, educational and applied aspects of production and processing of agricultural products: collection of materials of the VII International scientific and practical conference, Cheboksary, 2023*. Pp. 3–5. (In Russ.)
15. Kurachev V. M., Ryabova T. N. *Saline Soils of Western Siberia*. Novosibirsk: Novosibirsk branch of the publishing house “Nauka”, 1981. 153 p. (In Russ.)
16. Chernousenko G. I. *Saline soils of the hollows of the south of Eastern Siberia*. Moscow: MAKS Press LLC, 2022. 480 p. DOI: 10.29003/m2657.978-5-317-06783-0. (In Russ.)
17. Bukharov A. F., Baleev D. N., Bukharova A. R. Kinetics of seed germination. Research methods and parameters. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2017; 2: 5–19. (In Russ.)
18. Popov A. M. Quantiles, quartiles, deciles and cents in statistical calculations. In: *Transmission, reception, processing and display of information about fast-moving processes*. Sochi: Publishing House “Zhukovskiy Academy”. 2023; 429–430 p. (In Russ.)
19. Maksimov V. N. On rank distributions in community ecology from the point of view of statistics. *Izvestiâ Akademii Nauk. Rossijskaâ Akademiâ Nauk. Seriâ Biologičeskaâ*; 2004; 3: 352–341. (In Russ.)

20. Eremin D. I., Menshchikova A. A., Sergeeva T. E., Kastornova M. G. Resistance of Krasnodar oat varieties to salt stress at the initial stage of ontogenesis. *Achievements of Science and Technology of the AIC*. 2022; 36 (8): 14–19. DOI: 10.53859/02352451-2022-36-8-14.
21. Chauhan A., Abuamara B. A., Kumar. Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of oat cultivars. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2019; 6 (26): 1298–1304. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.04.014.
22. Ivanov A. A. The combined effect of water and salt stress on the photosynthetic activity of wheat leaves of different ages. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*. 2013; 2 (45): 155–163.
23. Medzhidova G. S., Graybekova N. A., Shahizade N. A. Bird of prey (*Hordeum vulgare* subsp. *vulgare* var. *glabriparallelum* Eagle) varieties “Jamil”. *Introduction, conservation and use of biological diversity of flora: materials of the international scientific conference dedicated: Proceedings of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus*. In 2 parts. Part 2. Minsk, 2022. 425–428.
24. Voytsutskaya N. P. *Oats: agrobiological characteristics of samples in the conditions of the Krasnodar Territory*. Saint Petersburg: Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, 2021. 102 p. DOI: 10.30901/978-5-907145-78-8. (In Russ.)
25. Shakhova O. A. Features of the formation of root systems of grain crops in the conditions of the forest-steppe of the Trans-Urals. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. 2022; 4 (71): 38–41. (In Russ.)
26. Kolpakova D. E., Serazetdinova N. V., Fotina N. V., et al. Microbial biofortification of cereals: prospects and current development. *Technique and Technology of Food Production*. 2024; 2 (54): 191–211. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2500.
27. Tarasov S. I., Kravchenko M. E., Buzhina T. A. *Biological circulation of nutrients when using fertilizers and bioresources in farming systems of various intensification: a collective monograph*. Suzdal – Ivanovo: Upper Volga Federal Agrarian Research Center ; PresSto. 2021. 312 p. DOI: 10.51961/9785604637456. (In Russ.)
28. Krishna G. Study of root system architectural traits of oat and response to endophyte inoculation and drought stress: dissertation ... Agronomy, Horticulture, and Plant Science (PhD). *Open PRAIRIE. Electronic Theses and Dissertations* [Internet]. 2022 [cited 2024 Sep 13]. Available from: <https://openprairie.sdstate.edu/etd2/449>.
29. Khan Md. T., Faisal N., Gao, Yo., Wang Ya., Zeng X., Yuegao Hu. A larger root system in oat (*Avena Nuda* L.) is coupled with enhanced biomass accumulation and hormonal alterations under low nitrogen. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019; 17: 4631–4653.
30. Atta K., Mondal S., Gorai S., Singh A. P., Kumari A., Ghosh T., Roy A., Hembram S., Gaikwad D., Mondal S., Bhattacharya S., Ja Y. K., Jespersen D. The effect of salt stress on cultivated plants: increasing salt resistance using genetic and molecular analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1241736. DOI: 10.3389/fpls.2023.1241736.
31. Voronova L. P., Flerchuk V. L., Ponogaibo K. E. Assessment of the potential risk of chlorides and their effect on seed germination and the development of plant seedlings. *Theoretical and Applied Ecology*. 2024; 1: 156–165. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-1-156-165.
32. Martinez J. P., Kinet J. M., Bajji M., Latts S. NaCl reduces water stress caused by polyethylene glycol in halophytes of the species *Atriplex halimus* L. *Ibid*. 2005; 419: 2421–2431.

Authors' information

Dmitriy I. Eremin, doctor of biological sciences, deputy director for scientific work, Leading Researcher laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870.

E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

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

Yuliya V. Savelyeva, junior researcher at the laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0009-0002-8445-3754, AuthorID 1196853. *E-mail: savelyeva25@mail.ru*

Pavel S. Batatin, junior researcher at the laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0009-0006-2081-9664, AuthorID 1256572. *E-mail: batatin3@gmail.com*

Методы извлечения антоцианов из растительного сырья и способы очистки (обзор)

И. А. Капитова✉, К. В. Павлов

Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия

✉E-mail: kiastandart@mail.ru

Аннотация. Целью настоящего обзора было представление современных достижений в области извлечения и очистки антоцианов, а также обсуждение результативности и эффективности этих методов. **Методы.** Проведен анализ научных материалов, статей и баз данных, содержащих информацию о методах извлечения антоцианов из различных растительных объектов и способах очистки антоцианов. **Научная новизна.** В последние десятилетия широко признано, что ежедневное употребление лекарственных трав, фруктов и овощей обеспечивает широкий спектр преимуществ для здоровья человека. Это благотворное влияние обусловлено составом продуктов, изобилующих биологически активными соединениями, способными модулировать различные процессы в организме человека, регулировать уровень глюкозы и укреплять иммунную систему. В последние десятилетия специалисты по всему миру изучают разнообразную биологическую активность антоцианов. Исследования показали, что антоцианы обладают противораковым, противомутагенным, антивозрастным действием, активны в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний, при этом будучи безопасными и нетоксичными. В настоящее время антоцианы широко применяются в качестве биологически активных добавок, косметике, продуктах здорового питания и пищевой промышленности. Исследования по методам экстракции и очистки антоцианов из растений в последнее время стали актуальными и востребованы. В обзоре проанализированы преимущества и недостатки современных и наиболее распространенных методов экстракции и очистки антоцианов. **Результаты.** В настоящей статье критически рассмотрены шесть видов экстракции антоцианов (жидкостная экстракция растворителем, ультразвуковая экстракция, микроволновая экстракция, экстракция сверхкритическим диоксидом углерода, экстракция глубокими эвтектическими растворителями, или ионными жидкостями, и экстракция с помощью ферментов), а также их комбинации и четыре метода очистки (колоночная хроматография, высокоскоростная противоточная хроматография, мембранная фильтрация и препаративная высокоэффективная жидкостная хроматография). В обзоре представлены последние достижения в области экстракции и очистки антоцианов, методы определения скорости экстракции и чистоты антоцианов.

Ключевые слова: антоцианы, методы извлечения, способы очистки, антиоксиданты

Для цитирования: Капитова И. А., Павлов К. В. Методы извлечения антоцианов из растительного сырья и способы очистки (обзор) // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 245–253. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-245-253>.

Дата поступления статьи: 06.08.2024, **дата рецензирования:** 22.10.2024, **дата принятия:** 30.10.2024.

Methods of extracting anthocyanins from plant material and purification techniques (review)

I. A. Kapitova✉, K. V. Pavlov

Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology, and Nursery, Moscow, Russia

✉E-mail: kiastandard@gmail.com

Abstract. The purpose of this review was to present the latest advancements in the extraction and purification of anthocyanins, as well as to discuss the effectiveness and efficiency of these methods. **Methods.** The analysis was conducted on scientific literature, articles, and databases containing information on methods for extracting anthocyanins from various plant sources and purification techniques. **Scientific novelty.** In recent decades, it has been widely recognized that the daily consumption of medicinal herbs, fruits, and vegetables provides a wide range of health benefits. This beneficial effect is attributed to the composition of these products, which are rich in bioactive compounds capable of modulating various processes in the human body, regulating glucose levels, and strengthening the immune system. In recent decades, researchers worldwide have been studying the diverse biological activities of anthocyanins. Studies have shown that anthocyanins possess anti-cancer, anti-mutagenic, anti-aging properties, and are active in the prevention and treatment of cardiovascular diseases, while being safe and non-toxic. Currently, anthocyanins are widely used as dietary supplements, in cosmetics, health foods, and the food industry. Research on the methods of anthocyanin extraction and purification from plants has recently gained relevance and demand. This review analyzes the advantages and disadvantages of modern and most common methods of anthocyanin extraction and purification. **Results.** This article critically reviews six types of anthocyanin extraction (solvent liquid extraction, ultrasonic extraction, microwave extraction, supercritical carbon dioxide extraction, deep eutectic solvent extraction or ionic liquids, and enzyme-assisted extraction), as well as their combinations and four purification methods (column chromatography, high-speed counter-current chromatography, membrane filtration, and preparative high-performance liquid chromatography). The review presents the latest advancements in the extraction and purification of anthocyanins, analyzes, and compares the effects of various extraction and purification methods, and methods for determining the extraction rate and purity of anthocyanins.

Keywords: anthocyanins, extraction methods, purification techniques, antioxidants

For citation: Kapitova I. A., Pavlov K. V. Methods of extracting anthocyanins from plant material and purification techniques (review). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 245–253. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-245-253>. (In Russ.)

Date of paper submission: 06.08.2024, **date of review:** 22.10.2024, **date of acceptance:** 30.10.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Все больше исследований подтверждают, что антоцианы обладают разнообразной биологической активностью, в том числе антиоксидантными, иммуномодулирующими, противоопухолевыми, омолаживающими и противовоспалительными свойствами. Антоцианы широко используются как функциональные добавки в продуктах питания, продуктах для здоровья, косметике, медицине, химической промышленности и других областях [1]. Способность антоцианов противодействовать окислительному стрессу, предотвращать развитие воспалительных процессов и защищать органы и клеточные компоненты человека служат предметом продолжающихся исследований [2].

Извлечение антоцианов из природного сырья и их очистка являются условиями их промышленного применения. Методы и способы наиболее эффективной и безопасной экстракции антоцианов

из растительного сырья и их очистки постоянно совершенствуются и представляют интерес для современных «зеленых» производств [3; 4].

Антоцианы широко распространены во всех частях растений: листьях, плодах, корнях и стеблях, — придавая им синюю, розовую, красную, пурпурную или черную окраску [5]. Многочисленные исследования антоцианов показывают, что они участвуют в тушении свободных радикалов, проявляют антимикробные [6], протвораковые [7] и защитные для организма свойства. Низкая токсичность и высокая безопасность антоцианов были подтверждены исследованиями *in vitro* и *in vivo* [8].

В настоящее время антоцианы извлекают главным образом из овощей и фруктов, окрашенных семян, отходов переработки плодов и ягод [9]. Виноградный жмых, мезга малины и шелковицы, другие остатки от переработки растительной продукции богаты антоцианами [10]. Комплексное

использование плодовоовощного сырья, в том числе отходов виноделия, производства соков и фруктово-ягодных консервов, не только может повысить коэффициент использования плодовой продукции, решить проблему утилизации промышленных отходов и снизить затраты на мероприятия по защите окружающей среды, но и позволяет получить ценные продукты с высокой добавленной стоимостью для повышения экономической прибыли. Согласно литературным данным, антоцианы могут применяться в качестве биологически активных добавок и лекарственных средств для профилактики и лечения различных заболеваний [11]. Для медицинского употребления необходимы особая степень очистки антоцианов и длительное сохранение их антиоксидантной активности. В настоящее время исследования по экстракции антоцианов в основном направлены на оптимизацию конкретного процесса экстракции или выбор оптимального метода экстракции путем сравнения различных процессов экстракции и определение скорости экстракции общего количества антоцианов в качестве показателя. Процесс лабораторной экстракции должен быть тесно связан с промышленным производством, и данные лабораторных исследований следует использовать для обеспечения большей информационной поддержки при моделировании промышленного производства.

Этот обзор может послужить научной основой для дальнейших исследований и промышленного использования наиболее эффективных и безопасных методов экстракции антоцианов.

Методология и методы исследования (Methods)

Для аналитического обзора были использованы открытые источники, а также электронные научные библиотеки и базы данных (eLibrary, DPVweb.net, Google Scholar), содержащие информацию о методах извлечения антоцианов из растительного сырья и способах очистки.

Результаты (Results)

1. Структура и стабильность антоцианов

Антоцианы – это природные органические соединения, относящиеся к биофлавоноидам, они представляют собой окрашенные гликозиды, содержащие в качестве агликона гидроксид- и метоксизамещенные соли 2-фенилхроменилия, иногда дополнительно ацилированные различными органическими кислотами, связанные с моно- (обычно глюкозой, галактозой, рамнозой), ди- и трисахаридами. Самые распространенные среди них – цианидин, петунидин, пеонидин, пеларгонидин, дельфинидин и мальвидин. Различия в свойствах и окраске антоцианов обусловлены главным образом положением гликозидной связи в молекуле, типом и количеством остатков сахаров, количеством и положением гидроксильных и метоксильных групп, наличием ацильных остатков и т. д. Кроме того, на

окраску антоцианов – от красной до синей – сильно влияет кислотность среды. Антоцианы хорошо растворимы в воде, поэтому находятся в вакуолярном соке растительных клеток. Молекулы антоцианов содержат ненасыщенные двойные связи и легко окисляемые группы, что приводит к их крайней неустойчивости. Заряженное пирилийное кольцо пигментов легко раскрывается уже в слабощелочной среде ($\text{pH} > 8$) [12]. Основными факторами, влияющими на деградацию антоцианов, являются значение pH , температура и присутствие кислорода, а второстепенными – ферменты, ионы металлов, аскорбиновая кислота и продукты ее окисления. На стабильность антоцианов влияет их структура, т. е. количество и положение гидроксильных групп, степень гликозилирования, метилирования и ацилирования [13]. Поэтому условия экстракции (соотношение твердой матрицы и экстрагента, мощность примененного ультразвука или сверхвысокочастотного излучения, температуру и продолжительность экстракции) необходимо обоснованно контролировать для оптимизации скорости и полноты извлечения антоцианов.

2. Методы экстракции

С развитием технологий извлечения антоцианов их пищевое и медицинское использование приобретают все большее значение. К настоящему времени испробованы все известные методы экстракции.

Технически в основе метода *жидкостной экстракции растворителем* лежит принцип растворимости подобного в подобном. Чаще всего для экстракции антоцианов используют метанол, этанол, подкисленную воду или подкисленный этанол [14]. Анализ известных источников показывает, что оптимальные условия для экстракции растворителями имеют следующие параметры: время экстракции от 5 мин. до 4,2 ч, температура экстракции 34–52 °С, соотношение массы сырья к объему экстрагента от 1 : 15 до 1 : 30 [15; 16]. В целом метод экстракции растворителем обладает рядом преимуществ, такими как простота оборудования и технологического оформления, но имеет существенные недостатки, среди которых низкая эффективность, большой расход растворителя и высокая температура.

Для устранения ограничений традиционной жидкофазной экстракции растворителем были испробованы другие современные и эффективные методы экстракции, позволившие увеличить выход антоцианов. Среди них широко используются ультразвуковая экстракция, микроволновая экстракция, экстракция сверхкритическим диоксидом углерода, ультразвуковая ферментативная экстракция, ультразвуковая глубокая эвтектическая экстракция растворителями (ионными жидкостями), экстракция с одновременным использованием ультразвука и микроволн.

Ультразвуковая экстракция использует эффект кавитации и силы трения в жидкости, создаваемыми ультразвуком с частотой от 20 кГц до 50 МГц, для повышения производительности процесса и сокращения времени операции [17]. Применение ультразвука до определенной степени улучшает экстракцию антоцианов по сравнению с экстракцией растворителем. Выход антоцианов значительно выше при ультразвуковой экстракции, это явление можно объяснить модификацией микроструктуры сырья, что приводит к увеличению выхода специфических антоцианов, таких как цианидин-3-галактозид, дельфинидинхлорид, цианидин и петунидин. Однако извлечение антоцианов ультразвуком может разрушать структуру антоцианов, тем самым понижать их выход и антиоксидантные свойства, поэтому необходимо строго контролировать условия процесса (мощность ультразвука, температуру процесса, соотношение сырья и растворителя).

Микроволновая экстракция используется для увеличения степени извлечения антоцианов и большей эффективности по сравнению с обычной жидкостной экстракцией. Механизм микроволновой экстракции основан на собственной ионной проводимости и дипольной релаксации в диэлектрических материалах [18]. Микроволновое излучение быстро повышает температуру растворителя, что снижает вязкость экстрагента и повышает растворимость целевых соединений. Таким образом, эффективность извлечения целевых компонентов повышается с помощью микроволнового излучения. Кроме того, высокочастотное излучение разрушает микроструктуру растительных клеток, что заметно снижает сопротивление массопереносу и усиливает диффузию антоцианов из сырья. В настоящее время этот метод широко используется для экстракции биологически активных соединений из растительных источников, например из фиолетового батата, краснокочанной капусты, ежевики, клюквы, малины [19]. Однако микроволновая экстракция также может привести к разрушению антоцианов из-за чрезмерной вибрации и высокой температуры экстракта. Более того, параметры экстракции (мощность микроволн, время экстракции и соотношение твердого вещества к жидкости) следует строго контролировать для получения высокого выхода антоцианов.

Экстракция сверхкритическим диоксидом углерода как экологически чистая технология быстро совершенствуется и расширяет области своего применения. Преимущества этого метода заключаются в отсутствии отходов, более быстром времени экстракции и сниженном расходе растворителя. Экстракция натуральных пигментов сверхкритическим диоксидом углерода имеет большие перспективы в пищевой промышленности, фармацевтике, косметике и текстиле, а также в других областях при-

менения. Флюидная экстракция сверхкритическим диоксидом углерода в последние годы используется для извлечения антоцианов из природных источников, таких как ягоды жимолости, ягоды и выжимки черники [20]. Вещества переходят в состояние сверхкритического флюида при температурах и давлении выше критических (для углекислоты это 30 °С и 7,38 МПа). По свойствам сверхкритический диоксид углерода находится между газом и жидкостью, он обладает промежуточной плотностью (0,468 г/см³), низкой вязкостью, не имеет поверхностного натяжения из-за отсутствия межфазных границ. Он отличается от традиционных растворителей высокой растворяющей способностью, большим коэффициентом массопередачи, низкой токсичностью, высокой экономичностью затрат и доступностью. Поэтому технология сверхкритической флюидной экстракции имеет многочисленные преимущества, такие как высокая эффективность, экологичность, безопасность, отсутствие загрязняющих выбросов и т. д. [21]. Применение низких температур в процессе извлечения антоцианов из растительного сырья способствует сохранности структуры антоцианов и их антиоксидантных свойств. Данная технология пока не нашла широкого применения в пищевой промышленности из-за высокой стоимости оборудования, значительных технических затрат и высоких профессиональных требований к обслуживающему персоналу.

Со временем были предложены некоторые комбинированные технологии экстракции, например *ультразвуковая ферментная экстракция и ультразвуковая экстракция глубокими эвтектическими растворителями, или ионными жидкостями*. Использование ферментов для разрушения клеточных стенок растений, например целлюлаз и пектиназ, как и обработка ультразвуком, увеличивает выход антоцианов. Ультразвуковая ферментная экстракция широко используется для извлечения антоцианов из виноградной кожуры, выжимок от производства вина [22]. Поскольку обычно антоцианы извлекают органическими растворителями, следует учитывать их токсичность и вред для окружающей среды. Однако, хотя комбинированный метод экстракции может в определенной степени повысить выход антоцианов, сам процесс невозможно точно контролировать. Для реализации крупномасштабного извлечения антоцианов с использованием комбинированного метода экстракции в промышленности необходимо решить множество проблем. Разработка быстрого, безвредного для окружающей среды и эффективного метода извлечения антоцианов из растительных ресурсов требует дальнейшего изучения.

В настоящее время актуально развивать экологически чистые и эффективные методы экстракции антоцианов, сохраняющие их антиоксидантную ак-

тивность. В последние годы все больше исследователей пытаются использовать глубокие эвтектические растворители, или ионные жидкости, вместо классических органических растворителей. Ионные жидкости представляют собой легкоплавкие эвтектические жидкие смеси солей. С момента своего появления ионные жидкости как потенциальные «зеленые» растворители привлекли широкое внимание в различных промышленных областях, включая извлечение биоактивных соединений из различных природных растительных источников [23].

3. Методы очистки антоцианов

В процессе экстракции одновременно извлекаются не только антоцианы, но и растворимые сахара, белки, органические кислоты и другие экстрактивные вещества. Наличие примесей оказывает значительное влияние на физиологическую активность, стабильность и качество антоцианов. Поэтому разделение и очистка экстракта-сырца являются важным этапом для получения антоцианов с высокой стабильностью, физиологической активностью и надлежащим качеством. В настоящее время методы очистки антоцианов в основном включают колоночную хроматографию, мембранное разделение, высокоскоростную противоточную хроматографию и высокоэффективную препаративную жидкостную хроматографию.

Колончатая хроматография является наиболее распространенным методом для разделения и очистки антоцианов. Принцип заключается в том, что коэффициенты распределения антоцианов в твердой и подвижной фазах различны, что позволяет лучше отделять антоцианы от примесей [24]. Насадочная колонна обычно содержит макропористые смолы, Сефадекс G-100 и полиамидные смолы. Макропористая смола, являясь адсорбентом, состоит из высокополимера, имеет пористый каркас и не содержит ионных обменных групп. Кроме того, она обладает такими преимуществами, как высокая скорость адсорбции, большая адсорбционная способность, низкая себестоимость производства и переработки [25]. Таким образом, колончатая хроматография стала очень быстрым методом очистки, который широко используется при разделении и очистке растительных активных компонентов. Чистота антоцианов, полученных элюированием с помощью 40-процентного раствора этанола, в 8,5 раза превышает концентрацию неочищенного экстракта. Однако эта технология не позволяет реализовать крупномасштабную очистку антоцианов в промышленности из-за больших объемов растворителей, энергопотребления, трудоемкости и потому высокой стоимости.

Мембранное фракционирование основано на размерах молекул или частиц (процессы, управляемые давлением), на их заряде (процессы с электрическим приводом) или зависит как от размера, так

и от заряда. В последние годы были разработаны мембранные процессы без воздействия давления (осмотическое давление и воздействие давления пара), которые используются в качестве альтернатив для разделения или фракционирования биологически активных соединений в условиях окружающей среды без ухудшения качества продукта [26]. Эти технологии применяются либо по отдельности, либо в комбинации в виде интегрированной мембранной системы для удовлетворения различных требований к выделению биологически активных соединений. Технология мембранного разделения – это метод, в котором используются искусственные и натуральные синтетические мембраны для разделения и очистки веществ. Весь процесс разделения относится к физическому процессу, который не включает химическую реакцию и обладает преимуществами мягкого действия, отсутствия фазовых переходов при разделении, устойчивостью к кислотам и щелочам, низким энергопотреблением. Технология мембранного разделения основана на различии размеров молекул целевых веществ и примесей и их селективной способности проникать через натуральные или синтетические мембраны с микро-, ультра- или нанопорами. Поэтому эта технология широко используется в биологии, медицине, пищевом производстве и водоподготовке [27].

Высокоскоростная противоточная хроматография как непрерывный метод разделения веществ в системе жидкость – жидкость применяется для выделения биологически активных соединений из природных растительных источников [24]. Этот метод позволяет избежать необратимой адсорбции образцов на твердой фазе, может увеличить объем загрузки образца и облегчить быстрое и крупномасштабное получение биоактивных соединений по сравнению с традиционной колончатой хроматографией. Выбор подходящей системы экстракционных растворителей по-прежнему остается актуальной проблемой, которая не решена окончательно, а технология нуждается в дальнейших исследованиях.

Препаративная высокоэффективная жидкостная хроматография основана на различиях физико-химических свойств каждого компонента в смеси, из-за чего они по-разному распределены в двух несмешивающихся фазах [29]. Преимуществами метода являются эффективность разделения и очистки, высокая точность идентификации целевого компонента и автоматическое непрерывное разделение. Эта технология часто используется для разделения продуктов с высокой добавленной стоимостью, таких как ценные биологически активные вещества, в том числе флавоноиды. Однако для этого метода требуется дорогостоящее оборудование при невысоких объемах переработки сырья.

При обогащении и очистке антоцианов предварительная обработка образцов может помочь повысить скорость экстракции и чистоту антоцианов, сэкономить время, сократить использование органических растворителей и тем самым защитить окружающую среду. В соответствии с производственными требованиями выбор соответствующего оборудования и совместное использование технологии очистки способствуют быстрому получению антоцианов высокой чистоты.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Антоцианы при выделении их из естественной среды нестабильны и в различной степени разлагаются при нагревании в зависимости от нескольких параметров процесса и присутствия других воздействующих молекул. Знание механизма, с помощью которого эти биомолекулы разлагаются, важно для максимизации их биологически активных свойств и визуального качества при промышленной термической обработке или домашнем приготовлении пищи с материалами, богатыми антоцианами. Термическое поведение антоцианов может отличаться в более сложных пищевых матрицах, например в продуктах, обогащенных антоцианами, из-за взаимодействия с некоторыми питательными веществами (белками, полисахаридами), которые могут стабилизировать эти пигменты. Знание механизма разложения антоцианов в различных условиях окружающей среды имеет большое значение для разработки технологий. Основными факторами, влияющими на извлечение антоцианов из ягод и фруктовых остатков, являются характеристики образца (такие как активность воды в образце, жесткость клеточной стенки растения и т. д.) и параметры процесса экстракции (такие как значение pH, растворитель, температура, продолжительность и т. д.). В настоящее время методы экстракции перешли от традиционной жидкостной экстракции растворителем к новым технологиям, таким как экстракция глубоким эвтектическим растворителем, экстракция с помощью ультразвука, экстракция с помощью микроволн и т. д. По сравнению с традиционной экстракцией растворителем новые технологии обладают очевидными преимуществами в отношении скоро-

сти экстрагирования, энергопотребления, времени экстракции и защиты окружающей среды. Однако у новых технологий есть и некоторые недостатки, такие как высокие требования к оборудованию. Исследования по экстракции антоцианов в основном направлены на оптимизацию конкретного процесса экстракции или выбор оптимального метода экстракции путем сравнения скорости экстракции антоцианов. При очистке антоцианов необходимо учитывать такие факторы, как эффективность, стоимость производства и простоту в эксплуатации. Для получения антоцианов высокой чистоты исследуются различные технологии, усовершенствование экстракционного оборудования, оптимизация методов предварительной обработки образцов (таких как тонкое измельчение образца, предварительное замачивание и размягчение, добавление целлюлозы в сырье, паровой взрыв, обработка высоким давлением и т. д.). Большинство процессов пищевой промышленности требуют высокой температуры, главным образом для обеспечения безопасности пищевых продуктов и продления срока их хранения. Температура процесса является критическим параметром, который влияет на матрицу пищевых продуктов, изменяя термочувствительные соединения, такие как антоцианы, в зависимости от величины и продолжительности нагрева. Как правило, термическая обработка простых пищевых продуктов, фруктов и овощей оказывает сильное влияние на антоцианы, при этом потеря их содержания варьируется от 28 до 80 %.

Обзор научных и экспериментальных данных в области методов эффективной экстракции и очистки антоцианов пользуется большим спросом, в частности, у исследователей, занимающихся извлечением и применением антоцианов, а также у производителей продуктов питания, в основном заинтересованных в разработке новых продуктов и функциональных продуктов питания. Также современное развитие пищевых производств направлено на экологичность и энергосбережение, что требует новых знаний о методах очистки и переработки сырья, длительного сохранения ценных и полезных свойств конечных продуктов.

Библиографический список

1. Khoo H. E., Azlan A., Tang S. T., Lim S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits // Food and Nutrition Research. 2017. Vol. 61 (1). Article number 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779
2. Егорова О. С., Розина Л. И., Акбулатова Д. Р., Шилкин А. А., Свиридов Д. А., Апрельев А. В. [и др.]. Анализ антоцианового комплекса красителей, полученных из вторичных ресурсов плодового виноделия // Пиво и напитки. 2021. № 4. С. 38–41. DOI: 10.52653/PIN.2021.4.4.010.
3. Соломинова Л. В., Онина С. А., Козлова Г. Г. Извлечение и исследование антоцианов растительного сырья // Бюллетень науки и практики. 2019. № 4. С. 69–75. DOI: 10.33619/2414-2948/41/07.
4. Саласина Я. Ю., Калинин Д. А., Дейнека В. И., Дейнека Л. А. Некоторые закономерности экстракции антоцианов из растительных источников // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10 (4). С. 691–699. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-691-699.

5. Alvarez-Suarez J. M., Cuadrado C., Ballesteros I., Giampieri F., Buelga C.S. Novel approaches in anthocyanin research-plant fortification and bioavailability issues // *Trends in Food Science and Technology*. 2021. Vol. 117. Pp. 92–105. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.01.049.
6. Pertuzatti P. B., Barcia M. T., Rebello L. P. G., Gomez-Alonso S., Duarte R. M. T., Duarte M. C. T., Hermosin-Gutierrez I. Antimicrobial activity and differentiation of anthocyanin profiles of rabbiteye and highbush blueberries using HPLC-DAD-ESI-MSn and multivariate analysis // *Journal of Functional Foods*. 2016. Vol. 26. Pp. 506–516. DOI: 10.1016/j.jff.2016.07.026.
7. Eroglu Ozkan E., Seyhan M. F., Kurt Sirin O., Yilmaz-Ozden T., Ersoy E., Hatipoglu Cakmar S. D., Goren A. C., Yilmaz Aydogan H., Ozturk O. Antiproliferative effects of Turkish pomegranate (*Punica granatum L.*) extracts on MCF-7 human breast cancer cell lines with focus on antioxidant potential and bioactive compounds analyzed by LC-MS/MS // *Journal of Food Biochemistry*. 2021. Vol. 45. Article number e13904. DOI: 10.1111/jfbc.13904.
8. Zhao X., Yuan Z. Anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum L.*) and their role in antioxidant capacities in vitro // *Chemistry and Biodiversity*. 2021. Vol. 18. Article number e2100399. DOI: 10.1002/cbdv.202100399.
9. Степанович Е. Ю., Алиев П. Н. Анализ содержания антоцианов цианидина, дельфинидина, мальвидина и пеларгонидина в пищевой продукции методом ИК-спектроскопии // *Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества*. 2023. Т. 20. № 4. С. 71–78. DOI: 10.31429/vestnik-20-4-71-78.
10. Соломинова Л. В., Онина С. А., Козлова Г. Г. Извлечение и исследование антоцианов растительного сырья // *Бюллетень науки и практики*. 2019. Т. 5, № 4. DOI: 10.33619/2414-2948/41.
11. Ockermann P., Headley L., Lizio R., Hansmann J. A review of the properties of anthocyanins and their influence on factors affecting cardiometabolic and cognitive health // *Nutrients*. 2021. Vol. 13. Article number 2831. DOI: 10.3390/nu13082831.
12. Zhao Y. W., Wang C. K., Huang X. Y., Hu D. G. Anthocyanin stability and degradation in plants // *Plant Signaling and Behavior*. 2021. Vol. 16. Article number e1987767.
13. West M. E., Mauer L. J. Color and chemical stability of a variety of anthocyanins and ascorbic acid in solution and powder forms // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013. Vol. 61. Pp. 4169–4179.
14. Muangrat R., Williams P. T., Saengcharoenrat P. Subcritical solvent extraction of total anthocyanins from dried purple waxy corn: influence of process conditions // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017. Vol. 41. Pp. 46–50. DOI: 10.1111/jfpp.13252.
15. Herrera-Ramirez J., Meneses-Marentes N., Tarazona Diaz M. P. Optimizing the extraction of anthocyanins from purple passion fruit peel using response surface methodology // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020. Vol. 14. Pp. 72–79.
16. Azman E. M., Charalampopoulos D., Chatzifragkou A. Acetic acid buffer as extraction medium for free and bound phenolics from dried blackcurrant (*Ribes nigrum L.*) skins // *Journal of Food Science*. 2020. Vol. 85. Pp. 3745–3755. DOI: 10.1111/1750-3841.15466.
17. Xue H., Xu H., Wang X., Shen L., Liu H., Liu C., Li Q. Effects of microwave power on extraction kinetic of anthocyanin from blueberry powder considering absorption of microwave energy // *Journal of Food Quality*. 2018. DOI: 10.1155/2018/9680184.
18. Sun Y., Liao X., Wang Z., Hu X., Chen F. Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanin of extracts using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry // *European Food Research and Technology*. 2007. Vol. 225. Pp. 511–523.
19. Liu W., Yang C., Zhou C., Wen Z., Dong X. An improved microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple sweet potato in favor of subsequent comprehensive utilization of pomace // *Food and Bioprocess Technology*. 2019. Vol. 5. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.02.003.
20. Jiao G., Kermanshahi pour A. Extraction of anthocyanins from Haskap berry pulp using supercritical carbon dioxide: influence of co-solvent composition and pretreatment // *LWT*. 2018. Vol. 6. Pp. 237–244. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.08.042.
21. Tian M. X., Li Y. D., Hu W. Z., Wang Y. Y., Jiang A. L., Liu C. H. Optimization of supercritical CO₂ extraction of blueberry anthocyanins using response surface methodology // *Science and Technology of Food Industry*. 2016. Vol. 37. Pp. 208–212. DOI: 10.1126/sciadv.abf1937.
22. Tan J., Li Q., Xue H., Tang J. Ultrasound-assisted enzymatic extraction of anthocyanins from grape skins: optimization, identification, and antitumor activity // *Journal of Food Science*. 2020. Vol. 85. Pp. 3731–3744. DOI: 10.3390/foods9101409.
23. Xue H., Tan J., Li Q., Tang J., Cai X. Optimization ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction of anthocyanins from raspberry using response surface methodology coupled with genetic algorithm // *Foods*. 2020. Vol. 9. Article number 1409. DOI: 10.3390/foods9101409.

24. Xiao H. U., Sun A. D., Zhang D. Q. Separation of anthocyanins from *Perilla frutescens* by high speed counter-current chromatography // *Journal of Chinese Medicinal Materials*. 2010. Vol. 33. Pp. 1586–1588.
25. Wang X. X., Hansen C., Allen K. Identification of anthocyanins isolated from black bean canning waste water by macroporous resin using optimized conditions // *Food and Nutrition Science*. 2013. Vol. 4. Pp. 174–181. DOI: 10.4236/fns.2013.48A021.
26. Martin J., Enrique J., Diaz M., Asuero A. G. Recovery of anthocyanins using membrane technologies: a review // *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2017. Vol. 48. Pp. 143–175. DOI: 10.1080/10408347.2017.1411249.
27. Dong C., Yan X., Li X., Liu S., Liu C. Optimization of ultrasonic-microwave assisted extraction of anthocyanins from mulberry and their antioxidant activities // *China Condiments*. 2020. Vol. 45. Pp. 172–178.
28. Liu Y. Y., Nobutoshi M., Wang L., Zhang S. Preparative high-performance liquid chromatography for the purification of natural acylated anthocyanins from red radish (*Raphanus sativus* L.) // *Journal of Chromatographic Science*. 2008. Vol. 5. Pp. 743–746.

Об авторах:

Ирина Александровна Капитова, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и вирусологических исследований, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия; ORCID 0000-0003-3629-4461, Author ID 1114778. E-mail: kiastandard@gmail.com

Константин Витальевич Павлов, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и вирусологических исследований, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия; ORCID 0009-0004-4445-6314, Author ID 49932. E-mail: pavlovkonsta@yandex.ru

References

1. Khoo H. E., Azlan A., Tang S. T., Lim S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food and Nutrition Research*. 2017; 61 (1): 1361779. DOI: 10.1080/16546628.2017.1361779.
2. Egorova O. S., Rozina L. I., Akbulatova D. R., Shilkin A. A., Sviridov D. A., Aprelev A. V., et al. Analysis of the anthocyanin complex of dyes obtained from fruit winemaking secondary resources. *Beer and Beverages*. 2021; 4: 38–41. DOI: 10.52653/PIN.2021.4.4.010. (In Russ.)
3. Solominova L. V., Onina S. A., Kozlova G. G. Extraction and study of anthocyanins from plant raw materials. *Bulletin of Science and Practice*. 2019; 4: 69–75. DOI: 10.33619/2414-2948/41/07. (In Russ.)
4. Salasina Y. Yu., Kalinikin D. A., Deineka V. I., Deineka L. A. Some regularities of anthocyanin extraction from plant sources. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2020; 10 (4): 691–699. DOI: 10.21285/2227-2925-2020-10-4-691-699. (In Russ.)
5. Alvarez-Suarez J. M., Cuadrado C., Ballesteros I., Giampieri F., Buelga C. S. Novel approaches in anthocyanin research-plant fortification and bioavailability issues. *Trends in Food Science and Technology*. 2021; 117: 92–105. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.01.049.
6. Pertuzatti P. B., Barcia M. T., Rebello L. P. G., Gomez-Alonso S., Duarte R. M. T., Duarte M. C. T., Hermosin-Gutierrez I. Antimicrobial activity and differentiation of anthocyanin profiles of rabbiteye and highbush blueberries using HPLC-DAD-ESI-MSn and multivariate analysis. *Journal of Functional Foods*. 2016; 26: 506–516. DOI: 10.1016/j.jff.2016.07.026.
7. Eroglu Ozkan E., Seyhan M. F., Kurt Sirin O., Yilmaz-Ozden T., Ersoy E., Hatipoglu Cakmar S. D., Goren A. C., Yilmaz Aydogan H., Ozturk O. Antiproliferative effects of Turkish pomegranate (*Punica granatum* L.) extracts on MCF-7 human breast cancer cell lines with focus on antioxidant potential and bioactive compounds analyzed by LC-MS/MS. *Journal of Food Biochemistry*. 2021; 45: e13904. DOI: 10.1111/jfbc.13904.
8. Zhao X., Yuan Z. Anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum* L.) and their role in antioxidant capacities in vitro. *Chemistry and Biodiversity*. 2021; 18: e2100399. DOI: 10.1002/cbdv.202100399.
9. Stepanovich E. Yu., Aliev P. N. Analysis of anthocyanin content of cyanidin, delphinidin, malvidin, and pelargonidin in food products by IR spectroscopy. *Ecological Bulletin of Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation*. 2023; 20 (4): 71–78. DOI: 10.31429/vestnik-20-4-71-78. (In Russ.)
10. Solominova L. V., Onina S. A., Kozlova G. G. Extraction and study of anthocyanins from plant raw materials. *Bulletin of Science and Practice*. 2019; 5 (4). DOI: 10.33619/2414-2948/41. (In Russ.)
11. Ockermann P., Headley L., Lizio R., Hansmann J. A review of the properties of anthocyanins and their influence on factors affecting cardiometabolic and cognitive health. *Nutrients*. 2021; 13: 2831. DOI: 10.3390/nu13082831.

12. Zhao Y. W., Wang C. K., Huang X. Y., Hu D. G. Anthocyanin stability and degradation in plants. *Plant Signaling and Behavior*. 2021; 16: e1987767.
13. West M. E., Mauer L. J. Color and chemical stability of a variety of anthocyanins and ascorbic acid in solution and powder forms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2013; 61: 4169–4179.
14. Muangrat R., Williams P. T., Saengcharoenrat P. Subcritical solvent extraction of total anthocyanins from dried purple waxy corn: influence of process conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017; 41: 46–50. DOI: 10.1111/jfpp.13252.
15. Herrera-Ramirez J., Meneses-Marentes N., Tarazona Diaz M. P. Optimizing the extraction of anthocyanins from purple passion fruit peel using response surface methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020; 14: 72–79.
16. Azman E. M., Charalampopoulos D., Chatzifragkou A. Acetic acid buffer as extraction medium for free and bound phenolics from dried blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) skins. *Journal of Food Science*. 2020; 85: 3745–3755. DOI: 10.1111/1750-3841.15466.
17. Xue H., Xu H., Wang X., Shen L., Liu H., Liu C., Li Q. Effects of microwave power on extraction kinetic of anthocyanin from blueberry powder considering absorption of microwave energy. *Journal of Food Quality*. 2018: 1–13. DOI: 10.1155/2018/9680184.
18. Sun Y., Liao X., Wang Z., Hu X., Chen F. Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanin of extracts using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. *European Food Research and Technology*. 2007; 225: 511–523.
19. Liu W., Yang C., Zhou C., Wen Z., Dong X. An improved microwave-assisted extraction of anthocyanins from purple sweet potato in favor of subsequent comprehensive utilization of pomace. *Food and Bioprocess Technology*. 2019; 5. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.02.003.
20. Jiao G. L., Kermanshahi pour A. Extraction of anthocyanins from Haskap berry pulp using supercritical carbon dioxide: influence of co-solvent composition and pretreatment. *LWT*. 2018; 6: 947. DOI: 10.5555/20183362959.
21. Tian M. X., Li Y. D., Hu W. Z., Wang Y. Y., Jiang A. L., Liu C. H. Optimization of supercritical CO₂ extraction of blueberry anthocyanins using response surface methodology. *Science and Technology of Food Industry*. 2016; 37: 208–212. DOI: 10.1126/sciadv.abf1937.
22. Tan J., Li Q., Xue H., Tang J. Ultrasound-assisted enzymatic extraction of anthocyanins from grape skins: optimization, identification, and antitumor activity. *Journal of Food Science*. 2020; 85: 3731–3744. DOI: 10.3390/foods9101409.
23. Xue H., Tan J., Li Q., Tang J., Cai X. Optimization ultrasound-assisted deep eutectic solvent extraction of anthocyanins from raspberry using response surface methodology coupled with genetic algorithm. *Foods*. 2020; 9: 1409. DOI: 10.3390/foods9101409.
24. Xiao H. U., Sun A. D., Zhang D. Q. Separation of anthocyanins from *Perilla frutescens* by high-speed counter-current chromatography. *Journal of Chinese Medicinal Materials*. 2010; 33: 1586–1588.
25. Wang X. X., Hansen C., Allen K. Identification of anthocyanins isolated from black bean canning wastewater by macroporous resin using optimized conditions. *Food and Nutrition Science*. 2013; 4: 174–181. DOI: 10.4236/fns.2013.48A021.
26. Martin J., Enrique J., Diaz M., Asuero A. G. Recovery of anthocyanins using membrane technologies: a review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2017; 48: 143–175. DOI: 10.1080/10408347.2017.1411249.
27. Dong C., Yan X., Li X., Liu S., Liu C. Optimization of ultrasonic-microwave assisted extraction of anthocyanins from mulberry and their antioxidant activities. *China Condiments*. 2020; 45: 172–178.
28. Liu Y., Nobutoshi M., Wang L., Zhang S. Preparative high-performance liquid chromatography for the purification of natural acylated anthocyanins from red radish (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Chromatographic Science*. 2008; 5: 743–746.

Authors' information:

Irina A. Kapitova, candidate of chemical sciences, senior researcher at the laboratory of molecular genetic and virological research, Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia; ORCID 0000-0003-3629-4461, Author ID 1114778. *E-mail: kiastandard@gmail.com*

Konstantin V. Pavlov, candidate of chemical sciences, senior researcher at the laboratory of molecular genetic and virological research, Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia; ORCID 0009-0004-4445-6314, Author ID 44932. *E-mail: pavlovkonsta@yandex.ru*

Изучение устойчивости к перезимовке и урожайности зерна коллекционных образцов овса в условиях южно-предгорной зоны Северо-Западного Кавказа

М. В. Кузенко[✉], А. А. Хлебникова, К. Х. Хатков

¹ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Майкопского государственного технологического университета, Майкоп, Россия

[✉] E-mail: kuzenkomarina74@mail.ru

Аннотация. Цель – оценка коллекционных образцов овса по устойчивости к перезимовке и урожайности зерна для привлечения в селекционный процесс в условиях южно-предгорной зоны Северо-Западного Кавказа. **Методы.** Исследования проведены с 2020 по 2023 гг. в Научно-исследовательском институте сельского хозяйства МГТУ. Объектами исследований являлись 188 коллекционных образцов овса ВИР различного эколого-географического происхождения. Сорт зимующего овса Мезмай использовали в качестве стандарта. Оценка проводилась в полевых условиях на естественном фоне. Наблюдения и учеты основных хозяйственно ценных признаков проводились в соответствии с Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. **Результаты.** Коллекция овса ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов им. Н. И. Вавилова» (ВИР) является фундаментальной основой для селекционной работы и позволяет ускорить создание новых адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям сортов зимующего овса. В результате изучения было выделено 5 источников устойчивости к перезимовке, 3 – урожайности зерна. Коллекционные образцы овса Bond (кат. 8607, США), Texas 65C-306 (кат. 14973, США) можно использовать в скрещиваниях на повышение устойчивости к перезимовке и урожайности зерна. Корреляционная зависимость (r) урожайности зерна и устойчивости к перезимовке во все годы исследований была средней: 2020–2021 гг. – 0,31, 2021–2022 гг. – 0,40, 2022–2023 гг. – 0,51. **Научная новизна.** Проведена трехлетняя оценка 188 коллекционных образцов овса по устойчивости к перезимовке и урожайности зерна, определены источники хозяйственно ценных признаков, представляющие наибольший интерес для создания нового оригинального исходного материала зимующего овса гибридного происхождения. Выявлена средняя положительная связь между урожайностью зерна и устойчивостью к перезимовке коллекционных образцов. Проведена работа по сохранению генетического разнообразия коллекционных образцов овса обладающих низкой устойчивостью к перезимовке.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания № 224030200001-8.

Ключевые слова: зимующий овес, селекционная работа, устойчивость, перезимовка, урожайность, коллекционные образцы

Для цитирования: Кузенко М. В., Хлебникова А. А., Хатков К. Х. Изучение устойчивости к перезимовке и урожайности зерна коллекционных образцов овса в условиях южно-предгорной зоны Северо-Западного Кавказа // Аграрный вестник Урала. Т. 25, № 02. С. 254–263. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-254-263>.

Дата поступления статьи: 30.05.2024, **дата рецензирования:** 18.10.2024, **дата принятия:** 06.12.2024.

Investigation of wintering resistance and grain yield of collection samples of oats in the conditions of the southern foothill zone of the North-Western Caucasus

M. V. Kuzenko[✉], A. A. Khlebnikova, K. Kh. Khatkov

Scientific Research Institute of Agriculture of the Maikop State Technological University, Maikop, Russia

[✉]E-mail: kuzenkomarina74@mail.ru

Abstract. The purpose is to evaluate collection samples of oats for wintering resistance and grain yield in order to include them in the breeding process in the conditions of the southern foothill zone of the North-West Caucasus. **Methods.** The studies were conducted from 2020 to 2023 at the Research Institute of Agriculture of the Maikop State Technological University. The objects of the research were 188 collection samples of VIR (All-Union Research Institute of Plant Breeding) oats of various ecological and geographical origins. Mezmay wintering oat variety was used as a standard. The assessment was carried out in the field against a natural background. Observations and records of the main economically valuable traits were carried out in accordance with the Methodological Guidelines for the Study and Preservation of the World Collection of Barley and Oats. **Results.** The collection of oats from the Federal Research Center “All-Russian Institute of Genetic Resources named after N. I. Vavilov” (VIR) is a fundamental basis for breeding work and allows us to accelerate the creation of new varieties of wintering oats adapted to local soil and climatic conditions. As a result of the research, 5 sources of wintering resistance and 3 sources of grain yield were identified. Collection samples of Bond oats (cat. 8607, the USA), Texas 65C-306 (cat. 14973, the USA) can be used in crossbreeding to increase winter resistance and grain yield. The correlation (r) between grain yield and wintering resistance was average in all years of the research: 2020–2021 – 0.31, 2021–2022. – 0.40, 2022–2023 – 0.51. **Scientific novelty.** A three-year assessment of 188 collection samples of oats has been carried out for wintering resistance and grain yield, sources of economically valuable traits identified that are of great interest for the creation of new original source material of wintering oats of hybrid origin. An average positive relationship has been revealed between grain yield and overwintering resistance of collection samples. Works has been carried out to preserve the genetic diversity of collection samples of oats with low resistance to wintering.

Keywords: wintering oats, breeding work, resistance, overwintering, productivity, collection samples

Acknowledgements. The research has been carried out within the framework of state assignment No. 224030200001-8.

For citation: Kuzenko M. V., Khlebnikova A. A., Khatkov K. Kh. Investigation of wintering resistance and grain yield of collection samples of oats in the conditions of the southern foothill zone of the North-Western Caucasus. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 254–263. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-254-263>. (In Russ.)

Date of paper submission: 30.05.2024, **date of review:** 18.10.2024, **date of acceptance:** 06.12.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Овес (*Avena sativa* L.) является одной из основных зерновых культур в России, имеющих фуражное и пищевое направление использования. Кормовая направленность использования овса обусловлена его хорошими энергетическими свойствами благодаря большому содержанию высококачественного белка, ненасыщенных жиров, растворимой клетчатки, полифенольных соединений и микроэлементов [1; 2]. В различных рационах кормления животных и птиц ценнейшим компонентом является овес, используемый как в виде целого зерна, так и в размолотом, входящий в со-

став различных комбикормов [3]. Возрастающий спрос на диетические продукты, приготовленные из овса, определяет его широкую востребованность в настоящее время в питании человека. Овес обладает лечебными свойствами благодаря содержанию бета-глюканов. Употребление продуктов из овса снижает риск развития сахарного диабета второго типа, сердечно-сосудистых заболеваний, болезней суставов, различных видов аллергии, способствует снижению холестерина [4–6].

Преимущественно в Российской Федерации возделывают яровой овес, посевные площади которого главным образом размещены на Урале, в Западной

Сибири, Нечерноземной зоне. В южных субъектах РФ с мягким климатом (в Крыму и на Северном Кавказе) используют посевы зимующего овса, т. е. овса, высеваемого с осени. В почвенно-климатических условиях этих южных регионов он хорошо зимует и показывает более высокие урожаи зерна, что является наиболее экономически целесообразным в отличие от возделывания ярового [7; 8].

Широкое использование в сельскохозяйственном производстве зимующего овса ограничивает его низкая зимостойкость, так как при неблагоприятных условиях зимнего периода происходит частичная или полная гибель посевов.

Научные исследования селекции зимующего овса (находящегося на рубеже потенциала его возделывания) начиная с 1965 года осуществляются в научно-исследовательском институте сельского хозяйства Майкопского государственного технологического университета (МГТУ), расположенного в южно-предгорной зоне Северо-Западного Кавказа (Республика Адыгея).

Научными сотрудниками НИИСХ в разные годы были созданы сорта зимующего овса зернового направления Оштен и двухкомпонентного (зеленая масса, зерно) – Подгорный, Мезмай, Гузерипль, АГУ 75, которые включены в Государственный реестр селекционных достижений и допущены к использованию по Северо-Кавказскому региону РФ.

Создание и внедрение в сельскохозяйственное производство сортов, обладающих повышенной продуктивностью и устойчивостью к комплексу стрессовых факторов, способствует наиболее полной реализации их генетического потенциала и в конечном итоге обеспечивает стабильный рост урожайности [9–12].

Основным методом работы является внутривидовая гибридизация, использование которой позволяет создавать новые генотипы с необходимыми хозяйственно ценными признаками, поэтому изучение и выделение исходного материала для селекции зимующего овса является важнейшей задачей в проводимых исследованиях.

Мировая коллекция овса ВИР была и остается основным источником исходного материала в проводимой селекционной работе.

Целью наших исследований являлось изучение и выделение по устойчивости к перезимовке и урожайности зерна образцов овса (*Avena L.*) из генофонда Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов имени Н. И. Вавилова» (ВИР) для привлечения в селекционный процесс в качестве одного из родительских компонентов с использованием традиционных и современных методов работы в создании нового оригинального исходного материала, а на его основе – принципиально новых сортов зимующего овса различного направления использования,

адаптированных к почвенно-климатическим условиям региона.

Методология и методы исследования (Methods)

Научные изыскания по изучению и установке новых генетических доноров и форм, обладающих хозяйственно полезными признаками из генофонда ВИР для продолжения селекционного процесса с культурой зимующего овса, осуществлены в 2020–2023 годах в отделе селекции и первичного семеноводства научно-исследовательского института сельского хозяйства МГТУ. Опытные поля расположены в 10–15 км севернее г. Майкопа. Почва – чернозем слитой выщелоченный, относящийся к малогумусным сверхмощным почвам глинистого механического состава (до 78 % физической глины) с содержанием гумуса в верхнем горизонте около 4,0 %, азота – 0,27–0,33 %, фосфора – 0,11–0,17 %, pH = 6,2...6,7.

Адыгея – регион Российской Федерации, расположенный в южно-предгорной зоне Северо-Западного Кавказа, в бассейне р. Кубань и ее двух притоков Лабы и Белой. Природно-климатические условия республики характеризуются умеренно теплым континентальным климатом. Зима мягкая с возможной резкой сменой пониженных температур с оттепелью, вызывающей таяние снега и его полный сход. Средняя многолетняя температура января – 3,5 °С. В I–II декаде марта температура воздуха переходит через +5 °С. Лето сухое, жаркое и продолжительное (140–150 дней). Средняя месячная температура воздуха самого теплого месяца июля составляет +23,2 °С. Устойчивый переход через +5 °С происходит в середине ноября, отмечаются первые заморозки. Средняя годовая температура воздуха равна +10,5 °С, сумма активных температур – 3530 °С. Максимум осадков, которые наблюдаются в виде ливней, приходится на период с апреля по ноябрь. Средне годовое количество осадков варьирует от 700 до 850 мм.

Объектом исследований служили образцы мировой коллекции овса (*Avena L.*) «Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов имени Н. И. Вавилова» (ВИР). В условиях 2020–2021 годов в испытании находилось 89 образцов, 2021–2022 годов – 44, 2022–2023 годов – 55.

Коллекционный питомник закладывался по предшественнику соя селекционной сеялкой СКС 6-10 деланками площадью 1,5 м², нормой высева 500 всхожих зерен на 1 м² в оптимальные сроки сева культуры. В качестве основного удобрения использовали аммофос (N₁₂P₅₂) – 100 кг/га. В весенний период проведена двукратная подкормка аммиачной селитрой (N₃₇ + N₂₇). Система защитных мероприятий состояла из применения следующих препаратов: «Пиксель» 0,3 л/га + «Азорро» 1 л/га + «Эсперо» 0,1 л/га + «Гумат» 0,3 л/га. Допущенный к

использованию по Северо-Кавказскому региону РФ сорт зимующего овса Мезмай использовали в качестве стандарта.

Одними из приоритетных направлений в селекции зимующего овса является повышение зимостойкости и урожайности зерна. Оценка зимостойкости осуществлялась на естественном фоне в полевых условиях с началом возобновления весенней вегетации растений. Уборка коллекционных образцов для определения урожайности зерна проводилась вручную по мере наступления полевой спелости зерна. В лаборатории отдела селекции обмолот снопов осуществлялся на МПСУ-500, взвешивание зерна – на весах ВЛКТ-500М. При проведении полевых наблюдений и учетов руководствовались Методическими указаниями по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса [19]. Обработка полученных экспериментальных данных осуществлялась с использованием пакета стандартных программ Microsoft Excel.

Результаты (Results)

Проводимая селекционная работа в первую очередь основывается на почвенно-климатических особенностях региона. Сложность климатических условий заключается в необычном сочетании внешних факторов среды, это и короткая, малоснежная, умеренно-теплая зима, характеризующаяся частой сменой похолоданий и оттепелей с полным сходом снега, сухое и жаркое лето, ливневые осадки, максимум которых наблюдается с мая по июль, сильные ветра, что в целом оказывает отрицательное влияние на прохождение различных фаз роста и развития растений.

Для зимующего овса одним из значимых факторов получения высокой урожайности зерна являются благоприятные условия перезимовки. Погодные условия зимнего и весенне-летнего периодов в изучаемый период имели отличия.

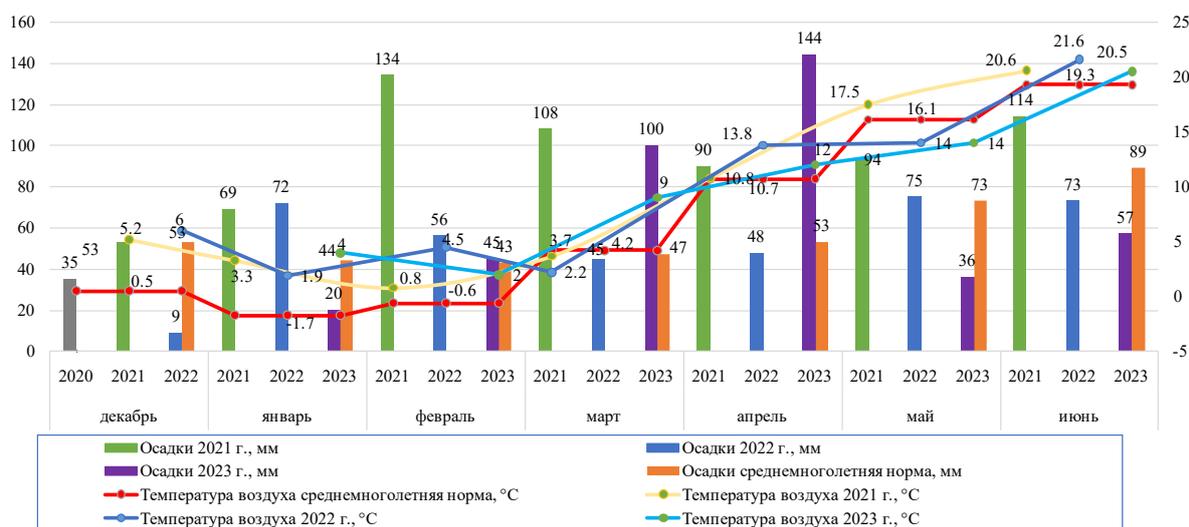


Рис. 1. Температура воздуха и количество осадков в исследуемый период

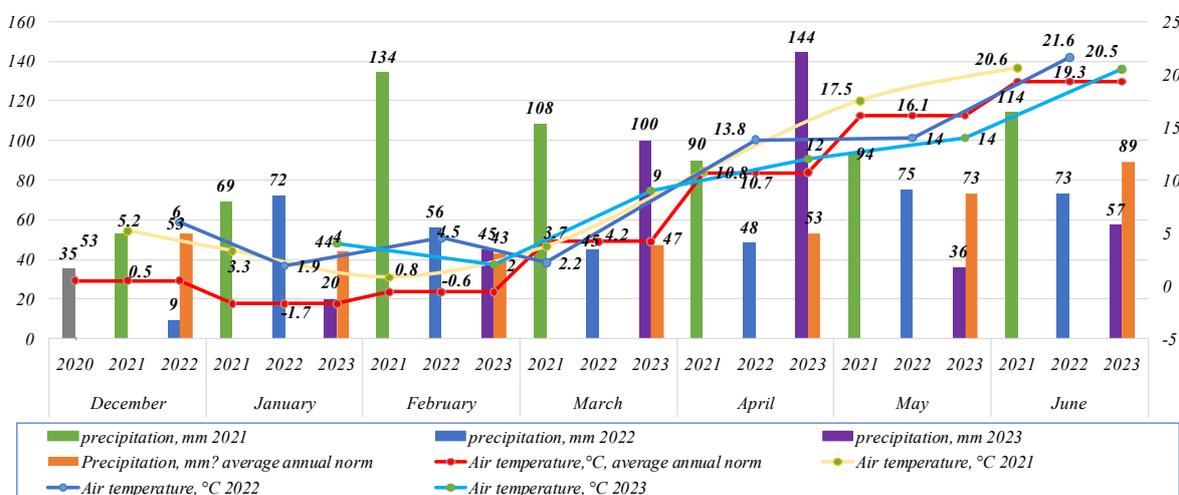


Fig. 1. Air temperature and precipitation within the research period

Декабрь 2020 года был теплым. Среднее значение температуры отмечено на 1,7 °С выше многолетних показателей. Сумма осадков за месяц составила 35,0 мм при норме 53,0 мм. Климатические условия января 2021 года отличались специфическими особенностями, связанными со значительным перепадом температуры во II и III декадах. Минимум температуры на уровне –11 °С наблюдался 19.01.2021, максимум (+15 °С) – 30.01.2021. Среднее значение температуры за январь было положительным и на 5 °С выше многолетних показателей. Февраль характеризовался теплой погодой. Средняя температура воздуха составила +0,8 °С при ее среднеевропейском значении –0,6 °С. Сумма выпавших осадков в январе составила 69,0 мм, или 156 % месячной нормы, в феврале – 134,0 мм (при норме 43,0 мм).

Весна 2021 года была влажной и теплой. Среднемесячное значение температуры воздуха наблюдалось выше климатической нормы на +0,5 °С в марте, +0,1 °С в апреле, +1,4 °С в мае. Осадков выпало больше многолетних значений: март – 108,0 мм (норма – 47,0 мм), апрель – 90,0 мм (норма – 53,0 мм), май – 94,0 мм (норма – 73,0 мм).

Количество выпавших осадков и температурный режим июня наблюдались выше климатической нормы. Среднее значение температуры за месяц было выше среднеевропейских значений на 1,3 °С. Осадков выпало 128 % среднеевропейских показателей, или 114,0 мм (норма – 89,0 мм).

В зимний период 2021–2022 годов среднесуточный температурный режим наблюдался выше многолетних данных: в декабре на 4,7 °С, в январе на 3,6 °С, в феврале на 5,1 °С. Количество осадков в декабре отмечено на уровне нормы, в январе и феврале – выше среднеевропейских значений на 28,0 мм и 13,0 мм соответственно.

Среднемесячная температура марта оказалась на 2,1 °С ниже климатической нормы. Температура воздуха в апреле была выше многолетних показателей на 2,1 °С. Осадков в марте и апреле выпало меньше многолетней нормы на 2,0 и 5,0 мм соответственно.

В мае сумма осадков составила 75,0 мм, что незначительно превысило многолетнее значение.

Температурный режим в июне был на +2,3 °С выше среднеевропейских показателей, количество осадков составило 73,0 мм, что на 16,0 мм ниже многолетней нормы.

Декабрь 2022 года характеризовался сухой и теплой погодой. Сумма выпавших осадков в целом за месяц составила всего 9,0 мм, или 17,0 % среднеевропейских значений. Средняя температура воздуха была положительной – на 5,5 °С выше многолетней нормы. В период с 07.01.2023 по 13.01.2023 наблюдалось понижение температуры воздуха от –8,0 °С до –13,0 °С в сочетании с сильным вос-

точным ветром, дующим с Армавирского ветрового коридора, при полном отсутствии снежного покрова. Однако среднее значение температуры воздуха за месяц было на 2,3 °С выше месячной нормы. Сумма осадков за январь составила 45,4 % среднеевропейской величины. Температурный режим и количество осадков превышали многолетние значения.

В марте и апреле температурный режим был выше среднеевропейской нормы на 4,8 °С и 1,3 °С соответственно. Сумма выпавших осадков в марте была в 2,1 раза выше многолетних показателей. В апреле выпало 144,0 мм осадков, превышение над среднеевропейской нормой составило 91,0 мм. Май отличался холодной погодой, среднее значение температуры воздуха на 0,1 °С ниже многолетней со значительным недобором осадков. Количество выпавших осадков – 36,0 мм, или в 2,0 раза ниже многолетних значений.

В июне средняя температура воздуха была на +1,2 °С выше среднеевропейской, количество осадков составляло 64 % нормы.

Вегетационный период в исследуемые годы имел широкий диапазон изменчивости. Перезимовка, фазы роста и развития, формирования урожая зерна зимующего овса протекали в периоды как превышения, так и значительного понижения температурного режима в сравнении со среднеевропейскими данными. По количеству осадков вегетационные периоды 2020–2021 и 2022–2023 годов отличались неравномерностью их выпадения и избыточностью в весенний период.

Полученные данные показывают, что погодные условия влияют на устойчивость к перезимовке и величину получаемого урожая зимующего овса.

Погодные условия первого года изучения позволили провести объективную полевую оценку устойчивости к перезимовке. Коллекционные образцы Rocky (кат. 15425, Германия), Trellt Dwarf (кат. 11501, Дания), 741-N-4-5 (кат. 14958, Россия), PI 508099 (кат. 15109, США), АЗ ВМ 0584 (кат. 15193, Болгария), АЗ ВМ 0585 (кат. 15194, Болгария), АЗ ВМ 0586 (кат. 15195, Болгария), АЗ ВМ 0589 (кат. 15196, Болгария), MF 9714-32 (кат. 15227, США), Боррав (кат. 15230, Россия) показали низкую устойчивость к перезимовке.

Среднюю устойчивость к перезимовке на уровне 5 баллов имели Roderes (кат. 14129, Испания), Арман (кат. 15390, Казахстан), Владыка (кат. 15408, Белоруссия), Y247-4 (кат. 15108, США), DuLo (кат. 15198, Болгария), Corum 1 (кат. 15248, Турция), Karma (кат. 15270, Мексика), Sevamex (кат. 15271, Мексика).

В неблагоприятных агрометеорологических условиях осеннего и зимнего периодов первого года проведения исследований высокой устойчивостью к перезимовке характеризовались 60 образцов, или 53,4 % изучаемого материала.

Устойчивость к перезимовке и урожайность зерна коллекционных образцов овса, НИИСХ Майкопского государственного технологического университета, 2020–2023 гг.

Образец	№ каталога ВИР	Перезимовка, баллов			Урожайность, г/м ²			
		2020–2021	2021–2022	2022–2023	2020–2021	2021–2022	2022–2023	Средняя
Мезмай (стандарт)		7	9	5	330	546	786	555
ОА 338 (Канада)	14989	7	9	3	470*	506	480	485
Dominik (Германия)	15411	7	5	–	513	–	–	–
РА 7836–9687 (США)	15259	7	9	–	430	666	–	548
Bohun (Польша)	15428	7	7	1	400	753	–	576
Bond (США)	8607	7	9	3	250	633	973	619
Neklan (Чехия)	14936	7	9	3	450	566	413	476
Cornish (Великобритания)	14997	7	9	1	410	246	–	328
97–106–141 (Болгария)	15204	7	7	3	490*	420	920	610
Malin (Германия)	15421	7	9	1	540*	493	–	516
Roanoke (США)	11453	7	7	3	430	700	446	525
Effektiv (Австрия)	15413	7	7	1	630*	293	–	461
Texas 65С–306 (США)	14973	7	9	3	350	720*	786	619
Ehostar (Германия)	15414	7	9	3	400	733*	460	531
Dragomiresti (Германия)	15412	7	7	1	670*	800*	–	735
SW Margaret (Швеция)	15395	7	7	1	400	520	–	460
Swingerorg (Швеция)	15394	7	9	1	470	633	–	551
Rocky (Германия)	15425	3	9	1	–	500	–	–
Furman (Германия)	15416	7	1	1	610*	–	–	–
HCP ₀₅	–	–	–	–	106,8	159,5	231,9	–

Примечание. * – сорта, достоверно превышающие стандарт.

Table 1
Resistance to wintering and grain yield of collection samples of oats,
Research Institute of Agriculture of the Maikop state technological university, 2020–2023

Sample	No. of VIR catalogue	Wintering, score			Yield, g/m ²			
		2020–2021	2021–2022	2022–2023	2020–2021	2021–2022	2022–2023	Average
Mezmay (standard)		7	9	5	330	546	786	555
OA 338 (Canada)	14989	7	9	3	470*	506	480	485
Dominik (Germany)	15411	7	5	–	513	–	–	–
PA 7836–9687 (the USA)	15259	7	9	–	430	666	–	548
Bohun (Poland)	15428	7	7	1	400	753	–	576
Bond (the USA)	8607	7	9	3	250	633	973	619
Neklan (Czech Republic)	14936	7	9	3	450	566	413	476
Cornish (Great Britain)	14997	7	9	1	410	246	–	328
97–106–141 (Bulgary)	15204	7	7	3	490*	420	920	610
Malin (Germany)	15421	7	9	1	540*	493	–	516
Roanoke (The USA)	11453	7	7	3	430	700	446	525
Effektiv (Austria)	15413	7	7	1	630*	293	–	461
Texas 65С–306 (The USA)	14973	7	9	3	350	720*	786	619
Ehostar (Germany)	15414	7	9	3	400	733*	460	531
Dragomiresti (Germany)	15412	7	7	1	670*	800*	–	735
SW Margaret (Sweden)	15395	7	7	1	400	520	–	460
Swingerorg (Sweden)	15394	7	9	1	470	633	–	551
Rocky (Germany)	15425	3	9	1	–	500	–	–
Furman (Germany)	15416	7	1	1	610*	–	–	–
LSD ₀₅	–	–	–	–	106.8	159.5	231.9	–

Note. * – grades that significantly exceed the standard.

В условиях 2021–2022 годов изучаемые образцы коллекции показали различную устойчивость к условиям осенне-зимнего периода. При проведении оценки устойчивости к перезимовке установлена полная гибель образцов из мировой коллекции: Husky (кат. 15418, Германия), Krezus (кат. 15419, Германия), 741-H-4-5 (кат. 14958, Россия), Cropwell (кат. 15239, США). Единичные растения были установлены у следующих образцов Genziana (кат. 15417, Германия), Furman (кат. 15416, Германия).

Среднюю устойчивость к перезимовке проявил Dominik (кат. 15411, Германия) (таблица 1).

По условиям 2021–2022 годов к группе с высокой устойчивостью к перезимовке было отнесено 50 % (22 образца), выше средней – 34,1 % (15 образцов) изучаемого материала.

Оценка устойчивости к перезимовке установила полную гибель Dominik (кат. 15411, Германия), Cogum 1 (кат. 15230, Турция), PA 7836-9687 (кат. 15259, США) в зимний период 2022–2023 годов (таблица 1).

Низкую зимостойкостью, сохранность живых растений каждого образца на уровне менее 20 % проявили Envis (кат. 15243, Великобритания), PA 7836-416 (кат. 15257, США), Swargyle (кат. 15393, Швеция), Minue (кат. 15404, Франция), MF 97-14-32 (кат. 15227, США), PA 7836-9938 (кат. 15261, США), Troy (кат. 15266, США), Truker (кат. 15272, США), Rocky (кат. 15425, Германия), Cropwell (кат. 15239, Великобритания), Swingerorg (кат. 15394, Швеция), Dragomiresti (кат. 15412, Германия), Furman (кат. 15416, Германия), Bohun (кат. 15428, Польша), Effektiv (кат. 15413, Австрия), Malin (кат. 15421, Германия). В группу с низкой устойчивостью к перезимовке по результатам проведенного учета отнесено 27 коллекционных образцов, или 49,1 % от общего числа изучаемых образцов.

Среднюю устойчивость к перезимовке на уровне 5 баллов (сохранность растений составляла 36–50 %) показали 741-H-4-5 (кат. 14958, Россия), AZ BM 05779 (кат. 15208, Болгария), 97-106-126 (кат. 15203, Болгария), 97-106-142 (кат. 15205, Болгария), Bond (кат. 8607, США) (таблица 1). По результатам полевой оценки устойчивости к перезимовке образцы мировой коллекции 85106002 (кат. 15200, Болгария), Duffy (кат. 15410, Германия) отнесены к группе образцов с высокой устойчивостью по данному хозяйственно ценному признаку.

Ежегодно для сохранения генетического разнообразия культуры овса проводилась работа по сохранению коллекционных образцов, проявивших низкую устойчивость к перезимовке. В полевых условиях каждое сохранившееся живое растение было обозначено вешкой, прополото вручную тяпкой, подкормлено аммиачной селитрой. Дана оценка устойчивости к полеганию и основным болезням. Уборка и обмолот образцов были проведены вручную.

Большое значение имеет создание сортов, обладающих высокой урожайностью зерна. Успех во многом зависит от правильно подобранного исходного материала. В исследуемый период 2020–2023 годов урожайность зерна коллекционных образцов овса варьировала по годам. В 2020–2021 годах изменялась от 170 г/м² у MF 9714-32 (кат. 15207, США) до 670 г/м² у Dragomiresti (кат. 15412, Германия). Достоверно урожайность зерна выше стандартного сорта Мезмай показали 6 образцов: Dragomiresti (кат. 15412, Германия), Prelekst (кат. 1542, Германия), Effektiv (кат. 15413, Австрия), Furman (кат. 15416, Германия) (таблица 1).

В 2021–2022 годах урожайность зерна составляла от 166 г/м² у Dominik (кат. 15411, Германия) до 820 г/м² у сорта Сарон (кат. 15239, Украина). Достоверно выше стандарта урожайность показали 8 образцов: Roanoke (кат. 11453, США), Dragomiresti (кат. 15412, Германия), Bohun (кат. 15428, Польша), Texas 65C-306 (кат. 14943, США) (таблица 1).

Наиболее высокая урожайность зерна получена в 2022–2023 годах, несмотря на жесткие условия зимнего периода. Климатические условия весеннего периода сложились достаточно неоднозначно по показателям температуры воздуха и количеству осадков для ее формирования. Зимующий овес отзывчив на запасы продуктивной влаги в почве, отличается быстрыми темпами весеннего отрастания и имеет высокий коэффициент кущения. Минимальная урожайность составляла 246 г/м² у SW Margaret (кат. 15395, Швеция), максимальная 973 г/м² Bond (кат. 8607, США). Достоверных отличий в условиях третьего года изучения, по сравнению со стандартным сортом зимующего овса Мезмай не найдено (таблица 1).

В исследуемый период коэффициент корреляции урожайности зерна и устойчивости к перезимовке коллекционных образцов овса был средним: 2020–2021 годы – 0,31, 2021–2022 годы – 0,40. В условиях 2022–2023 годов связь урожайности с перезимовкой была наиболее заметной ($r = 0,51$), так как перезимовка растений овса проходила в более жестких климатических условиях.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusions)

1. Анализ сравнительного изучения и оценки коллекционных образцов овса ВИР в условиях южно-предгорной зоны Северо-Западного Кавказа позволил выделить источники хозяйственно важных признаков – перезимовки, урожайности. Определена возможность использования выделенных образцов для целенаправленной селекции в ходе проведения различных комбинаций скрещивания и повышения эффективности отбора новых оригинальных генотипов зимующего овса по данным хозяйственно ценным признакам.

2. Изучаемые коллекционные образцы овса отличаются по устойчивости к перезимовке, кото-

рая во многом зависела от климатических условий зимнего периода. По результатам проведенных исследований практический интерес для повышения устойчивости к перезимовке представляют Neklan (кат. 14936, Чехия), Bond (кат. 8607, США), Texas 65C-306 (кат. 14973, США), ОА 338 (кат. 14989, Канада), Ehostar (кат. 15414, Германия), отличающиеся по эколого-географическому происхождению.

3. В качестве источников высокой урожайности зерна выделены Bond (кат. 8607, США), Texas 65C-306 (кат. 14973, США), Dragomiresti (кат. 15412, Германия).

4. Bond (кат. 8607, США), Texas 65C-306 (кат. 14973, США) можно привлекать в селекционную работу для передачи комплекса хозяйственно ценных признаков – урожайности зерна и устойчивости к перезимовке.

5. Коэффициент корреляции (r) урожайности зерна и устойчивости к перезимовке во все годы исследований был средним и варьировал от 0,31 до 0,51.

6. Использование выделившегося исходного материала в работе по селекции зимующего овса значительно повышает успех создания новых сортов, адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям, в дальнейшем будет способствовать продвижению новых сортов в более северные районы.

7. Проведена работа по сохранению генетического разнообразия коллекционных образцов ВИР, отличающихся в местных почвенно-климатических условиях низкой устойчивостью к перезимовке.

Полученные данные позволяют использовать выделенные коллекционные образцы в качестве генетических источников как по отдельным хозяйственно значимым селекционным признакам, так и по их комплексу, прогнозировать ожидаемые показатели урожайности и устойчивости к перезимовке, что будет способствовать созданию сортов зимующего овса, адаптированных к местным почвенно-климатическим условиям.

Библиографический список

1. Иванова Ю. С., Фомина М. Н., Ярославцев А. А. Характеристика зерна коллекционных сортов ярового овса по биохимическим показателям качества в Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 01. С. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11.
2. Лоскутов И. Г. Овес (*Avena L.*). Распространение, систематика, эволюция и селекция: монография. Санкт-Петербург: ГНЦ РФ ВИР. 2007. 336 с.
3. Баталова Г. А. Мировое разнообразие как основа адаптивной селекции овса // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2015. Т. 176, № 1. С. 37–46. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-37-46.
4. Лоскутов И. Г., Блинова Е. В., Гнутиков А. А. Коллекция генетических ресурсов овса ВИР как источник информации по истории возделывания, систематике рода и направлениям селекции культуры (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184, № 1. С. 225–238. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238.
5. Shvachko N. A., Loskutov I. G., Semilet T. V., et al. Bioactive Components in Oat and Barley Grain as a Promising Breeding Trend for Functional Food Production // *Molecules*. 2021. Vol. 26, No. 8. Article number 2260. DOI: 10.3390/molecules26082260.
6. Kumar L., Sehrawat R., Kong Y. Oat proteins: a perspective on functional properties // *LWT*. 2021. Vol. 152. Article number 112307. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112307.
7. Горбатенко Л. Е. Роль мирового генофонда растений в решении проблемы продовольственной безопасности России // Научно-информационный бюллетень ВНИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова. 2003. № 242. С. 3–9.
8. Кузнецов М. В., Гудкова Г. Н. Успехи селекции зимующего овса в южно-предгорной зоне Северо-Западного Кавказа // Инновационные технологии для АПК юга России: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 55-летию образования Адыгейского НИИСХ (с международным участием). Майкоп, 2016. С. 142–147.
9. Сапега В. А., Митриковский А. Я. Оценка урожайного и адаптивного потенциала сортов гороха в условиях южной лесостепи Северного Зауралья // Вестник Казанского ГАУ. 2020. № 2 (58). С. 49–52. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-49-52.
10. 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.2022.1.81 rus.
11. Кротова Н. В., Баталова Г. А. Изучение коллекционных образцов голозерного овса // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 4. С. 18–26. DOI: 10.30901/2227-8834.
12. Зыкин В. А., Белан И. А., Россеев В. М. [и др.] Селекция яровой пшеницы на адаптивность: результаты и перспективы // Доклады РАСХН. 2000. № 2. С. 5–7.

13. Ivanova Yu., Fomina M., Yaroslavtsev A. Ecological plasticity and stability of collection samples of naked oats in the conditions of the Northern TRANS-Urals // *Bioscience research*. 2020. Vol. 17, No. 2. Pp. 1183–1185.
14. Ferguson J. J. A., Stojanovski E., MacDonald-Wicks L., Garg M. L. High molecular weight oat β -glucan enhances lipid-lowering effects of phytosterols: a randomized controlled trial // *Clinical Nutrition*. 2020. Vol. 39. Pp. 80–89. DOI: 10.1016/j.clnu.2019.02.007.
15. Лоскутов И. Г., Бутрис В., Косарева И. А., Блинова Е. В., Новикова Л. Ю. Алюмотолерантность и микроэлементный состав зерновки сортов овса из коллекции ВИР с различной степенью селекционной проработки. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 3. С. 96–110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110.
16. Paudel D., Dhungana B., Caffè M., et al. A review of health-beneficial properties of oats // *Foods*. 2021. Vol. 10, No. 11. Article number 2591. DOI: 10.3390/foods10112591.
17. Polonskiy V., Loskutov I., Sumina A. Biological role and health benefits of antioxidant compounds in cereals // *Biological Communications*. 2020. Vol. 65, No. 1. Pp. 53–67. DOI: 10.21638/spbu03.2020.105.
18. Trifuntova I. B. Ecological variability of the quality of oats varieties depending on vegetation conditions // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 547. Article number 012041. DOI: 10.1088/1755-1315/547/1/012041.
19. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции овса и ячменя. Санкт-Петербург: ООО «Копи-Р», 2012. 63 с.

Об авторах:

Марина Валентиновна Кузенко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Майкопского государственного технологического университета, Майкоп, Россия; ORCID 0009-0008-3618-2156, AuthorID 925383. *E-mail: kuzenkomarina74@mail.ru*

Анастасия Александровна Хлебникова, младший научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Майкопского государственного технологического университета, Майкоп, Россия; ORCID 0009-0008-4777-3170, AuthorID 1222112. *E-mail: anstasiya.khlebnikova@mail.ru*

Казбек Халидович Хатков, кандидат сельскохозяйственных наук, врио директора, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Майкопского государственного технологического университета, Майкоп, Россия; ORCID 0000-0003-0240-0748, AuthorID 639296. *E-mail: kazbek_ra@mail.ru*

References

1. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Yaroslavtsev A. A. Evaluation of the oat collection according to the main biochemical quality indicators in the conditions of the Tyumen region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (01): 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11. (In Russ.)
2. Loskutov I. G. *Oats (Avena L.). Distribution, systematics, evolution and selection: a monograph*. Saint Petersburg: State Scientific Center of the Russian Federation VIR, 2007. 336 p. (In Russ.)
3. Batalova G. A. Global diversity as a basis of adaptive oat breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2015; 176 (1): 37–46. DOI: 10.30901/2227-8834-2015-1-37-46. (In Russ.)
4. Loskutov I. G., Blinova E. V., Gnutikov A. A. The collection of oat genetic resources held by VIR as a source of information on the history of cultivation and taxonomy of the genus, and breeding trends (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023; 184 (1): 225–238. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-225-238. (In Russ.)
5. Shvachko N. A., Loskutov I. G., Semilet T. V., et al. Bioactive Components in Oat and Barley Grain as a Promising Breeding Trend for Functional Food Production. *Molecules*. 2021; 26 (8): 2260. DOI: 10.3390/molecules26082260.
6. Kumar L., Sehrawat R., Kong Y. Oat proteins: A perspective on functional properties. *LWT*. 2021; 152: 112307. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112307.
7. Gorbatenko L. E. The role of the global plant gene pool in solving the problem of food security in Russia. *Scientific information bulletin of the All-Russian Research Institute of Plant Growing named after N. I. Vavilov*. 2003; 242: 3–9. (In Russ.)
8. Kuzenko M. V., Gudkova G. N. Successes in selection of wintering oats in the southern foothill zone of the North-West Caucasus. *Innovative technologies for the Agro-industrial complex of the south of Russia: materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the 55th anniversary of the formation of the Adygh Research Institute of Agriculture (with international participation)*. Maikop: Magarin O. G. Publishing House, 2016. Pp. 142–147. (In Russ.)

9. Sapega V. A., Mitrikovskiy A. Ya. Assessment of yield and adaptive potential of pea varieties in the conditions of the southern forest steppe of the Northern Urals. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2020; 2 (58): 49–52. DOI: 10.12737/2073-0462-2020-49-52. (In Russ.)
10. 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/agrobiology.2022.1.81. (In Russ.)
11. Krotova N. V., Batalova G. A. Studying germplasm collection accessions of naked oats. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021; 182 (4): 18–26. DOI: 10.30901/2227-8834. (In Russ.)
12. Zykin V. A., Belan I. A., Rosseev V. M., et al. Breeding spring wheat for adaptability: results and prospects. *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2000; 2: 5–7. (In Russ.)
13. Ivanova Yu., Fomina M., Yaroslavtsev A. Ecological plasticity and stability of collection samples of naked oats in the conditions of the Northern Trans-Urals. *Bioscience Research*. 2020; 17 (2): 1183–1185.
14. Ferguson J. J. A., Stojanovski E., MacDonald-Wicks L., Garg M. L. High molecular weight oat β -glucan enhances lipid-lowering effects of phytosterols. A randomized controlled trial. *Clinical Nutrition*. 2020; 39: 80–89. DOI: 10.1016/j.clnu.2019.02.007.
15. Loskutov I. G., Butris V., Kosareva I. A., Blinova E. V., Novikova L. Yu. Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022; 183 (3): 96–110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110.
16. Paudel D., Dhungana B., Caffè M., et al. A review of health-beneficial properties of oats. *Foods*. 2021; 10 (11): 2591. DOI: 10.3390/foods10112591.
17. Polonskiy V., Loskutov I., Sumina A. Biological role and health benefits of antioxidant compounds in cereals. *Biological Communications*. 2020; 65 (1): 53–67. DOI: 10.21638/spbu03.2020.105. (In Russ.)
18. Trifuntova I. B. Ecological variability of the quality of oats varieties depending on vegetation conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 547: 012041. DOI: 10.1088/1755-1315/547/1/012041.
19. *Guidelines for the study and preservation of the world collection of oats and barley*. Saint Petersburg: Copy-R LLC, 2012. 63 p. (In Russ.)

Authors' information:

Marina V. Kuzenko, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the department of selection and primary seed production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Maikop State Technological University, Maikop, Russia; ORCID 0009-0008-3618-2156, AuthorID 925383. *E-mail: kuzenkomarina74@mail.ru*

Anastasiya A. Khlebnikova, junior researcher of the department of selection and primary seed production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Maikop State Technological University, Maikop, Russia; ORCID 0009-0008-4777-3170, AuthorID 1222112. *E-mail: anstasiya.khlebnikova@mail.ru*

Kazbek Kh. Khatkov, candidate of agricultural sciences, acting director, Scientific Research Institute of Agriculture of the Maikop State Technological University, Maikop, Russia; ORCID 0000-0003-0240-0748, AuthorID 639296. *E-mail: kazbek_ra@mail.ru*

Влияние режима питания на антиоксидантную активность микрозелени базилика

С. И. Лоскутов¹, Я. В. Пухальский^{1✉}, А. И. Якубовская², И. А. Каменева²

¹ ВНИИ пищевых добавок - филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, Санкт-Петербург, Россия

² Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

✉ E-mail: puhalskyan@gmail.com

Аннотация. На смену минеральным солям для гидропоники в среде сити-фермеров все большую популярность набирает применение жидких органических добавок в виде экстрактов из различных источников органического сырья. По типу сельского хозяйства открытого грунта здесь также экспериментируют с различными дозами вытяжек, полученными из вермикомпоста, птичьего помета, навоза КРС, свиней и овец. Однако еще мало внимания уделено зоогумусу – новому виду органического удобрения, исходным сырьем при производстве которого служат продукты жизнедеятельности насекомого черная львинка (*Hermetia illucens*). Целью настоящей работы была сравнительная оценка формирования биомассы и синтеза антиоксидантных соединений в микрозелени базилика, выращенной с использованием однократной обработки питательной подложки минеральными удобрениями и жидким (0,5-процентным щелочным) экстрактом зоогумуса. **Методология и методы исследования.** Опыт проводили в условиях полной светокультуры и хемопоники в закрытом гроубоксе. По истечении 20 суток роста полученную сырую биомассу из каждого лотка срезали и взвешивали. Биохимический анализ проводили согласно разработанным методиками по ГОСТ. **Результаты** проведенных исследований показали, что самые высокорослые растения получились на варианте с применением зоогумуса. При этом по весу они уступали варианту с минеральными добавками на 20 %. Самые низкие показатели биометрии, как и ожидалось, были на контроле. Увеличение роста и накопление белковой биомассы также сказалось на повышении синтеза хлорофилла и аскорбиновой кислоты. Средние значения обоих показателей на минеральной среде были на 11 % выше контроля, тогда как на органике эта величина равнялась 22 %. По субъективному мнению авторов, обработка органикой никак не повлияла на вкусовые качества растений в сравнении с минеральными добавками. **Научная новизна.** Факт увеличения доли накопления витамина С и зеленых пигментов в биомассе доказывает эффективность применения нового типа органического удобрения в качестве возможной альтернативы при выращивании культуры на микрозелень в условиях вертикального земледелия.

Ключевые слова: микрозелень, базилик, зоогумус, *Hermetia illucens*, аскорбиновая кислота, хлорофилл

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы FGUS 2024-0010 и FGUS 2022-0018).

Для цитирования: Лоскутов С. И., Пухальский Я. В., Якубовская А. И., Каменева И. А. Влияние режима питания на антиоксидантную активность микрозелени базилика // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 264–277. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-264-277>.

Дата поступления статьи: 30.07.2024, **дата рецензирования:** 20.11.2024, **дата принятия:** 29.11.2024.

Influence of nutrient mode on the antioxidant activity of basil microgreens

S. I. Loskutov¹, Ya. V. Pukhalskiy^{1✉}, A. I. Yakubovskaya², I. A. Kameneva²

¹ All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbатов, Saint Petersburg, Russia

² Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

✉E-mail: puhalskiyan@gmail.com

Abstract. In place of mineral salts for hydroponics, the use of liquid organic additives in the form of extracts from various sources of organic raw materials is becoming increasingly popular among city farmers. In the open-ground agriculture type, they also experiment with different doses of extracts obtained from vermicompost, poultry manure, cattle, pig and sheep manure. However, little attention has been paid to zoohumus, a new type of organic fertilizer produced using the waste products of the black soldier fly (*Hermetia illucens*). **The purpose** of this work was to compare the formation of biomass and the synthesis of antioxidant compounds in basil microgreens grown using a single treatment of the nutrient substrate with mineral fertilizers and liquid (0.5 % alkaline) zoohumus extract. **Methodology and research methods.** The experiment was carried out under conditions of full light culture and chemoponics, in a closed growbox. After 20 days of growth, the obtained raw biomass from each tray was cut and weighed. Biochemical analysis was carried out according to the developed methods according to GOST. **The results** of the studies showed that the tallest plants were obtained in the variant with the use of zoohumus. At the same time, by weight they were inferior to the variant with mineral additives by 20 %. The lowest biometric indicators, as expected, were in the control. Increased growth and accumulation of protein biomass also affected the increase in the synthesis of chlorophyll and ascorbic acid. The average values of both indicators grown on a mineral medium were 11 % higher than the control, while on organic matter this value was 22 %. In the subjective opinion of the authors, organic treatment did not affect the taste of plants in any way, compared to mineral additives. **Scientific novelty.** The fact of increasing the share of accumulation of vitamin C and green pigments in biomass proves the effectiveness of using a new type of organic fertilizer as a possible alternative when growing microgreen crops in vertical farming conditions.

Keywords: microgreen, *Ocimum basilicum*, zoohumus, *Hermetia illucens*, ascorbic acid, chlorophyll

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (topics FGUS 2024-0010 and FGUS 2022-0018).

For citation: Loskutov S. I., Pukhalskiy Ya. V., Yakubovskaya A. I., Kameneva I. A. Influence of nutrient mode on the antioxidant activity of basil microgreens. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 264–277. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-264-277>. (In Russ.)

Date of paper submission: 30.07.2024, **date of review:** 20.11.2024, **date of acceptance:** 29.11.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В последние годы наблюдается рост численности городского населения по сравнению с сельским. По оценке Росстата, на 1 января 2021 года в Российской Федерации проживало 146,2 млн чел., в том числе почти 75,0 % в городах [1; 2]. В связи с урбанизацией населения остро стоит вопрос относительно обеспечения жителей мегаполисов качественными продуктами питания. Из-за невозможности предоставления муниципальными властями всем желающим личных земельных наделов или подсобных хозяйств (ЛПХ) в черте города все большее развитие получило сити-фермерство. Популярность данного направления прежде всего связана с тем, что без больших материальных вложений любой горожанин может сконструировать

у себя в квартире, офисе или гараже небольшую многоярусную фитоустановку, где в условиях вертикального земледелия при использовании метода полной гидропоники или ее разновидностей способен выращивать молодые побеги зеленых овощей (бэби-лист) или микрозелень. Беспочвенные методы выращивания растений в закрытых городских помещениях на нейтральных гипоаллергенных субстратах решают проблему ограничения доступного пространства и наличия плодородной земли [3]. Несомненно, сити-фермер – это профессия будущего.

Благодаря короткому циклу роста (7–20 дней) микрозелень можно производить без использования пестицидов. Отказ от почвы снижает риск заражения патогенами и микотоксинами. Едят микрозелень, как правило, в сыром виде. Особенно важно

отметить тот факт, что для многих слоев населения, особенно для малоимущих, микрозелень становится единственным источником укрепления своего здоровья и снижения рисков развития авитаминоза. При этом они могут производить пищу не только для себя, но и на продажу. Доказано, что процесс выращивания микрозелени весьма рентабелен [4]. Рыночная стоимость готового продукта в 5–11 раз превышает затраты на его производство.

Помимо частного, данное направление привлекло внимание предприятий мировой пищевой промышленности. На 2019 год крупным поставщиком микрозелени в данном секторе экономики являлись США. За ними следовали Канада и Мексика, при этом в Соединенных Штатах сегмент выращивания микрозелени был сильно фрагментирован. Ожидается, что к 2027 году ее производство здесь вырастет в среднем на 10,1 %, тогда как в мире этот показатель составит 7,5 %. Таким образом, по мнению маркетологов, микрозелень перестанет быть исключительно модным трендом и в скором времени перейдет на более обширную целевую аудиторию [5–7]. Уже сейчас этот продукт входит в рацион здорового питания спортсменов и вегетарианцев.

Помимо сити-ферм, выращивание микрозелени в крупных объемах вблизи городов или в его черте можно проводить на современном оборудовании закрытого типа, по типу фитотронов или синерготронов [8–10], позволяющих модулировать значения микроклимата и энерго-спектрального режима инсоляции рабочей зоны. Направленное управление процессом вегетации позволяет сокращать сроки вегетации и круглогодично получать урожаи экологически чистой продукции с повышенным содержанием биологически активных соединений, обладающих антиоксидантной активностью [11; 12]. Среди последних можно выделить аскорбиновую кислоту и хлорофилл [13].

Среди маргинальных культур отмечается микрозелень базилика (*Ocimum basilicum* L.) – однолетняя ароматическая культура из семейства яснотковые (*Lamiaceae*). Цикл его роста хотя и превышает показатель для других культур, а также затраты на теплэлектроэнергию, однако стоимость конечного лотка может быть в 2–3 раза выше другой микрозелени, особенно в зимнее время. В зависимости от вида и сорта эфирное масло базилика содержит широкий спектр вторичных метаболитов с различной антиоксидантной активностью.

Для успешной интеграции микрозелени в глобальный производственный цикл необходимо оптимизировать систему ее выращивания в условиях закрытого грунта. Решающую роль играет сокращение сроков получения зеленой биомассы без ущерба в нужных объемах и нужной питательной ценности. Для повышения конкурентоспособности необходимо искать методы по снижению ее себе-

стоимости и увеличению экологичности. Именно экологичность стала предметом современных исследований.

В гидропонике микрозелень базилика возможно выращивать на обычной воде, однако в связи с возросшим спросом на получение лекарственного и пищевого сырья из ароматических растения для повышения их урожайности и извлечения функциональных компонентов необходимо вносить подкормки. Особенно важно это, если планируется выращивание побегов под многократный срез. Для этих целей в настоящее время в практике широко используются химические удобрения и неорганические стимуляторы роста. Вместе с тем в среде сити-фермеров на замену минеральным (синтетическим) удобрениям приходит использование различных органических добавок. По типу сельского хозяйства открытого грунта здесь также используют вытяжки традиционных удобрений: жидкие экстракты птичьего помета, навоза крупного рогатого скота, свиней и овец [14–18]. Однако еще мало внимания уделено зоогумусу (BSFFF) [19] – вторичному продукту, получаемому в результате жизнедеятельности насекомых черной львинки (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758), в процессе переработки ими отходов III–IV класса опасности. Данный метод переработки не похож ни на какой другой способ утилизации. С его использованием органические остатки не подвергаются обязательному механическому измельчению. Личинки *H. Illucens* сами измельчают их на практически одинаковые мелкие частицы в процессе их потребления в качестве источника пищи и переваривания. По содержанию биогенных элементов зоогумус не уступает сухому птичьему помету и вермикомпосту.

Экстракт зоогумуса может превосходить синтетические удобрения, поскольку он содержит как макроэлементы, так и микроэлементы, тогда как синтетические удобрения содержат только макроэлементы. Исследования показывают, что зоокомпост *H. Illucens* соответствует стандартам качества, установленным ГОСТ^{1, 2} для продукции органического производства и удобрений и на основе отходов животноводства [20]. Он также является почвенным кондиционером и улучшает ее влагоудерживающую способность [21]. Помимо этого, он влияет на фитосанитарное состояние почвенной экосистемы. Было показано, что внесение экстрактов зоогумуса приводит к полной элиминации всех мицелиальных фитопатогенных грибов, включая плесень [22]. Из минусов можно выделить, что экскременты насекомых содержат хитин. Растения содержат ферменты,

¹ ГОСТ Р 53117-2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2020. 18 с.

² ГОСТ Р 53117-2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2020. 18 с.

которые могут переваривать данный полимер, однако их активация также приводит к проявлению защитных реакций. Поэтому органические добавки, содержащие хитин, который не был разложен посредством компостирования или гидролиза в щелочной или кислой реакции среды, могут быть вредны для здоровья и жизнеспособности растений. Хитин также может быть почти полностью минерализован почвенными микроорганизмами в аэробных условиях в течение 20-дневного периода. Поэтому на среду, содержащую зоогумус и богатую углеродом, можно подсаживать полезных ризобактерий, переводя таким образом удобрение в разряд органо-бактериального консорциума. Показано положительное действие обогащения среды экстрактами зоогумуса на микробиом почв [23].

Работ, связанных с оценкой действия зоогумуса на антиоксидантный профиль микрозелени, недостаточно. Из последних исследований можно выделить лишь изучение его влияния на минеральный профиль и антиоксидантную активность базилика, салата и рукколы в условиях засухи [24–26]. Целью данного исследования было определение уровня аскорбиновой кислоты и хлорофилла в микрозелени базилика, выращенной традиционным способом на воде, минеральных удобрениях, а также на среде с органической добавкой в виде экстракта зоокомпоста.

Методология и методы исследования (Methods)

Объектом для исследования послужили семена микрозелени базилика (ООО «Никольские Проростки»). Растения выращивали в пластиковых лотках с дренажными отверстиями в гроубоксе с системой протяжной вентиляции и искусственного освещения (рис. 1). Режим инсоляции на рабочую

зону бокса составил 20 800 Лк (312,0 ммоль/м²/с⁻¹), фотопериод 16/8 ч (день/ночь). Источником освещения служила линейная LED-панель (0,6 × 0,4 м) белого света на 100 Вт с возможностью диммирования (LED for PLANT, Россия). Температура воздуха в боксе составляла 28 °С, влажность равнялась 60 %. На один лоток брали по 1,5 г семян. В качестве субстрата использовали смесь торфяного субстрата (80 %) и вермикулита (20 %). Кислотность (pH) полученного почвогрунта равнялась 6,2.

Схема опыта состояла из 3 вариантов по 3 повторности. На одном варианте субстрат обогащали комплексным минеральным удобрением «Fertica Универсал». На другом использовали добавку щелочного экстракта зоогумуса *H. Illucens*. Элементный состав обоих удобрений приведен в таблице 1. В первом случае минеральное удобрение разводили согласно предписанию производителя – 20 г на 20 л воды, что составляет 0,1-процентному рабочему раствору. Порошок зоогумуса разводили до концентрации 0,5 % (5000 ppm).

Питательные добавки вносили однократно в момент посева семян по поверхности субстрата. Далее поддержание влажности субстрата осуществляли путем полива фильтрованной водой через сукти. Контролем также служили растения, выращенные на фильтрованной воде. Подачу жидкости производили путем нижнего подтопления лотков в поддоне (субиригация). Срок вегетации составил 20 суток.

Личинок для получения сухих экскрементов разводили на базе лабораторного инсектария ВНИИ пищевых добавок. Экскременты перед экстрагированием предварительно подвергались термической обработке при температуре 70 °С в течение 60 минут.

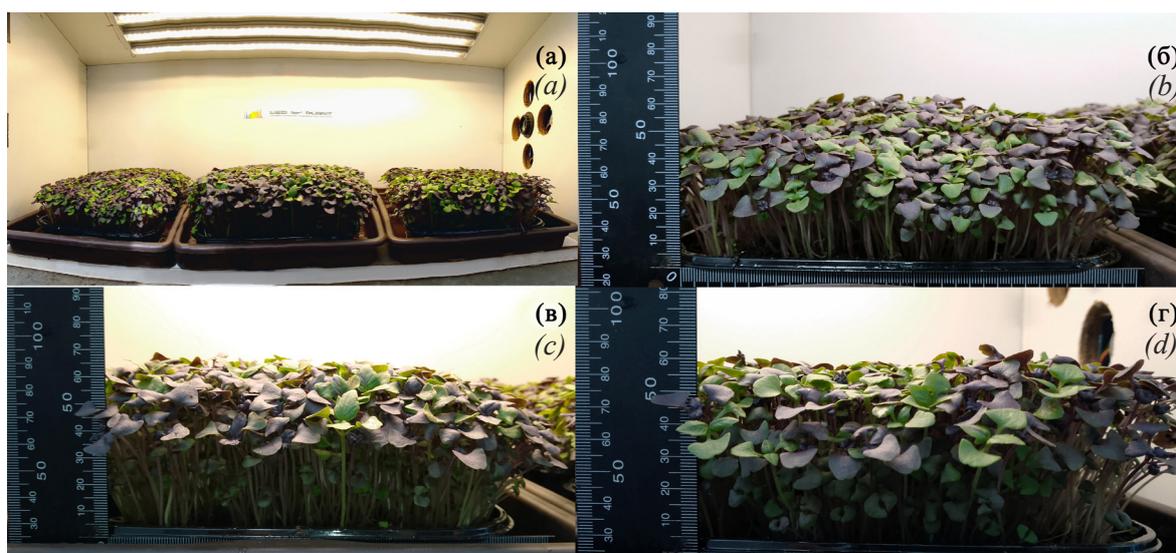


Рис. 1. Визуальный вид роста микрозелени базилика в гроубоксе:
(a) – общий вид; (б) – контроль; (в) – минеральные удобрения; (г) – зоогумус *H. Illucens*
Fig. 1. Visual view of basil microgreen growth in a growbox:
(a) – general view; (b) – control; (c) – mineral fertilizers; (d) – BSFFF *H. Illucens*

Таблица 1

Показатели элементного профиля удобрений, используемых в опыте

Fertica Универсал		Зоогумус <i>H. Illucens</i>	
Элемент	Содержание, %	Элемент	Содержание, %
Азот общий	12,00	Азот общий	4,24
Фосфор	8,60	Фосфор	1,44
Калий	14,10	Калий	3,06
Железо	0,20	Железо	0,06
Марганец	0,20	Марганец	0,007
Бор	0,20	Бор	0,002
Молибден	0,01	Молибден	0,002
Медь	0,10	Медь	0,04
Цинк	0,10	Цинк	0,04
Кальций	0,55	Кальций	1,81
Натрий	2,00	Натрий	0,62
Магний	0,40	Магний	0,98
Сера	0,70	Сера	0,56

Биология и биотехнологии

Table 1

Indicators of the elemental profile of fertilizers used in the experiment

Fertica Universal		BSFFF <i>H. Illucens</i>	
Element	Content, %	Element	Content, %
Nitrogen total	12.00	Nitrogen total	4.24
Phosphorus	8.60	Phosphorus	1.44
Potassium	14.10	Potassium	3.06
Iron	0.20	Iron	0.06
Manganese	0.20	Manganese	0.007
Boron	0.20	Boron	0.002
Molybdenum	0.01	Molybdenum	0.002
Copper	0.10	Copper	0.04
Zinc	0.10	Zinc	0.04
Calcium	0.55	Calcium	1.81
Sodium	2.00	Sodium	0.62
Magnesium	0.40	Magnesium	0.98
Sulfur	0.70	Sulfur	0.56

По окончании эксперимента зеленую биомассу срезали, промывали в воде, взвешивали на аналитических весах РА 214С (Ohaus, США), измеряли высоту побегов и проводили биохимический анализ.

Определение витамина С проводили согласно ГОСТ 24556-89 путем экстрагирования раствором соляной кислоты с массовой долей 2 %, с последующим титрованием вытяжки раствором 2,6-дихлорфенолин-дофенолята натрия (C₁₂H₆O₂NCI₂Na) до получения светло-розовой окраски. Данные полученных концентраций выражали в мг/100 г свежей массы при сравнении со стандартом. Для приготовления стандартного раствора использовали L-аскорбиновую кислоту (0,5 мг/мл).

Содержание фотосинтетических пигментов в тканях листьев определяли фотоколориметрически на спектрофотометре UV-2700 (Shimadzu, Япония) при длинах волн 663 нм (OD₆₆₃) и 645 нм (OD₆₄₅) согласно РД 52.24.784-2013, ГОСТ 17.1.4.02-90 и методике Лихтеналера и Бушманна [27]. Для этого

смешанную аликвоту 1,0 г сырой навески экстрагировали в темноте при комнатной температуре в течение 24 часов в 10 мл 80-процентного аммиачного ацетона. Полученный гомогенат центрифугировали (4000 об/мин) 10 минут (модель Sigma 2-6) и фильтровали. Супернатант переливали в колбу на 25 мл, доводили до метки 80 % ацетоном и в полученной жидкости определяли содержание фотосинтетических пигментов [28]. В качестве отрицательного контроля использовали чистый ацетон. Концентрацию хлорофилла (Хл) рассчитывали по формуле:

$$Xл \left(\frac{мг}{мл} \right) = 20,21 \cdot OD_{645} - 8,02 \cdot OD_{663}. \quad (1)$$

Анализ содержания хлорофилла *a* (Хл_а) и *b* (Хл_б) рассчитывали по следующим формулам [29]:

$$Xл_а \left(\frac{мг}{мл} \right) = -2,59 \cdot OD_{645} + 12,72 \cdot OD_{663}, \quad (2)$$

$$Xл_б \left(\frac{мг}{мл} \right) = 22,88 \cdot OD_{645} - 4,67 \cdot OD_{663}, \quad (3)$$

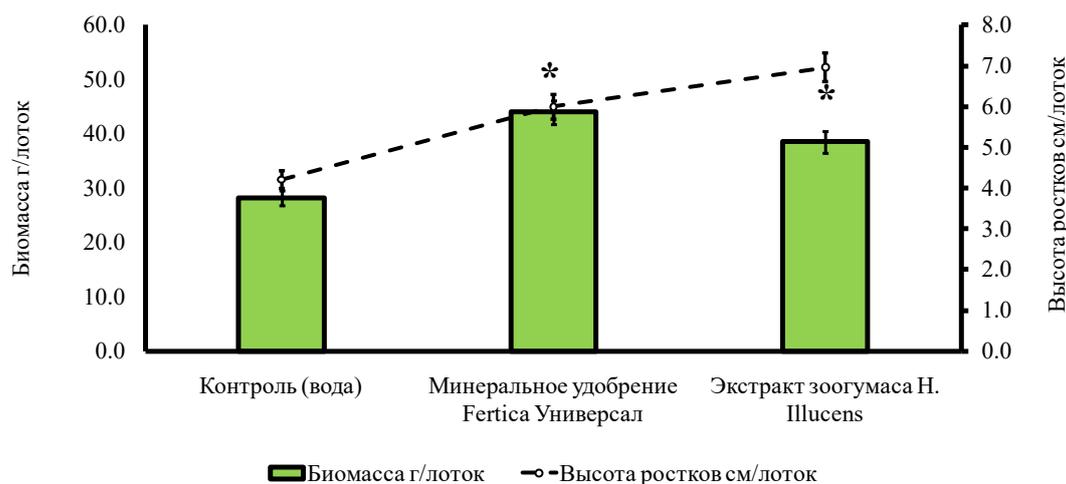


Рис. 2. Биометрические показатели роста микрозелени базилика на различной питательной среде
* – порог статистической значимости, ниже которого наблюдаемое различие групп можно считать статистически достоверными ($p < 0,05$)

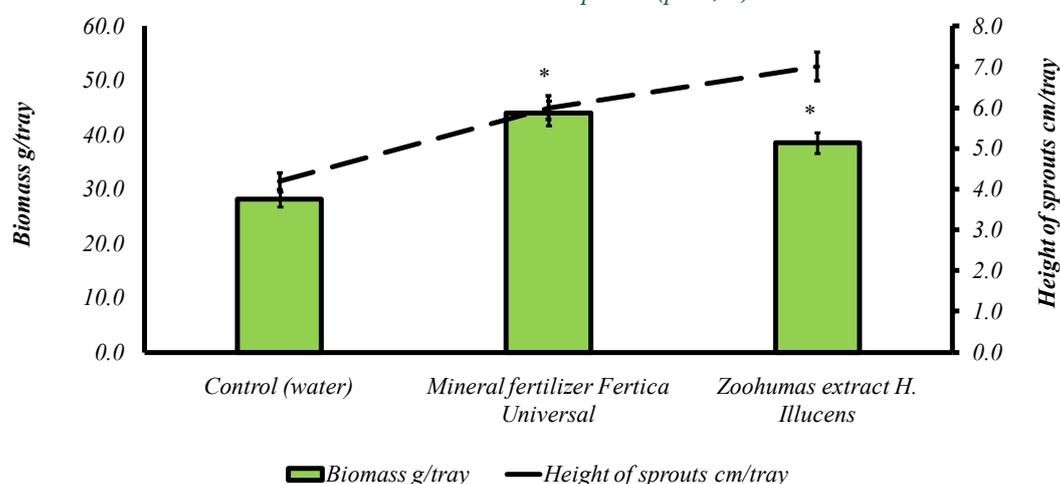


Fig. 2. Biometric indicators of basil microgreens growth on different nutrient media
* – threshold of statistical significance, below which the observed difference between groups can be considered statistically reliable ($p < 0.05$)

где значения 20,21, 8,02, 2,59, 12,72, 22,88 и 4,67 являются коэффициентами экстинкции. Конечные результаты выражали в мг хлорофилла на 100 г образца.

Обработку полученных данных выполняли с помощью прикладных систем Excel 2016 (Microsoft Corp., США). Для статистической обработки результатов на показатели роста микрозелени базилика и показатели биохимических и антиоксидантных свойств использовали дисперсионный анализ ANOVA и критерий Даннетта. По критерию Колмогорова – Смирнова оценивали нормальность распределения параметров количественных переменных. Различия считали достоверными и признавали наличие связи между показателями на уровне вероятности, не превышающей 0,05.

Результаты (Results)

Обработка удобрениями оказала благоприятное воздействие на показатели вегетативного роста микрозелени базилика. В сравнении с контролем

добавление минеральных удобрений привело к увеличению веса побегов на 56 %, добавление зоогумуса *H. illucens* – на 36 %. Максимальная высота растений, напротив, была отмечена при внесении органической добавки. Прибавка здесь составила 65 %, тогда как на минеральном фоне – лишь 46 % (рис. 2). Увеличение биометрических показателей растений способствовало интенсификации работы фотосинтетического аппарата. Средние значения синтеза общего хлорофилла в растениях, выращенных на минеральной среде, были на 11 % выше контроля (48,14 мг / 100 г), тогда как на органике этот показатель составил 22 % (52,97 мг / 100 г). Прибавка в основном произошла за счет повышения концентрации хлорофилла *a*, основной форме зеленого пигмента, участвующего в фотосинтезе. Повышение его уровня на обоих вариантах с внесением удобрений может быть напрямую связан с обеспечением их сбалансированным комплексом эссенциальных элементов, в частности азотом [30;

Таблица 2
Среднее показатели биохимических и антиоксидантных свойств микрозелени базилика, выращенной на различных фонах

Показатель	Аскорбиновая кислота, мг / 100 г	Хлорофилл а, мг / 100 г	Хлорофилл b, мг / 100 г	Общий хлорофилл, мг / 100 г
Контроль (вода)	71,07 ± 3,47	32,91 ± 3,45	10,61 ± 1,19	43,52 ± 4,31
Минеральное удобрение «Fertica Универсал»	77,12 ± 3,06	37,70 ± 1,80	10,45 ± 0,32	48,14 ± 1,92
Зоогумус <i>H. illucens</i>	86,73* ± 5,86	41,15 ± 2,53	11,82 ± 0,27	52,97 ± 2,33

Примечание. Показаны средние значения ± ошибки средних, * – порог статистической значимости, ниже которого наблюдаемое различие групп можно считать статистически достоверными ($p < 0,05$).

Table 2
Average biochemical and antioxidant properties of basil microgreens grown on different backgrounds

Indicator	Ascorbic acid, mg / 100 g	Chlorophyll a, mg / 100 g	Chlorophyll b, mg / 100 g	Total chlorophyll, mg / 100 g
Control (water)	71.07 ± 3.47	32.91 ± 3.45	10.61 ± 1.19	43.52 ± 4.31
Mineral fertilizer "Fertica Universal"	77.12 ± 3.06	37.70 ± 1.80	10.45 ± 0.32	48.14 ± 1.92
BSFFF <i>H. illucens</i>	86.73* ± 5.86	41.15 ± 2.53	11.82 ± 0.27	52.97 ± 2.33

Note. Shown are mean values ± standard errors, * is the threshold of statistical significance below which the observed difference between groups can be considered statistically significant ($p < 0.05$).

31]. Последний при накоплении в тканях листа катализирует ряд ферментов, ответственных за синтез растительных пигментов [32].

По содержанию аскорбиновой кислоты также отмечено повышенное ее накопление в биомассе на варианте с органикой (таблица 2). Концентрация данного витамина здесь возросла на 22 %, тогда как на минеральном фоне – лишь на 8 % в сравнении с контролем.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Системное потребление микрозелени базилика играет жизненно важную роль в профилактике развития рака, гипертонии, диабета, сердечно-сосудистых и воспалительных заболеваний. Основным показателем полезности культуры является наличие в ее составе витамина С, органического соединения, отвечающего за ее метаболический статус. Содержание его в микрозелени в 10 раз превышает таковые в зрелых овощах [33–34]. Однако недостатком здесь является то, что концентрация витаминов в микрозелени быстро снижается из-за короткого срока годности продукта при хранении [35]. Полученные результаты анализа показали, что даже растения в неудобренном контроле изначально демонстрировали более высокую витаминную ценность получаемого продукта по данному антиоксиданту, чем, например, апельсин или перец, где содержание витамина С составляло 49,4 и 50,3 мг на 100 г соответственно [36]. Аналогичным образом значения витамина С в микрозелени базилика были выше по сравнению с клубникой [36]. При этом полученные показатели сопоставимы с концентрациями, обнаруженными у других видов микрозелени, таких как морковь, лук, шпинат и редис, или ниже их [37]. В целом его содержание в экстрактах во многом зависит от сорта и методов экстракции.

Повышение накопления аскорбиновой кислоты в биомассе в процессе выращивания является признаком эффективности применения того или иного типа удобрений. Многие исследователи отмечают, что наилучшие методы органического выращивания микрозелени в гидропонных системах, связанных с увеличением антиоксидантного потенциала и урожайности, еще не разработаны [38–39]. Поэтому подбор и рациональное использование современных питательных добавок в технологии замкнутого цикла получения зеленой экопродукции является обязательным условием для интенсификации процесса данного производства. Переработанные экскременты насекомых, полученные в виде отходов пищевой промышленности, представляются перспективным сырьем при создании нового органического удобрения (зоогумуса), используемого как в краткосрочном периоде культивирования рассады, так и в долгосрочной перспективе их вегетации [40–41]. Физико-химические характеристики зоогумуса могут различаться в зависимости от среды и типа кормления личинки. Однако при соблюдении регламента производства диапазон изменения данных параметров можно свести к минимуму. Личинки изначально должны питаться кормовыми материалами лучшего качества, чтобы не возникла вероятность накопления в их экскрементах значительного количества тяжелых металлов. В качестве источника питания могут служить корма для кур, рыб и свиней, а также различные пищевые отходы [42].

В нашем исследовании мы стремились определить оптимальную концентрацию внесения жидкого экстракта зоогумуса, достигнув баланса между урожайностью и антиоксидантным потенциалом микрозелени базилика. Было показано, что 0,5-про-

центная концентрация суспензии является целесообразной для использования в качестве альтернативы комплексному минеральному удобрению. Разница в урожае между вариантами на различных фонах составила лишь 20 %. При этом по биохимическому анализу органическая биомасса превосходила минеральную. Более высокие значения содержания витамина С, полученные на варианте с внесением в питательную среду зоогумуса, означают увеличение адаптационного потенциала культуры к возможному окислительному стрессу [43]. Кроме того, повышение количества молекул аскорбиновой кислоты как кофактора, участвующего в митотическом росте растений, служит триггером синтеза ряда полезных биоферментов, например, таких как фосфатазы, которые играют важную роль в доступности фосфора для корней растений [44]. Ранее в исследовании базилика, выращенного в гидропонной системе, было показано, что накопление витамина С имеет положительную корреляцию с общим хлорофиллом и отрицательную с продуктивностью [45]. Хлорофилл также отрицательно коррелировал с биомассой. Этим объясняется результат более низких показателей урожая на варианте с органикой. Микрозелень здесь отставала в сыром весе побегов, но таким образом получалась обогащённой питательными веществами. Вероятно, накопление аскорбиновой кислоты также положительно сказалось на улучшении катионного обмена и аккумуляции в биомассе биогенных элементов, таких как цинк, железо, марганец, медь, сера, фосфор и др. Похожие результаты были получены в исследовании с применением вермикомпоста [46].

Превосходство в весе микрозелени, полученной на варианте с минеральными удобрениями, можно также объяснить трехкратным превосходством суммарного пула содержания в нем элементов, над

органической добавкой зоогумуса. Главным образом это связано с повышенным содержанием азота. Однако существует мнение, что внесение синтетических удобрений значительно улучшает режим питания растений лишь на ранней фазе роста, в краткосрочной перспективе [47]. Кроме того, избыточное количество минерального азота приводит к излишнему накоплению в микрозелени нитратов. Листовые овощные культуры являются особенно восприимчивыми к такому типу загрязнения. Органика действует более пролонгированно за счет постепенного расщепления ее частиц в субстрате корневыми выделениями и образованию хелатных комплексов с микроэлементами. По содержанию азота удобрения, полученные из экскрементов *H. illucens*, превосходят аналоги в виде экстрактов торфа или навоза. Добавка зоогумуса по типу компоста в торфяную смесь стимулирует нитрификацию, в результате чего в органически удобренном субстрате снижается концентрация аммонийного азота и риск образования токсичного аммиака [48]. Все это делает зоогумус более пригодным удобрением в экономике замкнутого цикла выращивания базилика в системе хемопоники. Помимо жидкого экстракта, оценка урожая здесь может проводиться с включением сухих экскрементов в почвосмесь в качестве частичной замены торфа [49]. Допустимая пропорция должна составлять 1 : 5. Также для повышения общей ценности в смесь можно включать добавку биоугля.

Поскольку исследования органического выращивания микрозелени базилика с использованием зоогумуса *H. illucens* будут продолжаться, многообещающим направлением его дальнейшего изучения может стать оценка полученного урожая не только для пищевой отрасли [50] но и для терапевтической медицины.

Библиографический список

1. Бородин К. Г., Фролова Е. Ю., Задорожная Е. А. Инновационные аграрные технологии в городах: зарубежные и российские сити фермы // Никоновские чтения. 2021. № 26. С. 195–199.
2. Ерохин М. Н., Скороходов Д. М., Скороходова А. Н., Анисимов А. А., Потемкин Р. А. Анализ современных устройств выращивания растений в городском фермерстве и перспективы его развития // Агроинженерия. 2021. № 3 (103). С. 24–31. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-24-31.
3. Saha S., Monroe A., Day M. R. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems // Annals of Agricultural Sciences. 2016. Vol. 61. Pp. 181–186. DOI: 10.1016/j.a0as.2016.10.001.
4. Волощук Л. А., Гусева В. Е., Ерзова П. И., Белов Д. С., Гавва Е. С. Экономическая эффективность выращивания микрозелени на примере УНПК «Агроцентр» ФГБОУ ВО Вавиловский университет, г. Саратов // Экономика и предпринимательство. 2023. № 9 (158). С. 1161–1164. DOI: 10.34925/EIP.2023.158.09.225.
5. Choe U., Yu L. L., Wang T. T. Y. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2018. Vol. 66. Pp. 11519–11530. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b03096.
6. Othman A. J., Eliseeva L. G., Simina D. V. Microgreens: a newly merging product, aspects, prospectives, and disadvantages // Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. Vol. 83, No. 1. Pp. 102–107. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-102-107.
7. Zhang Y., Xiao Z., Ager E., Kong L., Tan L. Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture // Journal of Future Foods. 2021. Vol. 1. Pp. 58–66. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2021.07.001.

8. Елисеева Л. Г., Осман А., Молодкина П. Г., Белкин Ю. Д., Сантурян Т. А. Влияние биотехнологии производства микрозелени в фитотронах городского типа на содержание функциональных ингредиентов, повышающих адаптивный иммунитет // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 5 (389). С. 28–31. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.5.6.
9. Елисеева Л. Г., Сими́на Д. В., Зеленков В. Н., Токарев П. И., Зайцева Е. А. Оптимизация биотехнологии получения микрозелени как источника функциональных пищевых ингредиентов в условиях синерготрона городского типа // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2024. № 1 (84). С. 21–27. DOI: 10.33979/2219-8466-2023-84-1-21-27.
10. Латушкин В. В., Зеленков В. Н., Лапин А. А., Верник П. А., Гаврилов С. В., Новиков В. Б. Экспериментальное моделирование условий онтогенеза растений и биотехнологических методов их выращивания в закрытой экосистеме – синерготроне // Вестник РАЕН. 2021. Т. 21, № 1. С. 46–53. DOI: 10.52531/1682-1696-2021-21-1-46-53.
11. Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012. № 60. Pp. 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.
12. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens-a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits // Molecules. 2023. Vol. 28. Article number 867. DOI: 10.3390/molecules28020867.
13. Pérez-Gálvez A., Viera I., Roca M. Carotenoids and Chlorophylls as Antioxidants // Antioxidants (Basel). 2020. Vol. 9, No. 6. Article number 505. DOI: 10.3390/antiox9060505.
14. Pandey V., Patel A., Patra D. D. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.) // Industrial Crops and Products. 2016. Vol. 87. Pp. 124–131. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.04.035.
15. Ghavami A., Abdossi V., Rafiee M., Khalighi A. The effect of mycorrhiza and vermicompost bio-fertilizers on some physiological characteristics of sweet basil plant (*Ocimum basilicum* L.) under the stress condition caused by water deficit // Ukrainian Journal of Ecology. 2017. Vol. 7, No. 4. Pp. 325–329. DOI: 10.15421/2017_123.
16. Javanmardi E., Ghorbani E. Effects of chicken manure and vermicompost teas on herb yield, secondary metabolites and antioxidant activity of lemon basil (*Ocimum × citriodorum* Vis.) // Advances in Horticultural Science. 2012. Vol. 26, No. 3-4. Pp. 151–157. DOI: 10.13128/ahs-22670.
17. Naiji M., Souri M. K. Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization // Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus. 2018. Vol. 17, No. 2. Pp. 167–175. DOI: 10.24326/asphc.2018.2.14.
18. Toaima W. I. M., Badawy M. Y. M. A., Hamed E. S. Effect of organic fertilization on productivity of some newly introduced basil varieties under Siwa Oasis conditions // Journal of Applied Biology and Biotechnology. 2022. Vol. 10, No. 02. Pp. 74–88. DOI: 10.7324/JABB.2022.100210.
19. Пендюрин Е. А., Рыбина С. Ю., Смоленская Л. М. Использование зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения // Аграрная наука. 2020. № 7-8. С. 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110.
20. Пендюрин Е. А., Здоровцов В. А., Рыбина С. Ю., Святченко А. В. Агрехимические характеристики зоокомпоста личинок насекомого черная львинка // Агрехимический вестник. 2024. № 3. С. 59–62. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-010.
21. Пендюрин Е. А., Сапронова Ж. А., Токач Ю. Е. Зоокомпост личинок мухи черная львинка как влагоудерживающий агент в почвах // Природообустройство. 2023. № 3. С. 59–65. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-59-65.
22. Kuznetsova T. A., Vecherskii M. V., Khayrullin D. R., Stepankov A. A., Maximova I. A., Kachalkin A. V., Ushakova N. A. Dramatic effect of black soldier fly larvae on fungal community in a compost // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2022. Vol. 102, No. 6. Pp. 2598–2603. DOI: 10.1002/jsfa.11601.
23. Fuhrmann A., Wilde B., Conz R. F., Kantengwa S., Konlambigue M., Masengesho B., Kintche K., Kassa K., Musazura W., Späth L., Gold M., Mathys A., Six J., Hartmann M. Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term // Frontiers in Microbiology. 2022. Vol. 13. Article number 994091 DOI: 10.3389/fmicb.2022.994091.
24. Radzikowska-Kujawska D., Sawinska Z., Grzanka M., Kowalczewski P., Sobiech Ł., Świtek S., Skrzypczak G., Drożdżyńska A., Ślachciński M., Nowicki M. *Hermetia illucens* frass improves the physiological state of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its nutritional value under drought // PLoS ONE 2023. Vol. 18. Article number e0280037. DOI: 10.1371/journal.pone.0280037.
25. Sawinska Z., Radzikowska-Kujawska D., Kowalczewski P. Ł., Grzanka M., Sobiech Ł., Skrzypczak G., Drożdżyńska A., Ślachciński M., Świtek S. *Hermetia illucens* frass fertilization: a novel approach for enhancing

lettuce resilience and photosynthetic efficiency under drought stress conditions // Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 6. Article number 2386. DOI: 10.3390/app14062386.

26. Chavez M. Y., Uchanski M., Tomberlin J. K. Impacts of black soldier fly, *Hermetia illucens*, larval frass on lettuce and arugula production // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2024. Vol. 8. Article number 1399932. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1399932.

27. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001. Vol. 1, No. 1. DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01.

28. Goodwin T. W. Chemistry and biochemistry of plant pigment. 2nd ed. San Francisco, USA: Academic Press, 1976. 870 p.

29. Gu D. D., Wang W. Z., Hu J. D., Zhang X. M., Wang J. B., Wang B. S. Nondestructive determination of total chlorophyll content in maize using three-wavelength diffuse reflectance // Journal of Applied Spectroscopy. 2016. Vol. 83. Pp. 541–547. DOI: 10.1007/s10812-016-0325-y.

30. Baghour M., Ruiz J. M., Romero L. Metabolism and efficiency in nitrogen utilization during senescence in pepper plants: Response to nitrogenous fertilization // Journal of Plant Nutrition. 2000. Vol. 23, No. 1. Pp. 91–101. DOI: 10.1080/01904160009382000.

31. Singh K., Chand S., Yaseen M. Integrated nutrient management in Indian basil (*Ocimum basilicum*) // Industrial Crops and Products. 2014. Vol. 55. Pp. 225–229. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.02.009.

32. Najm A. A., Hadi M. R. H. S., Fazeli F., Darzi M. T., Rahi A. Effect of Integrated Management of Nitrogen Fertilizer and Cattle Manure on the Leaf Chlorophyll, Yield, and Tuber Glycoalkaloids of Agria Potato // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2012. Vol. 43, No. 6. Pp. 912–923. DOI: 10.1080/00103624.2012.653027.

33. Xiao Z., Lester G. E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2012. No. 60. Pp. 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.

34. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens—a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits // Molecules. 2023. Vol. 28. Article number 867. DOI: 10.3390/molecules28020867.

35. Mir S. A., Shah M. A., Mir M. M. Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017. Vol. 57, No. 12. Pp. 2730–2736. DOI: 10.1080/10408398.2016.1144557.

36. Kapur A. A., Hasković A., Čopra-Janićijević A., Klepo L., Topčagić A., Tahirović I., Sofić E. Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables // Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina. 2012. Vol. 38. Pp. 39–42.

37. Ghoora M. D., Babu D. R., Srividya N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens // Journal of Food Composition and Analysis. 2020. No. 91. Article number 103495. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103495.

38. Tan L., Nuffer H., Feng J., Kwan S. H., Chen H., Tong X., Kong L. Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms // Food Science and Human Wellness. 2020. No. 9. Pp. 45–51. DOI: 10.1016/j.fshw.2019.12.002.

39. Kyriacou M. C., De Pascale S., Kyriacou A., Roupheal Y. Microgreens as a component of space life support systems: a cornucopia of functional food // Frontiers in Plant Science. 2017. No. 8. Article number 1587. DOI: 10.3389/fpls.2017.01587.

40. Beesigamukama D., Subramanian S., Tanga C.M. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects // Scientific Reports. 2022. Vol. 12, No. 1. Article number 7182. DOI: 10.1038/s41598-022-11336-z.

41. Chavez M. The sustainability of industrial insect mass rearing for food and feed production: zero waste goals through by-product utilization // Current Opinion in Insect Science. 2021. Vol. 48. Pp. 44–49. DOI: 10.1016/j.cois.2021.09.003.

42. Lomonaco G., Franco A., De Smet J., Scieuzo C., Salvia R., Falabella P. Larval frass of *Hermetia illucens* as organic fertilizer: composition and beneficial effects on different crops // Insects. 2024. Vol. 15, No. 4. Article number 293. DOI: 10.3390/insects15040293.

43. Paciolla C., Fortunato S., Dipierro N., Paradiso A., De Leonardis S., Mastropasqua L., de Pinto M. C. Vitamin C in plants: from functions to biofortification // Antioxidants. 2019. Vol. 8, No. 11. Article 519. DOI: 10.3390/antiox8110519.

44. Baslam M., Garmendia I., Goicoechea, N. Enhanced accumulation of vitamins, nutraceuticals and minerals in lettuces associated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF): a question of interest for both vegetables and humans // Agriculture. 2013. No. 3. Pp. 188–209. DOI: 10.3390/agriculture3010188.

45. Fayeziadeh M. R., Ansari N. A., Sourestani M. M., Hasanuzzaman M. Balancing yield and antioxidant capacity in basil microgreens: an exploration of nutrient solution concentrations in a floating system // *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 9. Article number 1691. DOI: 10.3390/agriculture13091691.

46. Najji M., Soury M. K. Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization // *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2018. Vol. 17, No. 2. Pp. 167–175. DOI: 10.24326/asphc.2018.2.14.

47. El Gendy A. G., Taghred A. H., El-Sayed S. M. Effect of biofertilizers and/or urea on growth yield, essential oil and chemical compositions of *Cymbopogon citratus* plants // *Journal of Applied Sciences Research*. 2013. Vol. 9. Pp. 309–320.

48. Frerichs C., Daum D., Pacholski A. S. Ammonia and ammonium exposure of basil (*Ocimum basilicum* L.) growing in an organically fertilized peat substrate and strategies to mitigate related harmful impacts on plant growth // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 10. Article number 1696. DOI: 10.3389/fpls.2019.01696.

49. Setti L., Francia E., Pulvirenti A., Gigliano S., Zaccardelli M., Pane C., Caradonia F., Bortolini S., Maitrello L., Ronga D. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media // *Waste Management*. 2019. Vol. 95. Pp. 278–288. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.06.017.

50. Anwar M., Patra D. D., Chand S., Alpesh K., Naqavi A. A., Khanuja S. P. S. Effect of organic manure and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation and oil quality of French basil // *Communications In Soil Science and Plant Analysis*. 2005. Vol. 36. Pp. 1737–1746. DOI: 10.1081/CSS-200062434.

Об авторах:

Святослав Игоревич Лоскутов, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией промышленных биотехнологических инноваций, ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-8102-2900, AuthorID 688368. *E-mail: lislosk@mail.ru*

Ян Викторович Пухальский, инженер-исследователь, ВНИИ пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0001-5233-3497, AuthorID 784249. *E-mail: puhalskyan@gmail.com*

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

Ирина Алексеевна Каменева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450. *E-mail: irina.kameneva.7@mail.ru*

References

1. Borodin K. G., Frolova E. Yu., Zadorozhnaya E. A. Innovative agricultural technologies in cities: foreign and Russian city farms. *Nikonovskie Readings*. 2021; 26: 195–199. (In Russ.)

2. Erokhin M. N., Skorokhodov D. M., Skorokhodova A. N., Anisimov A. A., Potemkin R. A. Analysis of modern devices for growing plants in urban farming and prospects for its development. *Agroengineering*. 2021; 3 (103): 24–31. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-24-31. (In Russ.)

3. Saha S., Monroe A., Day M. R. Growth, yield, plant quality and nutrition of basil (*Ocimum basilicum* L.) under soilless agricultural systems. *Annals of Agricultural Sciences*. 2016; 61: 181–186. DOI: 10.1016/j.aos.2016.10.001.

4. Voloshchuk L. A., Guseva V. E., Erzova P. I., Belov D. S., Gavva E. S. Economic efficiency of growing microgreens on the example of the Scientific and Production Complex “Agrocenter” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Vavilov University, Saratov. *Economics and Entrepreneurship*. 2023; 9 (158): 1161–1164. DOI: 10.34925/EIP.2023.158.09.225. (In Russ.)

5. Choe U., Yu L. L., Wang T. T. Y. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018; 66: 11519–11530. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b03096.

6. Othman A. J., Eliseeva L. G., Simina D. V. Microgreens: a newly merging product, aspects, perspectives, and disadvantages. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2021; 83 (1): 102–107. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-102-107.

7. Zhang Y., Xiao Z., Ager E., Kong L., Tan L. Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods*. 2021; 1: 58–66. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2021.07.001.

8. Eliseeva L. G., Osman A., Molodkina P. G., Belkin Yu. D., Santuryan T. A. The influence of biotechnology for the production of microgreens in urban-type phytotrons on the content of functional ingredients that en-

hance adaptive immunity. *News of Higher Educational Institutions. Food Technology*. 2022; 5 (389): 28–31. DOI: 10.26297/0579-3009.2022.5.6. (In Russ.)

9. Eliseeva L. G., Simina D. V., Zelenkov V. N., Tokarev P. I., Zaitseva E. A. Optimization of biotechnology for obtaining microgreens as a source of functional food ingredients in an urban synergotron. *Technology and Commodity Science of Innovative Food Products*. 2024; 1 (84): 21–27. DOI: 10.33979/2219-8466-2023-84-1-21-27. (In Russ.)

10. Latushkin V. V., Zelenkov V. N., Lapin A. A., Vernik P. A., Gavrilov S. V., Novikov V. B. Experimental modeling of plant ontogenesis conditions and biotechnological methods of their cultivation in a closed ecosystem – synergotron. *Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences*. 2021; 21 (1): 46–53. DOI: 10.52531/1682-1696-2021-21-1-46-53. (In Russ.)

11. Xiao Z., Lester G. E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012; 60: 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.

12. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens—a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits. *Molecules*. 2023; 28: 867. DOI: 10.3390/molecules28020867.

13. Pérez-Gálvez A., Viera I., Roca M. Carotenoids and Chlorophylls as Antioxidants. *Antioxidants (Basel)*. 2020; 9 (6): 505. DOI: 10.3390/antiox9060505.

14. Pandey V., Patel A., Patra D. D. Integrated nutrient regimes ameliorate crop productivity, nutritive value, antioxidant activity and volatiles in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial Crops and Products*. 2016; 87: 124–131. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.04.035.

15. Ghavami A., Abdossi V., Rafiee M., Khalighi A. The effect of mycorrhiza and vermicompost bio-fertilizers on some physiological characteristics of sweet basil plant (*Ocimum basilicum* L.) under the stress condition caused by water deficit. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017; 7 (4): 325–329. DOI: 10.15421/2017_123.

16. Javanmardi E., Ghorbani E. Effects of chicken manure and vermicompost teas on herb yield, secondary metabolites and antioxidant activity of lemon basil (*Ocimum × citriodorum* Vis.). *Advances in Horticultural Science*. 2012; 26 (3-4): 151–157. DOI: 10.13128/ahs-22670.

17. Naiji M., Souri M. K. Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2018; 17 (2): 167–175. DOI: 10.24326/asphc.2018.2.14.

18. Toaima W. I. M., Badawy M. Y. M. A., Hamed E. S. Effect of organic fertilization on productivity of some newly introduced basil varieties under Siwa Oasis conditions. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. 2022; 10 (02): 74–88. DOI: 10.7324/JABB.2022.100210.

19. Pendyurin E. A., Rybina S. Yu., Smolenskaya L. M. Using black soldier fly zoocompost as an organic fertilizer. *Agrarian Science*. 2020; 7-8: 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110. (In Russ.)

20. Pendyurin E. A., Zdorovtsov V. A., Rybina S.Y. u., Svyatchenko A. V. Agrochemical characteristics of zoocompost of black soldier fly insect larvae. *Agrochemical Bulletin*. 2024; 3: 59–62. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-010. (In Russ.)

21. Pendyurin E. A., Saprionova Zh. A., Tokach Yu. E. Zoocompost of black lion fly larvae as a moisture-retaining agent in soils. *Environmental Engineering*. 2023; 3: 59–65. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-59-65. (In Russ.)

22. Kuznetsova T. A., Vecherskii M. V., Khayrullin D. R., Stepankov A. A., Maximova I. A., Kachalkin A. V., Ushakova N. A. Dramatic effect of black soldier fly larvae on fungal community in a compost. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2022; 102 (6): 2598–2603. DOI: 10.1002/jsfa.11601.

23. Fuhrmann A., Wilde B., Conz R. F., Kantengwa S., Konlambigue M., Masengesho B., Kintche K., Kassa K., Musazura W., Späth L., Gold M., Mathys A., Six J., Hartmann M. Residues from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae rearing influence the plant-associated soil microbiome in the short term. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13: 994091 DOI: 10.3389/fmicb.2022.994091.

24. Radzikowska-Kujawska D., Sawinska Z., Grzanka M., Kowalczewski P., Sobiech Ł., Świtek S., Skrzypczak G., Drożdżyńska A., Ślacheński M., Nowicki M. *Hermetia illucens* frass improves the physiological state of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its nutritional value under drought. *PLoS ONE*. 2023; 18: e0280037. DOI: 10.1371/journal.pone.0280037.

25. Sawinska Z., Radzikowska-Kujawska D., Kowalczewski P.L., Grzanka M., Sobiech Ł., Skrzypczak G., Drożdżyńska A., Ślacheński M., Świtek S. *Hermetia illucens* Frass Fertilization: A Novel Approach for Enhancing Lettuce Resilience and Photosynthetic Efficiency under Drought Stress Conditions. *Applied Sciences*. 2024; 14 (6): 2386. DOI: 10.3390/app14062386.

26. Chavez M. Y., Uchanski M., Tomberlin J. K. Impacts of black soldier fly, *Hermetia illucens*, larval frass on lettuce and arugula production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024; 8: 1399932. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1399932.
27. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001; 1 (1). DOI: 10.1002/0471142913.faf0403s01.
28. Goodwin T. W. *Chemistry and biochemistry of plant pigment*. 2nd ed. San Francisco, USA: Academic Press, 1976. 870 p.
29. Gu D. D., Wang W. Z., Hu J. D., Zhang X. M., Wang J. B., Wang B. S. Nondestructive determination of total chlorophyll content in maize using three-wavelength diffuse reflectance. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2016; 83: 541–547. DOI: 10.1007/s10812-016-0325-y.
30. Baghour M., Ruiz J. M., Romero L. Metabolism and efficiency in nitrogen utilization during senescence in pepper plants: Response to nitrogenous fertilization. *Journal of Plant Nutrition*. 2000; 23 (1): 91–101. DOI: 10.1080/01904160009382000.
31. Singh K., Chand S., Yaseen M. Integrated nutrient management in Indian basil (*Ocimum basilicum*). *Industrial Crops and Products*. 2014; 55: 225–229. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.02.009.
32. Najm A. A., Hadi M. R. H. S., Fazeli F., Darzi M. T., Rahi A. Effect of Integrated Management of Nitrogen Fertilizer and Cattle Manure on the Leaf Chlorophyll, Yield, and Tuber Glycoalkaloids of Agrida Potato. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2012; 43 (6): 912–923. DOI: 10.1080/00103624.2012.653027.
33. Xiao Z., Lester G.E., Luo Y., Wang Q. Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012; 60: 7644–7651. DOI: 10.1021/jf300459b.
34. Bhaswant M., Shanmugam D. K., Miyazawa T., Abe C., Miyazawa T. Microgreens—a comprehensive review of bioactive molecules and health benefits. *Molecules*. 2023; 28: 867. DOI: 10.3390/molecules28020867.
35. Mir S. A., Shah M. A., Mir M. M. Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017; 57 (12): 2730–2736. DOI: 10.1080/10408398.2016.1144557.
36. Kapur A. A., Hasković A., Čopra-Janičićjević A., Klepo L., Topčagić A., Tahirović I., Sofić E. Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*. 2012; 38: 39–42.
37. Ghoola M. D., Babu D. R., Srividya N. Nutrient composition, oxalate content and nutritional ranking of ten culinary microgreens. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2020; 91: 103495. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103495.
38. Tan L., Nuffer H., Feng J., Kwan S. H., Chen H., Tong X., Kong L. Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. *Food Science and Human Wellness*. 2020; 9: 45–51. DOI: 10.1016/j.fshw.2019.12.002.
39. Kyriacou M. C., De Pascale S., Kyrtziz A., Roupheal Y. Microgreens as a Component of Space Life Support Systems: A Cornucopia of Functional Food. *Frontiers in Plant Science*. 2017; 8: 1587. DOI: 10.3389/fpls.2017.01587.
40. Beesigamukama D., Subramanian S., Tanga C. M. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1): 7182. DOI: 10.1038/s41598-022-11336-z.
41. Chavez M. The sustainability of industrial insect mass rearing for food and feed production: zero waste goals through by-product utilization. *Current Opinion in Insect Science*. 2021; 48: 44–49. DOI: 10.1016/j.cois.2021.09.003.
42. Lomonaco G., Franco A., De Smet J., Scieuzo C., Salvia R., Falabella P. Larval Frass of *Hermetia illucens* as Organic Fertilizer: Composition and Beneficial Effects on Different Crops. *Insects*. 2024; 15 (4): 293. DOI: 10.3390/insects15040293.
43. Paciolla C., Fortunato S., Dipierro N., Paradiso A., De Leonardis S., Mastropasqua L., de Pinto M. C. Vitamin C in plants: from functions to biofortification. *Antioxidants*. 2019; 8 (11): 519. DOI: 10.3390/antiox8110519.
44. Baslam M., Garmendia I., Goicoechea, N. Enhanced accumulation of vitamins, nutraceuticals and minerals in lettuces associated with arbuscular mycorrhizal fungi (Amf): a question of interest for both vegetables and humans. *Agriculture*. 2013; 3: 188–209. DOI: 10.3390/agriculture3010188.
45. Fayeizadeh M. R., Ansari N. A., Sourestani M. M., Hasanuzzaman M. Balancing Yield and Antioxidant Capacity in Basil Microgreens: An Exploration of Nutrient Solution Concentrations in a Floating System. *Agriculture*. 2023; 13 (9): 1691. DOI: 10.3390/agriculture13091691.
46. Najji M., Souri M. K. Nutritional value and mineral concentrations of sweet basil under organic compared to chemical fertilization. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*. 2018; 17 (2): 167–175. DOI: 10.24326/asphc.2018.2.14.

47. El Gendy A. G., Taghred A. H., El-Sayed S. M. Effect of biofertilizers and/or urea on growth yield, essential oil and chemical compositions of *Cymbopogon citratus* plants. *Journal of Applied Sciences Research*. 2013; 9: 309–320.

48. Frerichs C., Daum D., Pacholski A. S. Ammonia and ammonium exposure of basil (*Ocimum basilicum* L.) growing in an organically fertilized peat substrate and strategies to mitigate related harmful impacts on plant growth. *Frontiers in Plant Science*. 2020; 10: 1696. DOI: 10.3389/fpls.2019.01696.

49. Setti L., Francia E., Pulvirenti A., Gigliano S., Zaccardelli M., Pane C., Caradonia F., Bortolini S., Maistrello L., Ronga D. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media. *Waste Management*. 2019; 95: 278–288. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.06.017.

50. Anwar M., Patra D. D., Chand S., Alpesh K., Naqavi A. A., Khanuja S. P. S. Effect of organic manure and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation and oil quality of french basil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2005; 36: 1737–1746. DOI: 10.1081/CSS-200062434.

Authors' information:

Svyatoslav I. Loskutov, candidate of agricultural sciences, head of the laboratory of industrial biotechnological innovation, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-8102-2900, AuthorID: 688368. *E-mail: lislosk@mail.ru*

Yan V. Pukhalskiy, research engineer, All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbato, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0001-5233-3497, AuthorID 784249. *E-mail: puhalskiyan@gmail.com*

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

Irina A. Kameneva, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450. *E-mail: irina.kameneva.7@mail.ru*

Мясная продуктивность молодняка кроликов на откорме при разном уровне протеина в полнорационных комбикормах

Д. Г. Погосян[✉], Д. В. Захаров

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

[✉]E-mail: pogosyan.d.g@mail.ru

Аннотация. Цель исследований – определить оптимальный уровень содержания сырого протеина в полнорационных комбикормах при сухом типе кормления для молодняка кроликов мясных пород при интенсивном откорме в условиях промышленных ферм, позволяющий повысить мясную продуктивность животных. **Методы исследований.** Научно-производственный опыт проводился на четырех группах молодняка мясных пород кроликов (Белый великан × Паннон) с 35- до 90-дневного возраста, укомплектованных в 4 группы. Различия между группами заключались в использовании комбикормов с разным уровнем сырого протеина. Кроликам контрольной группы скармливали комбикорм с уровнем протеина 19 %. Животные 1, 2 и 3-й опытных групп потребляли комбикорма с содержанием сырого протеина на уровне 16,5, 18 и 20 %. Изучаемые показатели: динамика живой массы, абсолютный и среднесуточный прирост, сохранность молодняка, конверсия кормов, показатели убоя. **Результаты.** При откорме молодняка кроликов оптимальным считается содержание сырого протеина в полнорационных гранулированных комбикормах на уровне 19 %, что позволяет повысить среднесуточный прирост живой массы молодняка до 42,6 г, или на 8,2–16,8 %, при живой массе в конце откорма в возрасте 90 дней – 3269 г. При этом наибольшая разница в интенсивности роста крольчат в пользу контрольной группы отмечалась в возрасте от 35 до 70 суток. Наиболее эффективное использование питательных веществ в организме животных было зафиксировано также в контрольной группе, о чем свидетельствует снижение конверсии корма до 3,42, которое в сравнении с опытными группами было ниже на 0,36–0,94 единицы. Скармливание откармливаемым крольчатам комбикорма с оптимальным содержанием протеина на уровне 19 % не оказывало отрицательного влияния на сохранность молодняка и приводило к увеличению убойного выхода с 50,6 до 52,2 %. **Научная новизна.** Впервые установлен научно обоснованный оптимальный уровень содержания сырого протеина в полнорационном комбикорме, предназначенном для откорма молодняка кроликов мясных пород при сухом типе кормления в условиях промышленных кроликоферм.

Ключевые слова: кролики, откорм, молодняк, комбикорм, сырой протеин, мясная продуктивность, живая масса, сохранность, конверсия корма, убойный выход

Для цитирования: Погосян Д. Г., Захаров Д. В. Мясная продуктивность молодняка кроликов на откорме при разном уровне протеина в полнорационных комбикормах // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 278–289. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-278-289>.

Дата поступления статьи: 29.07.2024, **дата рецензирования:** 06.11.2024, **дата принятия:** 29.11.2024.

Meat productivity of young rabbits on fattening with different levels of protein in full-fledged compound feeds

D. G. Pogosyan[✉], D. V. Zakharov

Penza State Agrarian University, Penza, Russia

[✉]E-mail: pogosyan.d.g@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to determine the optimal level of crude protein content in full-fledged compound feeds with a dry type of feeding for young rabbits of meat breeds with intensive fattening in industrial farms, which allows to increase the meat productivity of animals. **Research methods.** A scientific and production experiment was conducted on four groups of young meat breeds of rabbits (Belyy velikan × Pannon) from 35 to 90 days of age, staffed in 4 groups. The differences between the groups consisted in the use of compound feeds with different levels of crude protein. The rabbits of the control group were fed compound feed with a protein level of 19 %. Animals of the 1st, 2nd and 3rd experimental groups consumed compound feeds with a crude protea content at the level of 16,5, 18 and 20 %. The studied indicators are: dynamics of live weight, absolute and average daily growth, safety of young animals, feed conversion, slaughter indicators. **Results.** With intensive fattening of young rabbits, the optimal content of crude protein in full-fledged granular compound feeds is considered to be at the level of 19 %, which allows increasing the average daily increase in live weight of young animals to 42,6 g or by 8,2–16,8 % with live weight at the end of fattening at the age of 90 days – 3269 g. At the same time, the greatest difference in the intensity of growth of baby rabbits in favor of the control group was noted at the age of 35 to 70 days. The most effective use of nutrients in the animal body was also noted in the control group, as evidenced by a decrease in feed conversion to 3,42, which was lower by 0,36-0,94 units in comparison with experimental groups. Feeding the fed rabbits with a combo feed with an optimal protein content of 19 % did not adversely affect the safety of the young and led to an increase in the slaughter yield from 50,6 to 52,2 %. **Scientific novelty.** For the first time, a scientifically based, optimal level of crude protein content has been established in a full-fledged compound feed intended for intensive fattening of young rabbits of meat breeds with a dry type of feeding in industrial rabbit farms.

Keywords: rabbits, fattening, young animals, compound feed, crude protein, meat productivity, live weight, safety, feed conversion, slaughter yield

For citation: Pogosyan D. G., Zakharov D. V. Meat productivity of young rabbits on fattening with different levels of protein in full-fledged compound feeds. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 278–289. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-278-289>. (In Russ.)

Date of paper submission: 29.07.2024, **date of review:** 06.11.2024, **date of acceptance:** 29.11.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В настоящее время отечественное кролиководство все больше начинает развиваться по пути промышленного направления, которое базируется на бройлерной технологии откорма молодняка. Этому способствует повышение потребительского спроса на мясо кролика, особенно в индустрии детского и функционального питания. Кролиководство в силу биологических особенностей кроликов имеет неоспоримое преимущество перед всеми существующими видами мясного животноводства прежде всего по высоким показателям многоплодия и скороспелости [1]. Благодаря промышленному кролиководству путем обеспечения комфортных условий содержания создаются благоприятные условия для максимальной реализации генетического потенциала роста и развития кроликов. При этом главенствующим фактором эффективного ведения

кролиководства является организация полноценного питания молодняка на откорме [2]. Для этого необходимо разрабатывать полнорационные гранулированные комбикорма, содержащие оптимальный уровень питательных веществ, обеспечивающих высокую мясную продуктивность растущих животных с минимальными затратами кормовых средств. При организации полноценного питания необходимо иметь в виду, что мясная продуктивность кроликов во многом определяется уровнем протеина в используемых комбикормах [3]. Низкий уровень протеина в комбикормах откармливаемого молодняка ограничивает мясную продуктивность. Высокий уровень протеина, в свою очередь, нарушает белковый обмен, снижает конверсию кормов и отрицательно влияет на уровень рентабельности производства мяса кроликов.

В ранее проведенных нами исследованиях были установлены оптимальные уровни содержания протеина в комбикормах для сукольных и лактирующих крольчих в первые 20 дней лактации – 18 % и с 21 по 35-й день лактации на уровне 21% [4; 5]. Заключительным звеном в технологии промышленного кролиководства является откорм, по завершении которого получают конечный продукт – крольчатину. Поэтому в настоящее время для развития отечественного кролиководства значимым аспектом считается поиск оптимального содержания сырого протеина в полнорационных гранулированных комбикормах, предназначенных для молодняка кроликов на откорме.

Согласно действующему межгосударственному стандарту (ГОСТ 32897-2014), для молодняка кроликов на откорме в возрасте от 35 до 135 суток содержание протеина в полнорационных гранулированных комбикормах должно быть не менее 18,4 % [6]. Однако в стандарте отсутствует конкретизация уровня сырого протеина в комбикормах, в частности, не прописан верхний предел его содержания. Мнение специалистов, работающих в кролиководстве, комбикормовой промышленности, отечественных и зарубежных ученых в области физиологии и кормления кроликов относительно оптимального уровня протеина в комбикормах неоднозначно [7].

Сотрудниками ВНИИ пушного звероводства и кролиководства в свое время были разработаны рецепты полнорационных комбикормов для молодняка, откармливаемого на мясо в возрасте от 35 до 90 дней (ПГК 92-1-89), с содержанием протеина 18,3 % и три вида комбикорма (ПГК 92-2-89; ПГК 92-3-89; ПГК 92-3-95) для возраста 45–90 дней с уровнем протеина от 17,6 до 21,2 % [8].

По данным ряда отечественных ученых полнорационный гранулированный комбикорм для кроликов должен быть универсальным для всех половозрастных групп и содержать 17–18 % сырого протеина [9; 10]. Учеными ВНИИПЗК разработан патент по способу кормления кроликов, на основании которого для откорма молодняка предлагается комбикорм с крайне низким содержанием сырого протеина на уровне 11,3 %, который по продуктивному действию не уступает комбикормам с уровнем протеина 16 % [11; 12]. По данным зарубежных ученых, низкий уровень протеина в кормах увеличивают потребление цекотропа, а высокий снижают его [13]. Благодаря уникальной возможности кролики, поедая ночные фекалии, повторно используют кормовой белок через более ценную в аминокислотном плане структуру микробного белка. Однако возникает вопрос, насколько эти биологические функции позволяют реализовать высокий генетический потенциал роста кролика, насколько они актуальны и экономически оправданы при бройлерной технологии промышленного производства мяса кроликов.

Отечественные комбикормовые заводы производят полнорационные комбикорма для откорма молодняка кроликов с содержанием сырого протеина в диапазоне от 15,6 до 18 %. Компания Purina производит комбикорм ULTRA, предназначенный для молодняка кроликов, с содержанием протеина 18 %. Глазовский и Брюховецкий («Южная Корона») комбикормовый заводы выпускают комбикорм ПК-90 и ПК-94-1 для откорма молодняка с низким содержанием протеина (15,6 и 16,1 %). Раменский комбинат хлебопродуктов и ГК «Мегамикс» реализуют универсальные комбикорма (ПЗК-91) с содержанием протеина 17,5 и 18,3 %. Тосненский завод производит высокопротеиновый комбикорм (ПК 90-4 «Мистер кролик» и ПК 92-2) для откорма молодняка с содержанием протеина не менее 19 %. Завод по производству кормов VEGA реализует комбикорм для откорма кроликов (ПЗК-90) с содержанием протеина 17,5 %.

Проблема, связанная с производством содержащих оптимальный уровень сырого протеина комбикормов для кроликов, существует и в зарубежных странах. При этом во многих странах наблюдается тенденция к снижению в комбикормах содержания сырого протеина [14]. Коммерческие комбикорма для растущих кроликов разработаны таким образом, чтобы обеспечить адекватный интенсивному росту уровень содержания сырого протеина не менее 150 г/кг [15]. В то же время О. R. Saraban с соавторами приводят данные о том, что содержание белка около 140 г/кг комбикорма не ухудшало показатели роста у откармливаемых кроликов с приростом живой массы до 55 г в сутки [16]. В опытах Trucino A. с соавторами снижение концентрации белка в рационе со 172 до 139 г/кг линейно снижало показатели роста и ферментационную активность слепой кишки у кроликов [17]. В исследованиях Р. J. Mañín-García с коллегами установлено, что умеренно-белковое кормление кроликов при скармливании комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 146 г/кг не удовлетворяет потребности растущих кроликов с высокой скоростью роста [18]. Увеличение содержания протеина в кормах при откорме кроликов в опытах сопровождалось значительным увеличением общей скорости роста животных и живой массы молодняка в убойном возрасте [19].

В связи с вышеизложенной проблемой, существующей в кормлении кроликов, целью наших исследований явилось определение научно обоснованного уровня содержания сырого протеина в комбикормах, позволяющего повысить мясную продуктивность молодняка на откорме и, соответственно, рентабельность производства отрасли кролиководства в целом.

Методология и методы исследования (Methods)

Исследования проводились в условиях кроликофермы ИП ГКФХ Р. А. Герасимов на откармливаем-

мых помесных крольчатах, полученных в результате искусственного осеменения крольчих породы Белый великан, спермой самцов Белого паннона. Крольчата после отъема от крольчих в возрасте 35 суток были укомплектованы в 4 группы по 40 голов в каждой с учетом живой массы, одна из групп являлась контрольной, а остальные – опытными. Продолжительность откорма животных составила 55 дней по мере достижения убойного возраста 90 суток. Различия между группами заключались в том, что молодняку кроликов контрольной группы скармливали комбикорм с уровнем протеина 19 %. Животные 1 и 2-й опытных групп потребляли комбикорма с низким уровнем протеина, равным 16,5 и 18 %, что было ниже рекомендуемых стандартом требований. Крольчатам 3-й опытной группы скармливали комбикорм с содержанием протеина 20 %. По основным питательным веществам комбикорма соответствовали рекомендуемым нормам [8], но различались содержанием сырого протеина за счет ввода разного количества высокобелковых кормов.

Откорм кроликов проводился на промышленной кроликоферме ангарного типа с поддерживаю-

щими параметрами микроклимата в откормочных групповых клетках по 3-4 головы, оборудованных бункерными кормушками и nippleными поилками (рис. 1). Раздача комбикормов осуществлялась вручную 1–2 раза в сутки по мере потребления, доступ животных к кормам был свободным. Мясную продуктивность кроликов определяли по динамике живой их массы за период откорма путем индивидуального взвешивания (рис. 2), путем расчета среднесуточного и абсолютного прироста живой массы, а также определения показателей убоя в конце откорма. Для расчета конверсии кормов осуществляли учет потребленных комбикормов по периодам роста.

В конце откорма в возрасте 90 дней проводили контрольный убой молодняка. Для этого из каждой группы отбирали по 5 голов самцов и самок с живой массой, соответствующей средней живой массе кроликов в данной группе. Убой проводился в убойном пункте хозяйства (рис. 3). Для определения убойного выхода определяли предубойную массу и массу парных туш и внутренних органов (рис. 4–8).



Рис. 1. Содержание откармливаемого молодняка в групповых клетках
Fig. 1. The content of fattened young animals in group cells



Рис. 2. Индивидуальное взвешивание кроликов
Fig. 2. Individual weighing of rabbits



Рис. 3. Убой и нутровка
Fig. 3. Slaughter and nutting



Рис. 4. Определение предубойной массы
Fig. 4. Determination of the pre-slaughter mass



Рис. 5. Парные туши
Fig. 5. Paired carcasses



Рис. 6. Взвешивание туш
Fig. 6. Weighing of carcasses



Рис. 7. Взвешивание печени
Fig. 7. Weighing of the liver



Рис. 8. Взвешивание легких
Fig. 8. Weighing of the lungs

Результаты (Results)

По сведениям зарубежных ученых, наиболее интенсивный рост у молодняка мясных пород кроликов отмечается после отъема в 4–5 недель до 12-недельного возраста [20]. Для обеспечения высокой интенсивности роста с получением среднесуточных приростов живой массы на уровне 30–40 г и более крольчатам необходимо задавать комбикорма с высокой концентрацией энергии и сырого протеина. Было установлено, что уровень протеина в комбикормах откармливаемого молодняка оказывал существенное влияние на интенсивность роста крольчат. Это влияние явилось заметным уже в начальной стадии откорма крольчат в возрасте 50 суток. При этом живая масса молодняка контрольной группы, которым скармливали комбикорм с уровнем протеина 19 %, оказалась на 5,5; 9,7 и 10,3 % ($P < 0,001$) достоверно выше в сравнении с массой животных во 2-й, 3-й и 1-й опытных группах, где использовался комбикорм с низким (16,5 %), высоким (20 %) и средним (18 %) уровнем содержанием протеина (таблица 1).

Среднесуточный прирост живой массы животных оказался более контрастным между группами и составил в возрасте 50 суток в контроле 39,3 г, что оказалось выше на 14–26,2% в сравнении с другими

группами. Данная закономерность прослеживалась практически в течение всего опыта. Разница по живой массе в пользу крольчат контрольной группы в возрасте 70 суток составила 6,9–15,6%. Однако установленная разница сократилась по мере дальнейшего роста крольчат с 70 до 90 суток. Следовательно, можно предположить, что более эффективно в организме растущих крольчат в возрасте от 35 до 70 суток используются комбикорма с уровнем протеина, равным 19 %. Однако необходимо отметить, что в возрасте от 70 до 90 суток кролики 1 и 2-й опытных групп, где скармливался комбикорм с пониженным уровнем протеина (16,5 и 18 %), увеличили скорость роста и в возрасте 80 суток опередили по среднесуточному приросту животных контрольной группы на 4,2 и 4,4 %. Хотя компенсаторный рост наблюдался и у молодняка 3-й опытной группы в заключительном периоде откорма, тем не менее среднесуточный прирост живой массы оставался ниже значений контроля. Поэтому, возможно, в заключительной стадии в последние 20 дней откорма целесообразно с точки зрения экономии использования высокобелковых кормов переводить молодняк на комбикорма с несколько пониженным его содержанием на уровне 16,5–18 %.

Динамика живой массы крольчат за время откорма

Показатель	Группа			
	Контрольная	Опытная		
		1	2	3
Живая масса, г, при постановке на откорм (35 суток)	926 ± 19	922 ± 21	926 ± 17	924 ± 15
в возрасте 50 суток	1516 ± 36**	1368 ± 42	1433 ± 39	1359 ± 32
в процентах от контроля	100	90,3	94,5	89,7
среднесуточный прирост (35–50), г	39,3	29,8	33,8	29,0
в процентах от контроля	100	75,8	86,0	73,8
в возрасте 60 суток	1940 ± 37**	1678 ± 46	1820 ± 44	1751 ± 40
в процентах от контроля	100	86,5	93,8	90,3
среднесуточный прирост (50–60), г	42,4	31,0	38,7	39,2
в процентах от контроля	100	73,1	91,3	92,4
в возрасте 70 суток	2359 ± 47***	1992 ± 41	2200 ± 51 ^x	2032 ± 35
в процентах от контроля	100	84,4	93,1	86,1
среднесуточный прирост (60–70), г	41,9	31,4	38,0	28,1
в процентах от контроля	100	74,9	90,7	67,1
в возрасте 80 суток	2787 ± 57***	2438 ± 51	2647 ± 58 ^x	2451 ± 44
в процентах от контроля	100	87,4	95,0	87,9
среднесуточный прирост (70–80), г	42,8	44,6	44,7	41,9
в процентах от контроля	100	104,2	104,4	97,9
в возрасте 90 суток	3269 ± 68***	2901 ± 60	3078 ± 69	2873 ± 54
в процентах от контроля	100	88,7	94,2	87,9
среднесуточный прирост (80–90), г	48,2	46,3	43,1	42,2
в процентах от контроля	100	96,0	83,2	87,6
Прирост за время откорма (35–90), г:				
абсолютный	2343	1979	2152	1949
среднесуточный	42,6	35,9	39,1	35,4
в процентах от контроля	100	84,5	91,8	83,2

Примечание. **P < 0,01; ***P < 0,001 – к 1–3-й группе; ^x – P < 0,05 ко 2-й и 3-й группе.

Table 1

Dynamics of live weight of baby rabbits during fattening

Indicators	Group			
	Control	Experienced		
		1	2	3
Live weight, g: when put on fattening (35 days)	926 ± 19	922 ± 21	926 ± 17	924 ± 15
at the age of 50 days	1516 ± 36**	1368 ± 42	1433 ± 39	1359 ± 32
as a percentage of control	100	90.3	94.5	89.7
average daily gain (35–50), g	39.3	29.8	33.8	29.0
as a percentage of control	100	75.8	86.0	73.8
at the age of 60 days	1940 ± 37**	1678 ± 46	1820 ± 44	1751 ± 40
as a percentage of control	100	86.5	93.8	90.3
average daily gain (50–60), g	42.4	31.0	38.7	39.2
as a percentage of control	100	73.1	91.3	92.4
at the age of 70 days	2359 ± 47***	1992 ± 41	2200 ± 51 ^x	2032 ± 35
as a percentage of control	100	84.4	93.1	86.1
average daily gain (60–70), g	41.9	31.4	38.0	28.1
as a percentage of control	100	74.9	90.7	67.1
at the age of 80 days	2787 ± 57***	2438 ± 51	2647 ± 58 ^x	2451 ± 44
as a percentage of control	100	87.4	95.0	87.9
average daily gain (70–80), g	42.8	44.6	44.7	41.9
as a percentage of control	100	104.2	104.4	97.9
at the age of 90 days	3269 ± 68***	2901 ± 60	3078 ± 69	2873 ± 54
as a percentage of control	100	88.7	94.2	87.9
average daily gain (80–90), g	48.2	46.3	43.1	42.2
as a percentage of control	100	96.0	83.2	87.6
Gain during fattening (35–90), g:				
absolute	2343	1979	2152	1949
average daily	42.6	35.9	39.1	35.4
as a percentage of control	100	84.5	91.8	83.2

Note. **P < 0.01; ***P < 0.001 – to the 1st–3rd group; ^x – P < 0.05 to the 2nd and 3rd group.

Независимо от уровня протеина в комбикормах интенсивность роста молодняка в середине и заключительной стадии откорма (60–90 дней) была выше в сравнении с начальным его периодом, что согласуется с данными Е. В. Печенкина с соавторами: было установлено, что независимо от поро-

ды максимальный среднесуточный прирост живой массы отмечался в возрасте 60–90 дней [21]. В целом динамика живой массы животных показала, что потребление комбикорма с уровнем протеина 19 % приводило к более стабильному и пропорционально возрасту, увеличению интенсивности роста

крольчат, вследствие которого абсолютный и среднесуточный прирост живой массы животных в контроле был выше в сравнении с другими группами на 8,2–16,8 %. В результате этого, живая масса кроликов контрольной группы к концу откорма в возрасте 90 суток достигала максимальных значений и составила в среднем 3269 г, что было на 5,8; 11,3 и 12,1 % выше по отношению к данному показателю во 2-й, 1-й и 3-й опытных группах соответственно. Отсутствие положительной динамики по росту животных в 3-й опытной группе с увеличением уровня протеина в комбикормах с 19 до 20 % объясняется возможным снижением переваримости и усвояемости белка в пищеварительном тракте животных при избыточном его поступлении.

Анализ динамики сохранности крольчат за время откорма показал, что одинаково лучшие показатели были установлены у молодняка контрольной и 2-й опытной групп, где сохранность составила 90 % (таблица 2). Как снижение уровня протеина в комбикормах до 16,5 %, так и его увеличение до 20 % отрицательно влияло на сохранность животных, в результате чего данный показатель снижался в 1-й и 3-й опытных группах в сравнении с контролем и 2-й группой на 2,5–5 %. В целом установленная сохранность молодняка во всех группах находилась в пределах существующих показателей сохранности кроликов.

Интенсивность роста откармливаемого молодняка зависит прежде всего от количества и качества потребляемых кормов. При откорме молодняк, как правило, кормят вволю. Уровень протеина оказывал неоднозначное влияние на потребление кормов за время откорма. Низкое содержание протеина в комбикормах животных 1-й опытной группы на уровне 16,5 % в начале откорма в возрасте от 35 до 50 суток

приводило к увеличению потребления комбикорма на 8,3 и 11,1 % в сравнении с контрольной и 3-й опытной группами (таблица 3).

Следовательно, низкий уровень поступления кормового белка в организм молодняка 1-й опытной группы отчасти компенсировался увеличением потребления комбикорма. Высокая концентрация протеина в комбикормах откармливаемого молодняка 3-й опытной группы сопровождалось незначительным снижением потребления комбикорма в начале откорма на 2,8 % в сравнении с контролем. Полученные результаты по динамике потребления кормов являются дополнительным подтверждением того, что потребности кроликов в кормовом белке зависят от возраста животных. Несмотря на разный уровень физического потребления комбикормов, количество потребленного корма на 1 кг живой массы во всех группах в возрасте 50 дней находилось в пределах физиологических значений и составило от 71,8 до 86,2 г. Вследствие более интенсивного роста кроликов контрольной группы данный показатель оказался ниже, чем во 2-й, 3-й и 1-й опытных группах, на 6,9, 8,6 и 20 % соответственно. Согласно существующим нормам кормления, при сухом типе кормления на 1 кг живой массы откармливаемому молодняку кроликов в возрасте 45–60 дней (при живой массе 1,05–1,6 кг) и 61–90 дней (при живой массе 1,6–2,6 кг) необходимо давать в сутки от 54–87 и 46–75 г сухого вещества корма [8]. Учитывая, что содержание сухих веществ в полнорационных комбикормах составляет в среднем 90 %, нормативное значение суточного потребления комбикорма с учетом возраста и массы откармливаемых крольчат на 1 кг живой массы по расчету составит соответственно от 63 до 95 г (45–60 дней) и от 51 до 83 г (61–90 дней) г.

Таблица 2
Динамика сохранности молодняка кроликов за время откорма

Показатель	Группа			
	Контрольная	Опытная		
		1	2	3
Численность поголовья: в начале откорма в возрасте 35 суток	40	40	40	40
в возрасте 60 суток	38	37	37	38
сохранность (35–60 суток), %	95,0	92,5	92,5	95,0
в возрасте 90 суток	36	37	36	35
сохранность (60–90 суток), %	94,7	100	97,3	92,1
Сохранность в конце опыта, %	90,0	92,5	90,0	87,5

Table 2
Dynamics of the safety of young rabbits during fattening

Indicators	Group			
	Control	Experienced		
		1	2	3
Number of livestock: at the beginning of fattening at the age of 35 days	40	40	40	40
at the age of 60 days,	38	37	37	38
safety (35–60 days), %	95.0	92.5	92.5	95.0
at the age of 90 days,	36	37	36	35
safety (60–90 days), %	94.7	100	97.3	92.1
Safety at the end of the experience, %	90.0	92.5	90.0	87.5

Динамика потребления комбикормов и конверсия корма кроликами за период откорма

Показатель	Группа			
	Контрольная	Опытная		
		1	2	3
Потреблено корма на 1 кролика:				
в возрасте 35–50 суток, г	109	118	110	106
в процентах от контроля	100	108,3	100,9	97,2
на 1 кг живой массы, г	71,8	86,2	76,8	78,0
в процентах от контроля	100	120,0	106,9	108,6
в возрасте 51–70 суток, г	150	162	153	145
в процентах от контроля	100	108,0	102,0	96,7
на 1 кг живой массы, г	63,6	81,3	69,3	71,4
в процентах от контроля	100	127,8	108,9	112,2
в возрасте 71–90 суток, г	169	181	171	163
в процентах от контроля	100	107,1	101,2	96,4
на 1 кг живой массы, г	51,7	62,4	55,6	56,7
в процентах от контроля	100	120,7	107,5	109,7
Всего за весь период откорма, кг	8,02	8,63	8,13	7,76
в процентах от контроля	100	107,6	101,4	96,7
потребление в среднем за сутки, г	145,8	156,9	147,8	141,1
коэффициент конверсии корма	3,42	4,36	3,78	3,98

Table 3
Dynamics of feed consumption and feed conversion by rabbits during the fattening period

Indicators	Group			
	Control	Experienced		
		1	2	3
Feed consumed per 1 rabbit:				
at the age of 35–50 days, g	109	118	110	106
as a percentage of control	100	108.3	100.9	97.2
per 1 kg of live weight, g	71.8	86.2	76.8	78.0
as a percentage of control	100	120.0	106.9	108.6
at the age of 51–70 days, g	150	162	153	145
as a percentage of control	100	108.0	102.0	96.7
per 1 kg of live weight, g	63.6	81.3	69.3	71.4
as a percentage of control	100	127.8	108.9	112.2
at the age of 71–90 days, g	169	181	171	163
as a percentage of control	100	107.1	101.2	96.4
at 1 kg of live weight, g	51.7	62.4	55.6	56.7
as a percentage of control	100	120.7	107.5	109.7
Total for the entire fattening period, kg	8.02	8.63	8.13	7.76
as a percentage of control	100	107.6	101.4	96.7
consumption on average per day, g	145.8	156.9	147.8	141.1
feed conversion rate	3.42	4.36	3.78	3.98

По мере роста крольчата потребляли в 1,5 раза больше комбикормов. Всего за весь период откорма животные контрольной группы на одну голову потребили в среднем 8,02 кг комбикорма, что было ниже, чем во 2-й и 1-й опытных группах, на 1,4 и 7,6 % соответственно.

Важным показателем, оказывающим влияние на рентабельность производства мяса кроликов, является коэффициент конверсии корма. Кормление и стратегии питания, направленные на оптимизацию темпов роста и эффективности кормления, являются основными инструментами снижения коэффициента конверсии корма и повышения прибыльности фермерских кролиководческих хозяйств [22; 23]. В результате более интенсивного роста и низких затрат комбикормов при откорме кроликов в контроле коэффициент конверсии корма в данной

группе оказался самым низким, что служит доказательством более высокого их качества с точки зрения протеиновой ценности и обеспеченности белком организма растущих животных. При этом коэффициент конверсии корма в контроле составил 3,42, что было ниже в сравнении со 2-й, 3-й и 1-й опытными группами на 0,36, 0,56 и 0,94 единицы соответственно. В опытах зарубежных ученых было установлено, что при откорме молодняка на комбикормах с содержанием протеина 19 % происходило увеличение среднесуточного прироста живой массы на 6,7 %, снижение затрат кормов на 11,1 % и конверсии корма с 4,38 до 4,26 единицы в сравнении с потреблением комбикормов с уровнем протеина 17 % [24]. В других исследованиях увеличение протеина в комбикормах до 15,9 % и обменной энергии до 10,9 МДж/кг способствовало увели-

чению интенсивности роста молодняка только при откорме молодняка высокопродуктивных мясных пород кроликов [25].

Результаты контрольного убоя кроликов, проведенного в конце откорма, выявили определенные различия в показателях убоя между группами (таблица 4). Так, животные контрольной группы вследствие высокой живой и соответственно предубойной массы имели и более высокую убойную массу на уровне 1685 г, которая была достоверно выше, чем во всех опытных группах, на 7,1–14 % ($P < 0,001$). Масса туш во 2-й опытной группе превосходила данный показатель в 3 и 1-й опытных группах на 5,1–6,9 % ($P < 0,01$). У кроликов контрольной группы убойный выход был выше, чем во 2 и 1-й опытных группах, на 0,5–1,6 %, однако не имел достоверных различий, несмотря на превосходство в предубойной массе в контроле на 10,6–11,3 %.

Питательность кормов оказывает существенное влияние на рост и развитие внутренних органов, морфофизиологическое состояние которых во многом определяется их массой. При исследовании внутренних органов (без пищеварительного тракта)

было установлено, что их масса соответствовала нормативным значениям. Однако при скармливании кроликам комбикормов с высоким уровнем протеина (20 %) отмечалось увеличение массы внутренних органов относительной предубойной массы с 4,58 во 2-й опытной группе до 5,06 % в 3-й опытной группе. Увеличение массы внутренних органов у кроликов 3-й опытной группы происходило за счет увеличения массы печени на 8,4–10,2 % и почек на 8,5–15,1 % относительно предубойной массы. Следовательно, поступление в организм высокого уровня белка приводило к увеличению нагрузки на печень и почки в процессе выведения и утилизации азотистых соединений с продуктами метаболизма.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

При интенсивной технологии откорма кроликов в условиях промышленных ферм более эффективным для скармливания молодняка является полнорационный гранулированный комбикорм с уровнем сырого протеина 19 %, который позволяет повысить среднесуточный прирост живой массы молодняка на 8,2–16,8 % и снизить конверсию корма до 3,42.

Таблица 4
Показатели убоя молодняка кроликов

Показатель	Группа			
	Контрольная	Опытная		
		1	2	3
Количество голов	10	10	10	10
Предубойная масса, г	3229 ± 29***	2866 ± 28	3032 ± 23**	2844 ± 27
Убойная масса, г	1685 ± 23***	1449 ± 20	1567 ± 21**	1479 ± 25
в % от контроля	100	86,0	92,9	87,8
Убойный выход, %	52,2	50,6	51,7	52,0
Масса внутренних органов, (без пищеварительного тракта), г	150 ± 7,8	132 ± 5,9	139 ± 7,2	144 ± 6,6
в % от предубойной массы	4,64	4,61	4,58	5,06
в % от массы туши	8,90	9,11	8,81	9,74
в том числе:	4,64	4,60	4,55	5,06
печень, г	98,8 ± 4,80	89,0 ± 3,97	93,0 ± 4,32	96,3 ± 5,73
сердце, г	8,54 ± 0,81	7,30 ± 0,13	7,93 ± 0,61	8,03 ± 0,42
легкие, г	20,31 ± 1,69	16,91 ± 1,81	18,25 ± 1,52	18,0 ± 1,70
почки, г	22,38 ± 1,52	20,11 ± 1,72	20,06 ± 2,10	21,51 ± 1,6

Примечание. *** $P < 0,001$ ко всем группам; ** $P < 0,01$ к 1-й и 3-й группе.

Table 4
Indicators slaughter of young rabbits

Indicators	Group			
	Control panel	Experienced		
		1	2	3
Number of heads	10	10	10	10
Pre-slaughter weight, g	3229 ± 29***	2866 ± 28	3032 ± 23**	2844 ± 27
Slaughter weight, g	1685 ± 23***	1449 ± 20	1567 ± 21**	1479 ± 25
in % of control	100	86.0	92.9	87.8
Slaughter yield, %	52.2	50.6	51.7	52.0
The mass of internal organs, (without digestive tract), g	150 ± 7.8	132 ± 5.9	139 ± 7.2	144 ± 6.6
in % of the pre-slaughter mass	4.64	4.61	4.58	5.06
in % of the carcass	8.90	9.11	8.81	9.74
weight including:	4.64	4.60	4.55	5.06
liver, g	98.8 ± 4.80	89.0 ± 3.97	93.0 ± 4.32	96.3 ± 5.73
heart, g	8.54 ± 0.81	7.30 ± 0.13	7.93 ± 0.61	8.03 ± 0.42
lungs, g	20.31 ± 1.69	16.91 ± 1.81	18.25 ± 1.52	18.0 ± 1.70
kidneys, g	22.38 ± 1.52	20.11 ± 1.72	20.06 ± 2.10	21.51 ± 1.6

Note. *** $P < 0,001$ for all groups; ** $P < 0,01$ for the 1st and 3rd groups.

Библиографический список

1. Зимняков В. М., Погосян Д. Г. Современное состояние производства и переработки мяса кроликов в России // Сурский вестник. 2021. № 4 (16). С. 90–96. DOI: 10.36461/2619-1202_2021_04_016.
2. Косовский Г. Ю. Итоги международной научно-практической конференции «Кролиководство России: современное состояние, проблемы и перспективы развития» 20 апреля 2023 года // Кролиководство и звероводство. 2023. № 2. С. 3–6.
3. Балакирев Н. А., Тинаева Е. А., Тинаев Н. И., Шумилина Н. Н. Кролиководство. Москва: Колос, 2022. 258 с.
4. Погосян Д. Г., Захаров Д. В., Рыбалко М. Н. Влияние разного уровня протеина в комбикормах на продуктивные показатели сукрольных крольчих // Кролиководство и звероводство. 2023. № 6. С. 39–51. DOI: 10.52178/00234885_2023_6_38.
5. Погосян Д. Г., Захаров Д. В., Беляев И. М. Оптимальный уровень протеина в полнорационных комбикормах лактирующих кроликоматок // Нива Поволжья. 2023. № 4 (68). С. 2003. DOI: 10.36461/NP.2023.68.4.016.
6. ГОСТ 32897-2014. Межгосударственный стандарт. Комбикорма для пушных зверей, кроликов и нутрий. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2020. 12 с.
7. Погосян Д. Г., Захаров Д. В., Варламова Е. Н. Качество полнорационных комбикормов в промышленном кролиководстве // Роль вузовской науки в решении проблем АПК: сборник статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Г. Б. Гальдина. Пенза 2018. Т. 1. С. 225–229.
8. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / Под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисина, В. В. Щеглова. 3 изд., перераб. и доп. Москва, 2003. 456 с.
9. Патент RU 2 748 473 С1. Полнорационный гранулированный универсальный комбикорм для всех половозрастных групп кроликов / Д. В. Зубоченко, П. С. Остапчук, В. С. Паштецкий. Заяв. 2020131105 от 21.09.2020, опубл. 26.05.2021.
10. Озерецковская Е. В., Здюмаева Н. П., Беоглу Е. В. Продуктивные качества самок кроликов при использовании универсального комбикорма в условиях промышленной технологии // Кролиководство и звероводство. 2018. № 5. С. 51–55. DOI: 10.24418/KIPZ.2018.5.0009.
11. Патент RU 2765125 С1. Способ кормления молодняка кроликов [Электронный ресурс] / Г. Ю. Косовский, Е. Г. Квартникова, М. П. Квартников. Патентообладатель ФГБНУ «Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства им. В. А. Афанасьева». Заяв. 2021115754 от 31.05.2021, опубл. 25.01.2022. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2765125C1_20220125 (дата обращения: 11.09.2024).
12. Kvartnikov M. P., Kvartnikova E. G. Influence of nutritional value of complete feed on the chemical composition of rabbit meat // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 848. Article number 12037. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012037.
13. Irlbeck N. A. How to feed the rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) gastrointestinal tract // Journal of Animal Science. 2001. Vol. 79. Pp. 343–346. DOI: 10.2527/jas2001.79E-SupplE343x.
14. Marín García P. J., López-Luján M. C., Ródenas L., Martínez-Paredes E. Plasma urea nitrogen as an indicator of amino acid imbalance in rabbit diet // World Rabbit Science. 2020. Vol. 28. Pp. 63–72. DOI: 10.4995/wrs.2020.12781.
15. Marín García P. J., Ródenas L., Martínez-Paredes E., Cambra-López E., Blas E., Pascual J. J. A moderate protein diet does not cover the requirements of growing rabbits with high growth rate // Animal Feed Science and Technology. 2020. Vol. 264. Article number 114495. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114495.
16. Caraban O. R., Villamide M. J., Garcia J., Nicodemus N., Llorente A., Chamorro S., Menoyo D., Garcia-Rebollar P., Garcia-Ruiz A. I., De Blas J. C. New concepts and objectives for protein-amino acid nutrition in rabbits: a review // World Rabbit Science. 2009. Vol. 17 (1). DOI: 10.4995/wrs.2009.664.
17. Trocino A., Fragkiadakis M., Majolini D., Tazzoli M., Radaelli G.; Xiccato G. Soluble fibre, starch and protein level in diets for growing rabbits: Effects on digestive efficiency and productive traits // Animal Feed Science and Technology. 2013. Vol. 180. Pp. 73–82. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2013.01.007.
18. Marín García P. J., Ródenas L., Martínez-Paredes E., Blas E., Cervera C., Pascual J. J. Are growing diets providing enough protein to high growth rate rabbits? // Proceeding's 11th World Rabbit Congress. Qingdao – China, 2016. Pp. 435–438.
19. Ouhayoun J., Dalmas D. Valorisation comparée d'aliments à niveaux protéiques différents par des lapins sélectionnés sur la vitesse de croissance et par des lapins provenant d'élevages traditionnels. II-Etude de la composition azotée et du métabolisme énergétique des muscles L. dorsi et B.femoris // Annales de Zootechnie. 1983. Vol. 32 (03). Pp. 277–286.

20. Gidenne T., Lebas F., Fortun-Lamothe L. Feeding behaviour of rabbits // In: Nutrition of the rabbit. J. C. De Blas, J. Wiseman (eds.). Chapter 13 (3). CABI, Wallingford, UK, 2020. Pp. 233–252.
21. Печенкин Е. В., Сагиров А. А., Горелик О. В. Рост и развитие кроликов разных пород // Известия ОГАУ. 2013. № 6. С. 67–69.
22. Gidenne T., Garreau H., Drouilhet L., Aubert, C., Maertens L. Improving feed efficiency in rabbit production, a review on nutritional, technico-economical, genetic and environmental // *Animal Feed Science and Technology*. 2017. Vol. 225. Pp. 109–122. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.01.016.
23. Ibragimov B. B., Dzhambilov B. Kh. Feed Conversion Depending on the Age and Sex of Rabbits // *International Journal of Biological Engineering and Agriculture*. 2023. Vol. 2, No. 9. Pp. 34–36. DOI: 10.51699/ijbea.v2i9.2545.
24. El-Sawy M. A., Emam A. M., Tammam A. M. Productive and economic efficiency of growing rabbits fed two levels of protein [Электронный ресурс] // *Egyptian Journal of Rabbit Science*. 2023. Vol. 33 (2). Pp. 105–114. URL: https://www.researchgate.net/publication/372230758_PRODUCTIVE_AND_ECONOMIC_EFFICIENCY_OF_GROWING_RABBITS_FED_TWO_LEVELS_OF_PROTEIN (дата обращения: 11.09.2024).
25. Birolo M., Xiccato G., Bordignon F., Dabbou S., Zuffellato A., Trocino A. Growth Performance, Digestive Efficiency, and Meat Quality of Two Commercial Crossbred Rabbits Fed Diets Differing in Energy and Protein Levels // *Animals*. 2022. Vol. 12. Article number 2427. DOI: 10.3390/ani12182427.

Об авторах:

Давид Гарегинович Погосян, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой переработки сельскохозяйственной продукции, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0000-0003-2481-6656, AuthorID 504113. E-mail: pogosyan.d.g@mail.ru

Дмитрий Владимирович Захаров, аспирант кафедры переработки сельскохозяйственной продукции, Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия; ORCID 0009-0005-7262-9785, AuthorID 1242207

References

- Zimnyakov V. M., Poghosyan D. G. The current state of rabbit meat production and processing in Russia. *Surskiy Vestnik*. 2021; 4 (16): 90–96. DOI: 10.36461/2619-1202_2021_04_016. (In Russ.)
- Kosovskiy G. Yu. Results of the international scientific and practical conference “Rabbit breeding in Russia: the current state, problems and prospects of development” on April 20, 2023. *Rabbit Breeding and Animal Husbandry*. 2023; 2: 3–6. (In Russ.)
- Balakirev N. A., Tinaeva E. A., Tinaev N. I., Shumilina N. N. *Rabbit Breeding*. Moscow: Kolos, 2022. 258 p. (In Russ.)
- Pogosyan D. G., Zakharov D. V., Rybalko M. N. The effect of different protein levels in combined feeds on the productive indicators of pregnant rabbits. *Rabbit Breeding and Animal Husbandry*. 2023; 6: 39–51. DOI: 10.52178/00234885_2023_6_38. (In Russ.)
- Pogosyan D. G., Zakharov D. V., Belyaev I. M. Optimal protein level in full-fledged compound feeds of lactating rabbits. *Niva of the Volga Region*. 2023; 4 (68): 2003. DOI: 10.36461/NP.2023.68.4.016. (In Russ.)
- GOST 32897-2014. *The interstate standard. Compound feed for fur-bearing animals, rabbits and nutria. General technical conditions*. Moscow: Standartinform, 2020. 12 p. (In Russ.)
- Pogosyan D. G., Zakharov D. V., Varlamova E. N. The quality of complete compound feeds in industrial rabbit breeding. *The role of university science in solving problems of agriculture: collection of articles of the All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of Professor G. B. Galdin*. Penza, 2018. Vol. 1. Pp. 225–229. (In Russ.)
- Norms and rations for feeding farm animals: a reference manual*. Edited by A. P. Kalashnikov, V. I. Fisinin, V. V. Shcheglov. 3rd ed., revised and enlarged. Moscow, 2003; 455. (In Russ.)
- Patent RU 2,748,473 C1. *Full-fledged granular universal compound feed for all age and gender groups of rabbits: applicant of the Scientific Research Institute of Agriculture of the Crimea* / Zubochenko D. V., Ostapchuk P. S., Pashetskii V. S. Application 2020131105 from 21.09.2020, published 26.05.2021. (In Russ.)
- Ozeretskorskaya E. V., Zdyumaeva N. P., Beoglu E. V. Productive qualities of female rabbits when using universal compound feed in conditions of industrial technology. *Rabbit Breeding and Animal Husbandry*. 2018; 5: 51–55. DOI: 10.24418/KIPZ.2018.5.0009. (In Russ.)
- Patent RU 2765125 C1. *Method of feeding young rabbits* / Kosovskiy G. Yu., Kvartnikova E. G., Kvartnikov M. P. Patent holder is the Federal State Budgetary Scientific Research Institute of Fur Farming and Rabbit Breeding named after V. A. Afanasyev. Application 2021115754 from 31.05.2021, published 25.01.2022 [Internet] [cited 2024 Sep 11]. Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2765125C1_20220125. (In Russ.)

12. Kvartnikov M. P., Kvartnikova E. G. Influence of nutritional value of complete feed on the chemical composition of rabbit meat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 848: 12037. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012037.
13. Irlbeck N. A. How to feed the rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) gastrointestinal tract. *Journal of Animal Science*. 2001; 79: 343–346. DOI: 10.2527/jas2001.79E-SupplE343x.
14. Marín García P. J., López-Luján M. C., Ródenas L., Martínez-Paredes E. Plasma urea nitrogen as an indicator of amino acid imbalance in rabbit diet. *World Rabbit Science*. 2020; 28: 63–72. DOI: 10.4995/wrs.2020.12781.
15. Marín García P. J., Ródenas L., Martínez-Paredes E., Cambra-López E., Blas, E., Pascual J. J. A moderate protein diet does not cover the requirements of growing rabbits with high growth rate. *Animal Feed Science and Technology*. 2020; 264: 114495.
16. Caraban O. R., Villamide M. J., Garcia J., Nicodemus N., Llorente A., Chamorro S., Menoyo D., Garcia-Rebollar P., Garcia-Ruiz A. I., De Blas J. C. New concepts and objectives for protein-amino acid nutrition in rabbits: a review. *World Rabbit Science*. 2009; 17. DOI:10.4995/wrs.2009.664.
17. Trocino A., Fragkiadakis M., Majolini D., Tazzoli M., Radaelli G.; Xiccato G. Soluble fibre, starch and protein level in diets for growing rabbits: Effects on digestive efficiency and productive traits. *Animal Feed Science and Technology*. 2013; 180: 73–82.
18. Marín García P. J., Ródenas L., Martínez-Paredes E., Blas E., Cervera C., Pascual J. J. Are growing diets providing enough protein to high growth rate rabbits? *Proceeding's 11th World Rabbit Congress*. Qingdao – China, 2016. Pp. 435–438.
19. Ouhayoun J., Dalmás D. Valorisation comparée d'aliments à niveaux protéiques différents par des lapins sélectionnés sur la vitesse de croissance et par des lapins provenant d'élevages traditionnels. II-Etude de la composition azotée et du métabolisme énergétique des muscles L. dorsi et B. femoris. *Annales de Zootechnie*. 1983; 32 (03): 277–286.
20. Gidenne T., Lebas F., Fortun-Lamothe L. Feeding behaviour of rabbits In: *Nutrition of the rabbit*. J. C. De Blas, J. Wiseman (eds.). Chapter 13 (3). CABI, Wallingford, UK, 2020. Pp. 233–252.
21. Pechenkin E. V., Sagirov A. A., Gorelik O. V. Growth and development of rabbits of different breeds. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2013; 6: 67–69. (In Russ.).
22. Gidenne T., Garreau H., Drouilhet L., Aubert, C., Maertens L. Improving feed efficiency in rabbit production, a review on nutritional, technico-economical, genetic and environmental. *Animal Feed Science and Technology*. 2017; 225: 109–122. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2017.01.016.
23. Ibragimov B. B., Dzhambilov B. Kh. Feed conversion depending on the age and sex of rabbits. *International Journal of Biological Engineering and Agriculture*. 2023; 2 (9): 34–36. DOI: 10.51699/ijbea.v2i9.2545.
24. El-Sawy M. A., Emam A. M., Tammam A. M. Productive and economic efficiency of growing rabbits fed two levels of protein. *Egyptian Journal of Rabbit Science* [Internet] 2023 [cited 2024 Sep 11]; 33 (2): 105–114 Available from: https://www.researchgate.net/publication/372230758_PRODUCTIVE_AND_ECONOMIC_EFFICIENCY_OF_GROWING_RABBITS_FED_TWO_LEVELS_OF_PROTEIN.
25. Birolo M., Xiccato G., Bordignon F., Dabbou S., Zuffellato A., Trocino A. Growth performance, digestive efficiency, and meat quality of two commercial crossbred rabbits fed diets differing in energy and protein levels. *Animals*. 2022; 12: 2427. DOI: 10.3390/ani12182427.

Authors' information:

David G. Pogosyan, doctor of biological sciences, professor, head of the department of agricultural processing, Penza State Pedagogical University, Penza, Russia; ORCID 0000-0003-2481-6656, AuthorID 504113.

E-mail: pogosyan.d.g@mail.ru

Dmitriy V. Zakharov, postgraduate of the department of agricultural products processing, Penza State Agrarian University, Penza, Russia; ORCID 0009-0005-7262-9785, AuthorID 1242207

Развитие ИТ-инфраструктуры предприятия агропромышленного сектора: проблемы и решения

А. А. Белолобова¹✉, В. В. Есин², С. Л. Бабаринов³

¹ Омский государственный технический университет, Омск, Россия

² ООО «Русагро Тех», Москва, Россия

³ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

✉ E-mail: belolobova@gmail.com

Аннотация. Целью исследования является рассмотрение проблем, возникающих при управлении развитой ИТ-инфраструктурой крупного сельскохозяйственного предприятия и предложение обоснованного пути решения. **Методология исследования** основана на анализе научных работ по проблемам управления ИТ-инфраструктурой крупных агропромышленных предприятий. Работа выполнена с использованием методов теоретического и эмпирического исследования, включая формализацию, сравнение, анализ, обобщение и системный подход. Исследование выполнено на основе данных об ИТ-инфраструктуре ГК «Русагро» и включает анализ статистических данных, технической документации и отчетов для оценки эффективности предлагаемого решения с использованием количественных методов анализа. **Научная новизна.** В статье предложен комплексный подход к мониторингу ИТ-инфраструктуры и информационных систем – авторская методика расчета эффективности внедрения системы мониторинга состояния ИТ-инфраструктуры. **Практическая значимость** предложенных решений заключается в снижении рисков финансовых издержек в случае простоя производственных процессов с использованием цифровых информационных систем, аграрного предприятия. **Результаты.** Внедрение единой системы мониторинга, уже реализуемой в ГК «Русагро», показывает положительную динамику по сокращению инцидентов и обеспечивает визуализацию данных о состоянии ресурсов. Хотя внедрение системы сопровождается сложностями, описанными в работе, оно представляет значительные преимущества, включая повышение эффективности решения инцидентов, предотвращение снижения производительности ИТ-инфраструктуры, что ведет к сокращению времени на устранения инцидентов и повышению общей надежности используемых информационных систем.

Ключевые слова: мониторинг, ИТ-инфраструктура, цифровизация сельского хозяйства, эффективность внедрения системы мониторинга, система мониторинга, Zabbix

Для цитирования: Белолобова А. А., Есин В. В., Бабаринов С. Л. Развитие ИТ-инфраструктуры предприятия агропромышленного сектора: проблемы и решения // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 290–302. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-290-302>.

Дата поступления статьи: 25.04.2024, **дата рецензирования:** 10.01.2025, **дата принятия:** 23.01.2025.

Development of the IT infrastructure of the agro-industrial sector: problems and solutions

A. A. Belolobova¹✉, V. V. Esin², S. L. Babarinov³

¹ Omsk State Technical University, Omsk, Russia

² Rusagro Tech LLC, Moscow, Russia

³ Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

✉ E-mail: belolobova@gmail.com

Abstract. The purpose of the study is to consider the problems that arise when managing the advanced IT infrastructure of a large agricultural enterprise and propose an informed solution. The research methodology is based on the analysis of scientific papers on the problems of managing the IT infrastructure of large agro-industrial enterprises. The work was carried out using the methods of theoretical and empirical research, including formalization, comparison, analysis, generalization and a systematic approach. The study is based on data on the IT infrastructure of Rusagro Group and includes an analysis of statistical data, technical documentation and reports to assess the effectiveness of the proposed solution using quantitative analysis methods. **Scientific novelty.** The article offers a comprehensive approach to monitoring IT infrastructure and information systems – the author's methodology for calculating the effectiveness of implementing an IT infrastructure monitoring system. **The practical significance** of the proposed solutions lies in reducing the risks of financial costs in the event of downtime of production processes using digital information systems, agricultural enterprises. **Results.** The introduction of a unified monitoring system, which is already being implemented in Rusagro Group, shows positive dynamics in reducing incidents and provides visualization of data on the state of resources. Although the implementation of the system is accompanied by the difficulties described in the work, it presents significant advantages, including improving the efficiency of incident resolution, preventing a decrease in the performance of the IT infrastructure, which leads to a reduction in incident response time and an increase in the overall reliability of the information systems used.

Keywords: monitoring, IT infrastructure, digitalization of agriculture, effectiveness of monitoring system implementation, monitoring system, Zabbix

For citation: Belolobova A. A., Esin V. V., Babarinov S. L. Development of the IT infrastructure of the agro-industrial sector: problems and solutions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 290–302. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-290-302>. (In Russ.)

Date of paper submission: 25.04.2024, **date of review:** 10.01.2025, **date of acceptance:** 23.01.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

В рамках реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (указ Президента РФ № 642 от 01.12.2016) и согласно Национальным целям развития Российской Федерации на период до 2030 года (Указ Президента РФ № 474 от 21.07.2020) государственная аграрная политика в настоящее время направлена на повышение конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции и достижение следующих основных целей: обеспечение продовольственной независимости, высокого качества продуктов питания, формирование эффективного рынка продовольствия и поддержка стабильности цен на сельскохозяйственную продукцию [1]. Для реализации означенной стратегии активизировались процессы цифровизация в аграрной отрасли. Проникновение информационных технологий в аграрный сектор становится все более ощутимым, охватывая весь цикл производства – от подготовки почвы, внесения удобрений, посева, внесения гербицидов, контроля созревания и

до непосредственно уборки и переработки урожая. В данный цикл включены не только коммуникации между элементами информационных систем и их участниками, системы управления производственными процессами, но и системы по осуществлению процессов государственного контроля («Честный знак») в сфере сельского хозяйства [2].

В научной литературе [3–5] была подробно рассмотрена эволюция аграрных предприятий на пути к цифровой трансформации. Были рассмотрены этапы, которые они проходят, и выявлены признаки, характеризующие каждый из этапов развития. Также был описан процесс цифровой трансформации в аграрном секторе и создан алгоритм выбора оптимальной ИТ-инфраструктуры для сельскохозяйственных организаций

В некоторых публикациях [6–9] активно предлагаются к внедрению различные цифровые платформы, направленные на расширение доступа сельхозтоваропроизводителей к информации о рынках и ценах и улучшение взаимодействия органов власти

с различными хозяйствующими субъектами, поднимается вопрос о необходимости создания цифровой информационной платформы для агропромышленного комплекса и о проблемах отрасли, а также рассматриваются отечественные примеры цифровых экосистем в сельском хозяйстве

В связи с повсеместной цифровизацией обеспечение стабильной работы организации становится все более сложной задачей, поскольку требует поддержания функционирования множества систем и бизнес-процессов.

Одной из важнейших систем предприятия является ИТ-инфраструктура, включающая в себя серверную, сетевую инфраструктуру организации, а также системы виртуализации [10], которые позволяют осуществлять предоставление информационных, вычислительных и телекоммуникационных ресурсов [11].

Актуальность работы заключается в том, что ней рассматриваются подходы к обеспечению высокой надежности ИТ-инфраструктуры предприятия, что позволяет избежать простоев производственных процессов и создает благоприятные условия для достижения целей, поставленных государством перед отраслью. Также это позволяет сократить издержки, связанные с упущенной выгодой.

Целью исследования является рассмотрение проблем, возникающих при управлении развитой ИТ-инфраструктурой крупного сельскохозяйственного предприятия, и предложение рекомендаций по решению возникающих проблем.

Проблемы, возникающие на крупном, развитом с точки зрения цифровизации аграрном предприятии, рассмотрим на примере ИТ-инфраструктуры ГК «Русагро». Согласно данным отчетности компании «Русагро» за 2023 год, она является второй по доле в производстве сахара в России, третьей по своей доле в производстве товарной свинины в России, занимает лидирующие позиции в масложировом сегменте, является четвертым по значимости землевладельцем в России [12].

В «Русагро» выделяются 4 главных бизнес-направления: сахарное, сельскохозяйственное, масложировое и мясное. Компания сосредоточена на применении современных ИТ в таких отраслях, как производство сахара, свиноводство, растениеводство, производство масел и жиров, и решает различные цифровые задачи бизнеса: от логистических до управления цифровыми свинофермами [13].

Русагро является компанией с широкой географией присутствия: заводы и другие активы располагаются в разных регионах и относятся к разным бизнес-сегментам. В целях внедрения систем автоматизации и разработки инновационных решений по оптимизации производственных процессов в каждом бизнес-направлении «Русагро» утверждена стратегия цифровой трансформации, частью кото-

рой является повышение производительности благодаря снижению человеческого фактора и улучшению качества принимаемых решений.

ИТИТ-инфраструктура «Русагро» соответствует критериям развитого уровня с точки зрения оценки ИТ-инфраструктуры и цифровизации аграрного предприятия, что подтверждается следующими ключевыми характеристиками: интеграция передовых технологий, внедрение автоматизированных систем управления сельскохозяйственными операциями, наличие интегрированной системы, объединяющей данные из различных, способность инфраструктуры адаптироваться к изменениям бизнес-процессов и расширению масштабов деятельности, использование современных решений для защиты данных и обеспечения устойчивости ИТ-систем к киберугрозам, а также применение аналитических инструментов для обработки больших объемов информации, что позволяет оптимизировать производственные процессы и повышать рентабельность.

ИТ-инфраструктура представляет собой крупную интегрированную, геораспределенную систему, объединяющую в себе программные, аппаратные, коммуникационные и организационно-технологические средства, обеспечивающие функционирование предприятия [14]. ИТ-инфраструктура «Русагро» включает в себя десятки серверных стоек, сотни физических серверов и систем хранения данных, тысячи единиц сетевого оборудования.

Система мониторинга ИТ-инфраструктуры представляет собой сочетание программно-аппаратных средств, которые позволяют автоматически отслеживать работу сети, обнаруживать и предотвращать сбои и проблемы.

Все это порождает новую проблему: сложность управления ИТ-инфраструктурой крупного предприятия, работающего по разным бизнес-направлениям. Тысячам сотрудников компании необходимы различные цифровые сервисы, базирующиеся на ИТ-инфраструктуре, бесперебойную работу которой необходимо постоянно поддерживать и отслеживать во избежание приостановки функционирования работы предприятия и его частей.

Более того, помимо физического оборудования, необходимо отслеживать и виртуальные сущности, такие как кластеры гипервизоров, виртуальные машины, операционные системы внутри виртуальных машин, отдельные приложения внутри операционных систем, совокупность которых и предоставляет пользователям цифровые сервисы – от сервисов электронной почты до серверов.

Требуется многоуровневый мониторинг состояния ИТ-инфраструктуры – от состояния сетевых подключений и серверов до статуса доступности докер-контейнеров и отдельных публикаций. Это тысячи хостов в системе мониторинга и миллионы всевозможных метрик. Выход из строя любой из

составляющих может привести к простоям цифрового сервиса и в конечном счете к прямым убыткам компании. Для решения образовавшейся проблемы необходимо улучшение систем мониторинга.

Методология и методы исследования (Methods)

Методология исследования основана на анализе научных работ, находящихся в открытом доступе, посвященных вопросам совершенствования ИТ-инфраструктуры, проблемам управления ИТ-инфраструктурой крупных агропромышленных предприятий. Для решения поставленных задач использовались методы теоретического познания и эмпирического исследования, такие как формализация, сравнение, описание, а также методы анализа, обобщения и структуризации, включая системный подход. При проведении исследования использовались методы социально-экономического анализа, расчетно-аналитический метод, сравнительный анализ и системный подход. Ключевыми источниками данных для исследования служили результаты научных исследований российских и зарубежных ученых. Предложенные вычисления базируются на основании данных Русагро.

Методы исследования включали в себя анализ статистических данных, анализ технической документации и отчетов. Количественные методы использовались для анализа показателей ИТ-инфраструктуры предприятия и вычисления ключевых показателей эффективности.

Результаты (Results)

Решить сложившуюся проблему можно, создав единый центр мониторинга состояния устройств локальной сети. Создание единого центра мониторинга обусловлено необходимостью отслеживания целевых показателей ИТ-инфраструктуры для наглядного представления сведений о ее состоянии. Наглядность может быть реализована посредством визуализации агрегированных данных отдельно взятых удаленных подразделений организации [10].

В данном случае мониторинг сыграет важную роль в обеспечении бесперебойной работы ИТ сервисов, что даст ИТ-специалистам компании время для принятия решений о своевременной замене оборудования и время на проведение предупредительных мероприятий еще до возникновения серьезных сбоев.

Изначально в компании «Русагро» в каждом бизнес-направлении (сахарный бизнес, сельскохозяйственный бизнес, масложировой бизнес, мясной бизнес) развивалась собственная (по направлениям) система мониторинга, что приводило к децентрализации мониторинга, дублированию информации и функционала, повышению трудоемкости отслеживания состояний ИТ-инфраструктуры, отсутствию единой системы реагирования на происшествия, что усугублялось в условиях геораспределенности компании, находящейся в множестве часовых по-

ясов. В существовавшей ранее методологии мониторинга «Русагро» были недостатки, поскольку система представлена несколькими разрозненными системами мониторинга отдельных сегментов ИТ-инфраструктуры и сервисов, реализованных, в свою очередь, на разных платформах, таких как Zabbix, PRTG, SolarWinds, что приводило к несогласованности данных, получаемых от систем мониторинга, и затрудняло централизованный контроль.

Кроме того, используемые на текущий момент версии Zabbix неактуальны, что может ограничивать доступ к новым функциональным возможностям. Ответственные за оборудование лица не всегда получают точную информацию из-за фрагментированности и неполноты данных от различных систем. ИТ-отделы не всегда заблаговременно получают уведомления о событиях и инцидентах мониторинга, что может приводить к задержкам в реагировании и проблемам в управлении.

Все это систематически приводит к простоям оборудования, низкой производительности информационных систем и трудоемкости обработки информации, загруженности ИТ-специалистов компании, увеличенном времени реакции и непрозрачности процедур реагирования на инциденты.

Кроме того, в условиях санкций становится невозможным дальнейшее применение внедренных ранее систем мониторинга PRTG и SolarWinds.

Разработка и внедрение единой системы мониторинга состояния сетевой, серверной инфраструктуры, а также систем виртуализации для ГК «Русагро» представляет собой комплексную задачу, решение которой ориентировано на обеспечение высокой эффективности ИТ-инфраструктуры предприятия и на снижение издержек от простоев и сбоев ИТ-инфраструктуры.

Рассмотрим существующие программные продукты, обеспечивающие мониторинг ИТ-инфраструктуры. Наиболее распространенными программными продуктами для мониторинга являются Cacti, Zabbix, Observium. В работе М. И. Лизунова, Е. Е. Истратовой [16] проведен анализ предложенных систем, по результатам которого Zabbix стал более предпочтительным решением для мониторинга сетевого трафика.

Также среди бесплатных альтернатив выделяются Prometheus и Nagios, однако они обладают определенными недостатками. Prometheus, например, ограничен по времени хранения данных и требует сложной настройки, что потребует дополнительных затрат на ИТ-отдел и поиск новых специалистов, работающих с данной системой. Nagios сложен в настройке и имеет значительное количество платных модулей.

При выборе системы мониторинга одним из основных критериев было то, что Zabbix является бесплатным продуктом (OpenSource под лицензией

GPL), а также уже использовался в компании, поэтому в штате компании есть сотрудники с достаточной экспертизой для внедрения этого продукта.

В результате рассмотрения альтернатив, для реализации единой системы мониторинга в Русагро была выбрана система мониторинга Zabbix, разработанная ZABBIX SIA (г. Рига, Латвия), которая представляет собой мощное Open Source решение для распределенного мониторинга ИТ-инфраструктур любого уровня сложности и масштаба, распространяемое в рамках свободной лицензии GNU AGPL. Кроме того, на момент начала работы данное ПО уже использовалось компанией, а в штате имелись специалисты, работающие с системой, также часть устройств уже отслеживалась в системе мониторинга Zabbix. Важным преимуществом стало то, что система обладает возможностью масштабирования и зарекомендовала себя как эффективно работающая на крупном предприятии, имеющем широкую географию присутствия.

Преимущество от развития данной системы – оперативное реагирование на неполадки сети и снижение времени простоя, а также мониторинг вспомогательного оборудования и разработка системы оповещения персонала о нештатных ситуациях [18]. В результате доработки данной системы

мы можем представить всю ИТ-инфраструктуру группы компаний «Русагро» в виде агрегированных метрик разной детализации на информативных дашбордах сервиса Grafana, работающего в связке Zabbix, а ответственные специалисты и руководители будут получать точные, актуальные уведомления о событиях, происходящих в ИТ-инфраструктуре.

В процессе совершенствования системы мониторинга и управления ИТ-инфраструктурой существующая реализация из 1 виртуального Zabbix-сервера разовьется до структуры, состоящей из 11 интегрированных виртуальных серверов, расположенных в разных бизнес-направлениях и разных локациях, для чего потребуются дополнительные вычислительные мощности. Схема решения представлена на рис. 1.

Ключевым показателем эффективности внедрения системы мониторинга является снижение времени реагирования на возникающие инциденты, минимизации инцидентов, попадающих под ошибки второго рода, где нулевой гипотезой является ошибка работы ИТ-инфраструктуры, вызывающая простой, а также снижение времени, затрачиваемого на расследование и устранение возникших инцидентов.

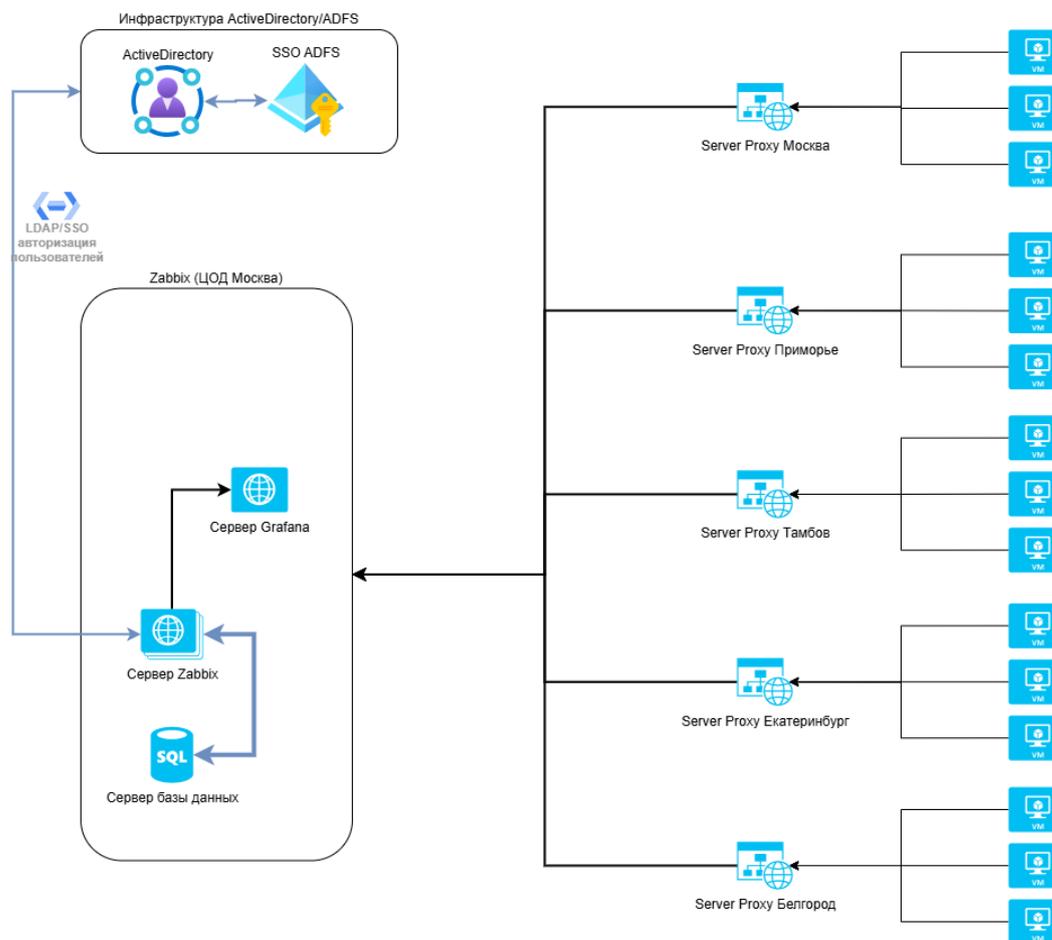


Рис. 1. Схема решения комплексной системы мониторинга

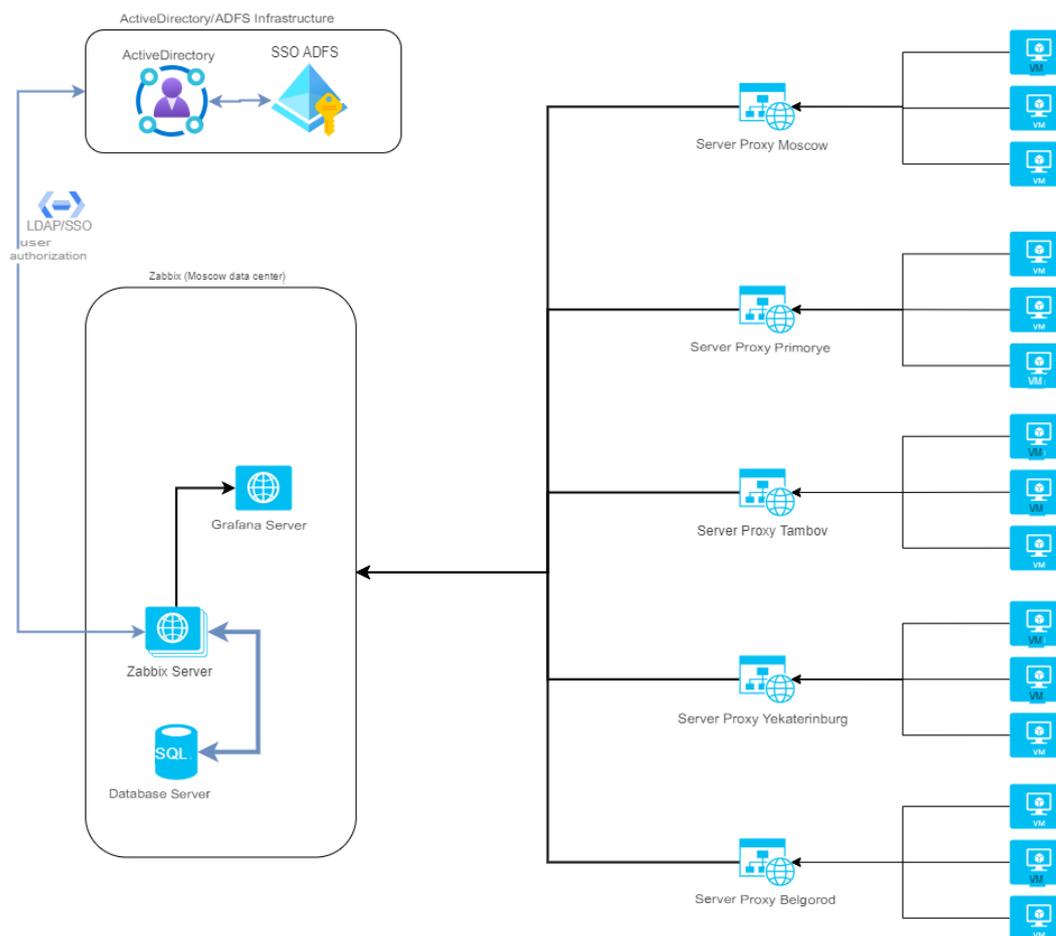


Fig. 1. The scheme of the integrated monitoring system solution

Обычно экономический эффект от внедрения ИТ-решений рассчитывается с использованием следующих методик:

- 1. Методика расчета ROI** учитывает затраты на внедрение ИТ-решений и оценивает доходы, которые они принесут в будущем.
- 2. Прогнозирование прибыли** предполагает прогнозирование будущих доходов и сравнение их с затратами на внедрение ИТ-решений.
- 3. Анализ ТСО** помогает оценить общие затраты на проект на всем его жизненном цикле.
- 4. Анализ NPV** позволяет определить, будет ли проект приносить прибыль в будущем, и оценить его стоимость в настоящее время [19].

Внедрение системы мониторинга включает в себя ряд специфических характеристик, которые не учитываются при расчётах экономического эффекта при внедрении иных информационных систем. К таким характеристикам относится вероятность отказа системы. Для подобного класса информационных систем снижение вероятности подобных инцидентов, а также ускорение процесса восстановления штатной работоспособности систем организации является ключевой задачей [10].

Сравним классические методы расчета экономической эффективности их применимость для

проекта по внедрению системы мониторинга ИТ-инфраструктуры в аграрной компании.

Чистый приведенный доход (NPV) – метод расчета, который оценивает чистую сумму всех денежных потоков, связанных с проектом, с учетом дисконтирования. Его преимущество заключается в том, что он учитывает временную стоимость денег, однако прогнозирование доходов и затрат может быть сложным и не всегда точным, а расчет с помощью приведенных формул вручную является трудоемким [21]. Этот метод не подходит для рассматриваемого проекта, так как он не рассчитан на учет косвенных выгод, таких как снижение рисков и повышение устойчивости системы.

Окупаемость (Payback Period) – показатель, характеризующий минимальный период времени, в течение которого вернутся вложенные в проект финансовые средства [22]. Он прост и понятен, но имеет значительный недостаток: не подходит для учета долгосрочных выгод проекта. В данном случае проект ориентирован на долгосрочные выгоды, такие как стабильность работы ИТ-инфраструктуры, что делает метод неподходящим.

Внутренняя норма доходности (IRR) – метод, позволяющий рассчитать процентную ставку, при которой чистый приведенный доход проекта равен

нулю, т. е. процентная ставка, при которой чистый дисконтируемый доход равен нулю [23]. Этот подход также учитывает временную стоимость денег, но его расчет и интерпретация сложны, особенно если проект не приносит прямых доходов. В данном проекте выгоды носят косвенный характер, что затрудняет использование IRR.

Возврат на инвестиции (ROI) – метод, который оценивает отношение чистой выгоды к первоначальным инвестициям. Данный показатель может использоваться для оценки величины возврата инвестиций по факту завершения инвестиционного проекта или его частей [24]. Хотя метод удобен для быстрого анализа, он не оценивает долгосрочные выгоды, такие как предотвращение аварий и повышение производительности, что делает его недостаточным для оценки эффективности системы мониторинга.

Общие затраты на владение (TCO) – метод, который учитывает все затраты на владение ИТ-инфраструктурой, включая эксплуатационные расходы, дает исчерпывающую оценку затрат на реализацию ИТ-проекта, способствует выявлению текущих проблем [24]. Хотя этот подход хорошо отображает затраты, он не оценивает выгоды, такие как повышение стабильности и снижение рисков.

Можно сделать вывод о том, что классические методы, такие как NPV, ROI и окупаемость, не подходят для оценки внедрения системы мониторинга в ИТ-инфраструктуре. Они не способны учесть долгосрочные выгоды, такие как снижение операционных рисков, повышение стабильности работы и предотвращение простоев, что важно для эффективности подобных проектов, они в основном рассчитаны на анализ денежных потоков и прямых выгод. Экономическая эффективность применения систем мониторинга, так же как и в случае с другими информационными системами, характеризуется соотношением полученной экономии стоимости ресурсов, используемых при эксплуатации объектов инфраструктуры и затрат на создание и эксплуатацию системы на определенном интервале времени [25]. Однако при оценке данных параметров сложность представляет оценка полученной экономии.

В случае с внедрением системы мониторинга большая часть выгод носит косвенный характер: сокращение простоев, предотвращение рисков, повышение устойчивости ИТ-инфраструктуры. Это делает такие методы, как NPV и IRR, менее пригодными. В отличие от классических проектов, где окупаемость может быть рассчитана в конкретные сроки, выгоды от мониторинга ИТ-инфраструктуры проявляются в долгосрочной перспективе через снижение потерь от простоев и улучшение операционной стабильности. Кроме того, среди публикаций, посвященных вопросам внедрения информационных систем, не встречается свежих статей,

описывающих специфику расчета экономической эффективности от внедрения систем мониторинга как специализированного программного обеспечения, а ведь при расчете экономической эффективности от внедрения системы мониторинга следует учитывать основные специфические показатели внедрения системы, которые включают в себя сокращение времени реакции на инциденты и диагностики проблем, количество инцидентов, сокращение общего количества инцидентов. Данные параметры учитывают не только прямую экономию, но и снижение операционных рисков, улучшение производительности и стабильности работы компании.

Таким образом, для расчета экономической эффективности проекта по внедрению системы мониторинга необходимо:

- рассчитать затраты на реализацию предложений (размер необходимого дискового пространства и затраты на оборудование, хранилища данных и внедрение);
- обозначить основные критерии окупаемости инвестиций в систему мониторинга;
- подобрать методику для оценки общей экономии от внедрения системы мониторинга;
- рассчитать общую стоимость внедрения и эксплуатации системы.

Для дальнейшего расчета стоимости внедрения предлагаемой системы рассчитаем дисковое пространство для реализации предложенного проекта, поскольку это повлечёт за собой значительную часть затрат на внедрение.

Размер базы данных будет постепенно увеличиваться. На основании приведенных системой формул [20] можно произвести расчеты предполагаемого размера базы данных в разрезе 1 года, они приведены в таблице 1.

Рост количества элементов для мониторинга с 98 438 до 1 000 000 и увеличение количества событий в секунду с 1 до 2 приведет к тому, что необходимое пространство вырастет до 954 Гб (при схожих исходных параметрах хранения данных в системе мониторинга Zabbix (эти параметры определяют временные рамки для хранения различных типов данных, таких как история, динамика изменений и события в системе мониторинга Zabbix)).

Для запуска новой системы мониторинга необходимо подготовить инфраструктуру для хранения новых данных в базах, для этого нужно ввести в эксплуатацию дополнительные серверы, т. к. они позволят масштабировать систему, обеспечивая поддержку большего числа узлов мониторинга и параметров, и равномерно распределить нагрузку, обеспечивая эффективное функционирование системы мониторинга.

Рассчитаем затраты на реализацию предложений. Расчёты представлены в таблице 2.

Расчеты увеличения объема базы данных для ГК «Русагро»

Параметр	Формула для расчета занимаемого места (в байтах)	Вычисление (текущие) (GB)	Планируемое (GB)
Конфигурация Zabbix	Фиксированный размер. Обычно 10 МБ или меньше		
История	Дней * (элементов данных / частота обновления) * 24 * 3600 * количество байт	19,80234683	201,1656761
Динамика изменений	Дней * (элементов данных / 3600) * 24 * 3600 * количество байт	72,27856591	734,2547178
События	Дней * событий * 24 * 3600 * количество байт	9,692162275	19,38432455
	История (дней)	30	30
	Динамика изменений (дней)	365	365
	Хранение событий (шт.)	365	365
	Частота обновлений (мин.)	1 080	1 080
	События в секунду (шт.)	1	2
	Элементы данных (шт.)	98 438	1 000 000
	ИТОГО:	101,773075	954,8047185
	Вместе с логами mysql (Гб)	348,7424037	3 271,797502
	Размер бэкапа 30 д (Гб)	595,7117324	5 588,790286

Table 1
Calculations of increasing the volume of the database for "Rusagro" Group

Parameter	The formula for calculating the occupied space (in bytes)	Calculation (current) (GB)	Planned (GB)
Zabbix configuration	Fixed size. Usually 10 MB or less		
History	Days * (data items/refresh rate) * 24 * 3600 * number of bytes	19.80234683	201.1656761
Dynamics of changes	Days * (data elements/3600) * 24 * 3600 * number of bytes	72.27856591	734.2547178
Events	Days * events * 24 * 3600 * number of bytes	9.692162275	19.38432455
	History (days)	30	30
	Dynamics of changes (days)	365	365
	Event storage (pcs.)	365	365
	Update rate (min.)	1 080	1 080
	Events per second (pcs.)	1	2
	Data elements (pcs.)	98 438	1 000 000
	TOTAL:	101.773075	954.8047185
	Together with mysql logs (GB)	348.7424037	3 271.797502
	The backup size is 30 days (GB)	595.7117324	5 588.790286

Помимо приведенных затрат на внедрение и покупку физических серверов, необходимо учесть стоимость владения необходимыми серверами. В рамках данной работы будем учитывать стоимость размещения двух серверов формата 2U в арендованных серверных стойках центра обработки данных в г. Москве. Ежемесячный платеж рассчитывается по потребляемой мощности серверов. Расчеты для сервера 4U приведены в таблице 3.

Основными критерием окупаемости инвестиций в систему мониторинга является снижение количества инфраструктурных отказов и уменьшение времени простоя заводов.

Благодаря объединению всех средств мониторинга в системе, появилась возможность выявить и заблаговременно модернизировать точки отказа,

которые являлись основной причиной инфраструктурных отказов, что было выявлено на основании данных систем мониторинга ГК «Русагро» за предыдущие периоды. На основе экспериментов, а также на данных статистики отказов за предыдущие периоды и исходных данных, полученных от существующей системы мониторинга, произведен расчет окупаемости затрат.

На основании данных из системы мониторинга и анализа причин отказов предполагается, что за счет внедрения системы общее количество инцидентов удастся сократить на 27,5 % ежегодно. Данный процент отражает количество отказов оборудования, которые возможно было предотвратить, имея выстроенную систему мониторинга ИТ-инфраструктуры.

Таблица 2
Затраты на реализацию

Затраты	Количество	Цена без НДС, тыс. руб.	Сумма без НДС, тыс. руб.
Физический сервер (36 CPU / 512 RAM) для организации центральных узлов Zabbix на все бизнес-направления	2 шт.	3 300	6 600,00
Услуги по инфраструктурной настройке оборудования	2 шт.	700,00	1 400,00
СХД 5 Тб SSD в год для сбора метрик по всем бизнес-направлениям	2 шт.	1 500,00	3 000,00
Консультационные и технологические услуги 600 ч/г и доработки (JS/Python) 500 ч/г	2 200 ч. (за 2 года)	3,50	7 700,00
Итого по проекту (тыс. руб.)			18 700,00

Table 2
Implementation costs

Expenses	Quantity	Price without VAT, thousand rubles	Amount without VAT, thousand rubles
A physical server (36 CPU / 512 RAM) for the organization of Zabbix central nodes for all business areas	2 pcs.	3300	6 600.00
Infrastructure equipment setup services	2 pcs.	700	1 400.00
5 Tb SSD storage per year for collecting metrics in all business areas	pcs.	1500	3 000.00
Consulting and technology services 600h/year and improvements (JS/Python) 500h/year	2200 hours (in 2 years)	3.5	7 700.00
Total for the project (thousand rubles)			18 700.00

Таблица 3
Расчет стоимости размещения в центре обработки данных г. Москвы

Наименование	Стойка 42U	Сервера 4U
Количество (кВт)	5 000	800
Стоимость размещения (руб/мес)	55 000	8 800
Стоимость владения (руб/год)	660 000	105 600

Table 3
Calculation of the cost of placement in the Data Center located in Moscow

Name	Rack 42U	Server 4U
Quantity (kW)	5 000	800
Cost of placement (rub/month)	55 000	8 800
Cost of ownership (rub/year)	660 000	105 600

На срок устранения инцидентов сильно влияет то, насколько быстро отреагировали на происшествие, а также то, сколько времени потрачено на первичную диагностику, которая необходима для того, чтобы инцидент был передан в работу в целевые подразделения, которые ответственны за устранение возникшей проблемы.

После внедрения централизованной системы мониторинга на инфраструктурном оборудовании нескольких объектов уже удалось сократить эти показатели (срок реагирования на инцидент). Замеры проводились исходя из данных 2022 года, полученных из Service Desk системы по сравнению с 2023 годом, когда система мониторинга уже частично была внедрена.

Система показала следующую динамику:

1. Среднее время реакции на инцидент уменьшено на 20 минут.

2. Среднее время диагностики инцидента уменьшено на 20 минут.

Произведем расчеты окупаемости внедрения системы мониторинга на основе имеющихся данных 2022 года и замеров, сделанных в 2023 году. Для расчетов сделаем допущение, что показатели количества инцидентов и среднего времени устранения инцидента будут меняться только один раз, после внедрения системы мониторинга.

Для оценки общей экономии от внедрения системы мониторинга можно использовать формулу:

$$C = \left((T - (t1 + t2)) * (K + K * Cn) \right) * P * Tэ \quad (1)$$

где $t1$ – сокращение времени реакции;

$t2$ – сокращение времени диагностики;

T – среднее время устранения инцидентов за 2023 год;

Расчеты экономии на инфраструктурных рисках

Показатель	2023	2024	2025	2026	Итого
Среднее время реакции (ч)	1	0,67	0,67	0,67	
Среднее время диагностики (ч)	2	1,67	1,67	1,67	
Количество инцидентов в год	18	14	14	14	
Среднее время простоя объекта за 1 инцидент (ч)	6	5,25	5,25	5,25	
Среднее время простоя в год (ч)	108	73,5	73,5	73,5	
Убытки из-за инфраструктурных отказов (185 000 руб/ч)	19 980 000	13 597 500	13 597 500	13 597 500	
Сокращение простоев в год (ч)	0	34,5	34,5	34,5	103,5
Экономия на инфраструктурных рисках (185 000 руб/ч)	0	6 382 500	6 382 500	6 382 500	19 147 500

Table 4

Calculations of savings on infrastructure risks

Indicator	2023	2024	2025	2026	Total
Average reaction time (hour)	1	0,67	0,67	0,67	
Average diagnostic time (hour)	2	1,67	1,67	1,67	
Number of incidents per year	18	14	14	14	
Average object downtime per 1 incident (hours)	6	5.25	5.25	5.25	
Average downtime per year (hours)	108	73.5	73.5	73.5	
Losses due to infrastructure failures (185 000 rubles/hour)	19 980 000	13 597 500	13 597 500	13 597 500	
Reduction of downtime per year (hours)	0	34.5	34.5	34.5	103.5
Savings on infrastructure risks (185 000 rubles/hour)	0	6 382 500	6 382 500	6 382 500	19 147 500

K – количество инцидентов в 2023 году;

P – средняя стоимость простоя завода при инфраструктурном;

C – итоговая экономия от внедрения системы мониторинга;

$T_{\text{э}}$ – предполагаемое время эксплуатации системы;

$C_{\text{и}}$ – предполагаемое сокращение общего количества инцидентов.

Рассчитаем динамику экономии на инфраструктурных рисках. Результаты расчетов отображены в таблице 4.

Как мы видим из таблицы, экономический эффект от внедрения централизованной системы мониторинга составит 19 147 500 рублей в течение 3 лет.

Стоимость эксплуатации и внедрения можно рассчитать по формуле 2.

$$S = X + Y * TS = X + Y * T, \quad (2)$$

где X – стоимость внедрения системы мониторинга в рублях;

Y – стоимость эксплуатации системы мониторинга за время T в рублях;

T – расчетное время эксплуатации системы в годах;

S – общая стоимость внедрения и эксплуатации системы мониторинга.

Для расчетов возьмем данные, полученные ранее: $X = 18\,700\,000$ рублей, $Y = 105\,600$ рублей, $T = 3$.

За 3 года стоимость эксплуатации и внедрения составит 19 016 800 рублей.

А это значит, что инвестиции в систему мониторинга ГК «Русагро» имеют срок окупаемости менее 3 лет, что соответствует внутренней политике компании по окупаемости инвестиций в инфраструктуру.

Также рассмотрим расчет экономической эффективности по методике ROI.

Внедрение системы мониторинга позволяет снизить операционные затраты на обслуживание ИТ-инфраструктуры за счет оптимизации процессов и сокращения времени простоя. Ранее были рассчитаны вложения (инвестиции), 19 016 800 руб. (за 3 года) и предполагаемая прибыль 19 147 500 руб. (также за 3 года). Исходя из рассчитанных данных, ROI за период внедрения составит 0,69 %, что подтверждает его эффективность. Важно подчеркнуть, что система мониторинга по окончании периода будет внедрена и продолжит приносить прибыль, а затраты на поддержание ее работоспособности будут минимальны, поскольку система будет настроена, отлажена, а также все необходимое оборудование будет закуплено.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Цифровые технологии предлагают различные инновационные решения для аграрной отрасли, а с развитием цифровизации в аграрной отрасли все больше внимания уделяется управлению ИТ-сервисами, охватывающими весь цикл – от производства до продажи конечному потребителю. Однако с увеличением зависимости от циф-

ровых ресурсов обеспечение стабильной работы ИТ-инфраструктуры становится сложной задачей, требующей непрерывного мониторинга и поддержки. Проблемы в управлении развитой ИТ-инфраструктурой крупного аграрного предприятия могут привести к простоям оборудования и убыткам. Таким образом, для решения обозначенной проблемы необходимы улучшение инфраструктуры и разработка эффективных стратегий управления ею.

Решением обозначенной проблемы может стать внедрение единой системы мониторинга. На сегодняшний день система внедряется в ГК «Русагро» и показывает положительную динамику по сокращению инцидентов в ИТ-инфраструктуре предприятия, а графическое представление данных с кластеров VMware и систем хранения дает возможность наглядно отслеживать состояние и производительность данных ресурсов. Внедряемая система мониторинга позволяет получить визуализацию данных, полученных с кластеров VMware и систем хранения данных, а также информацию о гипервизорах и состоянии виртуальных машин в сервисе Grafana. Система готова к масштабированию и адаптации к изменениям в организации и в дальнейшем даст возможность интеграции с дополнительными инструментами и возможность расширения функ-

циональности, а также возможность внедрения новых технологий для повышения эффективности мониторинга.

Несмотря на все преимущества, стоит отметить, что процесс внедрения системы мониторинга может сопровождаться следующими сложностями: сокращение финансирования, необходимость обучения персонала для эффективного управления системой мониторинга, необходимость в высокой степени переработки системы Zabbix для конкретных потребностей организации. Кроме того, система может отражать все происшествия, а это избыточное количество информации. В сложившихся условиях перед ИТ-отделом встает новая задача – автоматизировать распознавание происшествий и выстроить систему оповещения о наиболее важных событиях, что также возможно при масштабировании и настройке предложенной Zabbix-системы. Кроме того, возникает необходимость внедрения элементов системы мониторинга, позволяющих предвидеть возможные аварии и акцентировать внимание на меры по их предотвращению.

Тем не менее внедрение системы поможет предотвратить потери производительности, повысить оптимизацию ИТ-ресурсов предприятия, предупредить аварии и привести к снижению рисков и издержек.

Библиографический список

1. О развитии сельского хозяйства: Федеральный закон Российской Федерации от 29.12.2006 № 264-ФЗ (с изм. и доп. от 01.03.2024) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/12151309> (дата обращения: 12.04.2024).
2. Цифровая трансформация сельского хозяйства России [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/28f/28f56de9c3d40234dbdcbfac94787558.pdf> (дата обращения: 10.03.2024).
3. Nasirahmadi A., Hensel O. Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm // *Sensors*. 2022. Vol. 22, No. 2. Article number 498. DOI: 10.3390/s22020498.
3. Rolandi S., et al. The digitalization of agriculture and rural areas: Towards a taxonomy of the impacts // *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 9. Article number 5172. DOI: 10.3390/su13095172.
4. Завиваев Н. С. Внедрение информационных технологий в управление сельскохозяйственными организациями // *Вестник НГИЭИ*. 2022. № 1 (128). С. 66–76. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-1-66-76.
5. Eremina I., Yudin A., Tarabukina T., Oblizov A., The Use of Digital Technologies to Improve the Information Support of Agricultural Enterprises // *International Journal of Technology*. 2022. Vol. 13 (7). Pp. 1393–1402. DOI: 10.14716/ijtech.v13i7.6184.
6. Yangirov A. V., Musina D. R., Nasyrova S. I., Turganov A. G. Information Systems In Russian Agriculture Industry Management // *Communicative Strategies of Information Society*, 2022. Vol. 80. Pp. 412–419. DOI: 10.15405/epsbs.2020.03.02.48.
7. Алексеев А. М. Цифровая экосистема как инструмент снижения транзакционных издержек в сельском хозяйстве // *АПК: Экономика, управление*. 2023. № 12. С. 16–22. DOI: 10.33305/2312-16.
8. Voytyuk M. M., Marinchenko T. E., Voityuk V. A. New organizational mechanisms of infrastructure development of small agricultural businesses in Russia // *BIO Web of Conferences EDP Sciences*. 2022. Vol. 4. DOI: 10.1051/bioconf/20224206001.
9. Веревкин С. А., Юхимук Р. А., Кудро Д. В. Организация мониторинга распределенной корпоративной сети с целью ее оптимизации и использования полученных данных для обеспечения информационной безопасности // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2023. № 2. С. 188–192. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-2-188-193.
10. Хайруллина А. Р. Цифровая инфраструктура как среда принятия управленческих решений в малом и среднем предпринимательстве // *Экономика, предпринимательство и право*. 2021. № 5. С. 1151–1166. DOI: 10.18334/erpp.11.5.112066.

11. Годовой отчет 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rusagrogroup.ru/fileadmin/files/reports/ru/pdf/Rusagro-AR23-RUS.pdf> (дата обращения: 12.04.2024).
12. РусагроТех [Электронный ресурс]. URL: <https://rusagro.tech> (дата обращения: 15.12.2023).
13. Аникина Н. В., Глухова Т. В., Уткина Л. И. Управление ИТ-инфраструктурой предприятия // Российский экономический вестник. 2020. Т. 3, № 2. С. 79–83.
14. Alt V., Isakova S., Balushkina E. Digitalization: problems of its development in modern agricultural production // E3S Web of Conferences EDP Sciences. 2020. Vol. 210. Article number 10001. DOI: 10.1051/e3sconf/202021010001.
15. Лизунов М. И., Истратова Е. Е. Исследование программного обеспечения для мониторинга сетевого трафика // Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем: материалы научно-практической конференции. Барнаул, 2021. С. 37–40.
16. Смушкин В. А. Zabbix для мониторинга в ИТ-инфраструктуре // Форум молодых ученых. 2019. № 4 (32). С. 958–962.
17. Сапожников К. Ю. Использование системы Zabbix для мониторинга сетеобразующего и вспомогательного оборудования предприятия // Индустриальная Россия: вчера, сегодня, завтра: сборник научных статей. Уфа, 2020. С. 52–57.
18. Краузе Р. П. Исследование методических подходов к оценке эффективности ИТ-проектов на предприятиях // Бизнес-образование в экономике знаний. 2020. № 3 (17). С. 87–92.
19. Требования [Электронный ресурс] // Zabbix: [сайт]. URL: <https://www.zabbix.com/documentation/current/ru/manual/installation/requirements> (дата обращения: 01.02.2024).
20. Шинков С. О. Оценка финансовой состоятельности инвестиционных проектов на предприятии // В кн.: Цифровая трансформация: образование, наука, общество: монография. Москва: Издательство Центрального научно-исследовательского института русского жестового языка, 2019. С. 133–147.
21. Клевкова А. С. Основные показатели эффективности инвестиционных проектов, как основа принятия инвестиционных решений // Символ науки. 2022. № 1-2. С. 26–30.
22. Покшиванова О. П. Методы оценки экономической эффективности инвестиционных проектов, основанные на дисконтировании // Инновации. Наука. Образование. 2022. № 63. С. 54–60.
23. Краузе Р. П. Исследование методических подходов к оценке эффективности ИТ-проектов на предприятиях // Бизнес-образование в экономике знаний. 2020. № 3 (17). С. 87–92.
24. Глухов В. П., Скиба М. В. Оценка экономической эффективности применения системы «Smart мониторинг» для оборудования объектов инфраструктуры РЖД // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2022. Т. 13, № 1. С. 120–131. DOI: 10.18287/2542-0461-2022-13-1-120-131.

Об авторах:

Анна Александровна Белолобова, старший преподаватель, Омский государственный технический университет, Омск, Россия; ORCID 0000-0002-0915-3412, AuthorID 842173. E-mail: belolobova@gmail.com

Вячеслав Валерьевич Есин, ведущий инженер, ООО «Русагро Тех», Москва, Россия; ORCID 0009-0002-8385-621X, AuthorID 1254953. E-mail: v.esin1988@yandex.ru

Сергей Леонидович Бабаринов, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия; ORCID 0009-0001-9121-149X, AuthorID 6289-2638. E-mail: babarinov@bsuedu.ru

References

1. On the development of agriculture: Federal Law of the Russian Federation of 29 December 2006 No. 264-FL (as amended on 1 March 2024) [Internet] [cited 2024 Apr 12]. Available from: <https://base.garant.ru/12151309>. (In Russ.)
2. Digital transformation of agriculture in Russia [Internet]. 2024 [cited 2024 Mar 10]. Available from: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/28f/28f56de9c3d40234dbdcbfac94787558.pdf>. (In Russ.)
3. Nasirahmadi A., Hensel O. Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors*. 2022; 22 (2): 498. DOI: 10.3390/s22020498.
4. Rolandi S., et al. The digitalization of agriculture and rural areas: Towards a taxonomy of the impacts. *Sustainability*. 2021; 13 (9): 5172. DOI: 10.3390/su13095172.
5. Zavivayev N. S. Implementation of information technologies in the management of agricultural organizations. *Bulletin NGIEI*. 2022; 1 (128): 66–76. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-1-66-76. (In Russ.)
6. Eremina I., Yudin A., Tarabukina T., Oblizov A., The Use of Digital Technologies to Improve the Information Support of Agricultural Enterprises. *International Journal of Technology*. 2022; 13 (7): 1393–1402. DOI: 10.14716/ijtech.v13i7.6184.

7. Yangirov A. V., Musina D. R., Nasyrova S. I., Turganov A. G. Information systems in Russian agriculture industry management. *Communicative Strategies of Information Society*. 2022; 80: 412–419. DOI: 10.15405/epsbs.2020.03.02.48.
8. Alekseev A. M. Digital ecosystem as a tool for reducing transaction costs in agriculture. *AIC: Economics, Management*. 2023; 12: 16–22. DOI: 10.33305/2312-16. (In Russ.)
9. Voytyuk M. M., Marinchenko T. E., Voityuk V. A. New organizational mechanisms of infrastructure development of small agricultural businesses in Russia. *BIO Web of Conferences EDP Sciences*. 2022; 4: 06001. DOI: 10.1051/bioconf/20224206001.
10. Verevkin S. A., Yukhimuk R. A., Kudro D. V. Algorithm for monitoring a distributed corporate network in order to further optimize and use the data obtained to ensure information security. *News of the Tula State University. Technical Sciences*. 2023; 2: 188–192. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-2-188-193. (In Russ.)
11. Khayrullina A. R. Digital infrastructure as a management decision-making environment in small and medium-sized enterprises. *Ekonomika, Predprinimatelstvo i Pravo*. 2021; 5: 1151–1166 DOI: 10.18334/epp.11.5.112066. (In Russ.)
12. Annual Report 2023 [Internet]. *Rusagro* [official website]. 2024 [cited 2024 Apr 12]. Available from: <https://www.rusagroup.ru/fileadmin/files/reports/ru/pdf/Rusagro-AR23-RUS.pdf>. (In Russ.)
13. *RusagroTech* [Internet] [cited 2023 Dec 15]. Available from: <https://rusagro.tech/>. (In Russ.)
14. Anikina N. V., Glukhova T. V., Utkina L. I. Management of enterprise IT-infrastructure. *Russian Economic Bulletin*. 2020; 3 (2): 79–83. (In Russ.)
15. Alt V., Isakova S., Balushkina E. Digitalization: problems of its development in modern agricultural production. *E3S Web of Conferences EDP Sciences*. 2020; 210: 10001. DOI: 10.1051/e3sconf/202021010001.
16. Lizunov M. I., Istratova E. E. Research of software for network traffic monitoring. *Software and hardware for automated systems: materials of the all-Russian youth scientific and practical conference*. Barnaul, 2021. Pp. 37–40. (In Russ.)
17. Smushkin V. A. Zabbix for monitoring in IT infrastructure. *Forum of Young Scientists*. 2019; 4 (32): 958–962. (In Russ.)
18. Sapozhnikov K. Yu. The use of the Zabbix system for monitoring backbone and auxiliary enterprise equipment. *Industrial Russia: yesterday, today, tomorrow: collection of scientific articles based on the materials of the III International scientific and practical conference*. Ufa, 2020. Pp. 52–57. (In Russ.)
19. Krauze R. P. Research of methodological approaches to evaluation of IT projects effectiveness at enterprises. *Business Education in the Knowledge Economy*. 2020; 3 (17): 87–92. (In Russ.)
20. *Requirements. Zabbix* [Internet]. 2024 [cited 2024 Feb 01]. Available from: <https://www.zabbix.com/documentation/current/ru/manual/installation/requirements>. (In Russ.)
21. Shinkov S. O. Assessment of the financial viability of investment projects at the enterprise. *Digital Transformation: Education, Science, Society*: monograph. Moscow: Autonomous Non-Profit Organization Central Research Institute of Russian Sign Language, 2019. Pp. 133–147. (In Russ.)
22. Klevkova A. S. The main indicators of the effectiveness of investment projects as the basis for making investment decisions. *Symbol of Science: International Scientific Journal*. 2022; 1-2: 26–30. (In Russ.)
23. Pokshivanova O. P. Methods for assessing the economic efficiency of investment projects based on discounting. *Innovations. Science. Education*. 2022; 63: 54–60. (In Russ.)
24. Krauze R. P. Research of methodological approaches to evaluation of IT projects effectiveness at enterprises. *Business Education in the Knowledge Economy*. 2020; 3 (17): 87–92. (In Russ.)
25. Glukhov V. P., Skiba M. V. Equipment of Russian Railways infrastructure facilities. *Bulletin of Samara University. Economics and Management*. 2022; 13 (1): 120–131. DOI: 10.18287/2542-0461-2022-13-1-120-131. (In Russ.)

Authors' information:

Anna A. Belolobova, senior lecturer, Omsk State Technical University, Omsk, Russia; ORCID 0000-0002-0915-3412, AuthorID 842173. *E-mail: belolobova@gmail.com*

Vyacheslav V. Esin, lead engineer, Rusagro Tech LLC, Moscow, Russia; ORCID 0009-0002-8385-621X, AuthorID 1254953. *E-mail: v.esin1988@yandex.ru*

Sergey L. Babarinov, candidate of technical sciences, associate professor of the department of information and telecommunication systems and technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia; ORCID 0009-0001-9121-149X, AuthorID 6289-2638. *E-mail: babarinov@bsuedu.ru*

Влияние изменений базисных факторов на экономическую эффективность сельского хозяйства России

Е. М. Кот¹, Т. Х. Тогузаев², М. Ш. Газаева², В. В. Калицкая³✉, Л. А. Степанова³

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

² Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, Нальчик, Россия

³ Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: kalitskaja2010@yandex.ru

Аннотация. Рост мирового потребления продовольствия и сельскохозяйственной продукции сопровождается снижением прироста новых сельскохозяйственных площадей и сокращением численности занятых в аграрном секторе. Эти тенденции особенно заметны на национальном и субрегиональном уровнях, где многие страны сталкиваются с дефицитом сельскохозяйственных ресурсов и рабочей силы. В таких условиях возникает угроза утраты конкурентных позиций на мировом аграрном рынке, что может привести к изменению отраслевой структуры национальной экономики, связанной с сокращением доли сельского хозяйства. Для сохранения устойчивого развития необходимо искать новые ресурсы и разрабатывать новые модели управления аграрным сектором. Одним из ключевых аспектов этих изменений является соотношение между базовыми факторами: трудом и капиталом. **Целью** данной статьи является выявление, верификация, квантификация и интерпретация взаимосвязи между трудом и капиталом в сельском хозяйстве России в 2000-е годы. **Методы.** Использован комплекс аналитических и статистических методов, включая индексный, корреляционный, регрессионный и графический анализ. Расчеты проводились с использованием программ Excel и специализированного программного обеспечения REMOD-IV, адаптированного к целям исследования. **Научная новизна** исследования заключается в разработке и применении системного подхода к анализу взаимосвязи между различными формами капитала (основного, оборотного и человеческого) и производительностью аграрного сектора. Предложена методология, позволяющая количественно оценить процессы замещения труда капиталом и их влияние на устойчивое развитие сельского хозяйства. Комплексный подход интегрирует экономические и социальные аспекты, что способствует более глубокому пониманию структуры сельскохозяйственного производства. **Результаты.** Определена и формализована взаимосвязь между трудом и капиталом, проведена ее количественная оценка. Уточнены отдельные положения теории и методологии замещения факторов в сельском хозяйстве. Разработаны основные положения методики оценки замещения труда капиталом в аграрном секторе.

Ключевые слова: сельское хозяйство, труд, капитал, соотношение труда и капитала, эффективность сельского хозяйства

Для цитирования: Кот Е. М., Тогузаев Т. Х., Газаева М. Ш., Калицкая В. В., Степанова Л. А. Влияние изменений базисных факторов на экономическую эффективность сельского хозяйства России // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 303–318. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-303-318>.

Дата поступления статьи: 27.06.2024, **дата рецензирования:** 13.11.2024, **дата принятия:** 02.12.2024.

The impact of changes in basic factors on the economic efficiency of Russian agriculture

E. M. Kot¹, T. Kh. Toguzayev², M. Sh. Gazaeva², V. V. Kalitskaya³✉, L. A. Stepanova³

¹ Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

² Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov, Nalchik, Russia

³ Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: kalitskaja2010@yandex.ru

Abstract. The growth of global consumption of food and agricultural products is accompanied by a decrease in the growth of new agricultural land and a reduction in the number of people employed in the agricultural sector. These trends are especially noticeable at the national and subregional levels, where many countries face a shortage of agricultural resources and labor. In such conditions, there is a threat of losing competitive positions in the global agricultural market, which may lead to a change in the sectoral structure of the national economy associated with a reduction in the share of agriculture. To maintain sustainable development, it is necessary to look for new resources and develop new models of managing the agricultural sector. One of the key aspects of these changes is the relationship between the basic factors: labor and capital. **The purpose** of this article is to identify, verify, quantify and interpret the relationship between labor and capital in Russian agriculture in the 2000s. **Methods.** A set of analytical and statistical methods was used, including index, correlation, regression and graphical analysis. The calculations were carried out using Excel programs and specialized REMOD-IV software adapted to the objectives of the study. **The scientific novelty** of the study lies in the development and application of a systematic approach to the analysis of the relationship between various forms of capital (fixed, circulating and human) and the productivity of the agricultural sector. A methodology is proposed that allows for a quantitative assessment of the processes of labor substitution by capital and their impact on the sustainable development of agriculture. The comprehensive approach integrates economic and social aspects, which contributes to a deeper understanding of the structure of agricultural production. **Results.** The relationship between labor and capital is defined and formalized, and its quantitative assessment is carried out. Certain provisions of the theory and methodology of factor substitution in agriculture are clarified. The main provisions of the methodology for assessing the substitution of labor by capital in the agricultural sector are developed.

Keywords: agriculture, labor, capital, labor-capital ratio, agricultural efficiency

For citation: Kot E. M., Toguzayev T. Kh., Gazaeva M. Sh., Kalitskaya V. V., Stepanova L. A. The impact of changes in basic factors on the economic efficiency of Russian agriculture. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 303–318. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-303-318>. (In Russ.)

Date of paper submission: 27.06.2024, **date of review:** 13.11.2024, **date of acceptance:** 02.12.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Растущая конкуренция на мировых и региональных агропродовольственных рынках требует наращивания производства, расширения ассортимента, формирования длинных цепочек ценностей и поставок, а также новых коммуникаций и логистики (трафиков). Все это является естественной стратегией и тактикой существования национального сельского хозяйства. Однако решение данной задачи сталкивается с естественными трудностями, связанными с дефицитом базисных факторов производства сельскохозяйственной продукции. Речь идет не только об экологических изменениях – ухудшении экологии, росте болезней, поражающих сельскохозяйственные растения и животных, эрозии почв и т. д., но также о сокращении прироста свободных площадей, пресной воды для полива и

численности занятых в сельском хозяйстве. Два последних фактора – сокращение земли и сокращение численности сельскохозяйственных рабочих – становятся базовыми проблемами для развития сельского хозяйства. Причем эта проблема характерна не только для отдельных регионов, она свойственна практически всем странам и территориям, так как уровень развития традиционного сельского хозяйства подошел к черте, за которой наблюдается дефицит двух из трех базисных факторов – земли и труда.

Особенность отмеченной тенденции состоит в том, что снижение прироста рабочей силы в сельском хозяйстве произошло весьма резко. Так, если в конце прошлого столетия в сельском хозяйстве наблюдался профицит рабочих рук (связанный как с естественным приростом сельского населения,

так и с миграцией), то уже в начале нового столетия ситуация с потоками рабочей силы кардинально изменилась: мигранты, ранее предпочитавшие селиться в сельских районах, направляются в города, а сельское население переселяется в города на постоянное жительство. Ранее существовавшая маятниковая и сезонная миграция сельской рабочей силы практически прекратилась. Одновременно с этим наблюдается резкое снижение поступлений новой техники и технологий. В результате в национальном сельском хозяйстве образовался комплекс дефицита двух факторов: капитала, понимаемого как совокупность материальных (основные фонды) и нематериальных активов, и труда.

Капитал в данном контексте включает не только основные фонды, такие как техника, здания и сооружения, но также оборотный капитал (сырье, семена, удобрения и другие материалы, необходимые для непрерывного производства) и человеческий капитал, представленный квалификацией, численностью и структурой рабочей силы. Этот многофакторный подход позволяет более комплексно оценивать процессы в сельском хозяйстве и глубже понимать вызовы, с которыми сталкивается отрасль. Ответом на указанный дефицит стало сокращение использования фактора «земля». Наблюдалось резкое запустение сельскохозяйственных угодий, причем земли сельскохозяйственного назначения под разными предлогами выводились в другие категории. Однако с конца первого десятилетия XXI века наметилась новая тенденция: увеличение поступления в оборот ранее неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения, что свидетельствует об определенном расширении фактора «земля».

Причина этой тенденции до конца не выявлена. Можно указать несколько возможных вариантов. Один из них – это увеличение притока капитала в сельское хозяйство, включающего инвестиции как в основные фонды, так и в оборотные активы. Другой вариант – это открытие новых внешних аграрных рынков и расширение возможностей экспорта сельскохозяйственной продукции. Третий фактор – высокая доля сельского населения, нуждающегося в занятости в связи с переходом от советской модели государственного патернализма к рыночной капиталистической модели самообеспечения.

Если учесть, что активность сельскохозяйственного развития в России усилилась после 2014 года, то можно считать одной из весомых причин введение запретов на импорт продовольственной продукции из недружественных стран (Европа, США, Канада, Австралия и другие) [1; 2]. Обобщая существующие факторы, стимулирующие рост в сельском хозяйстве, можно сделать вывод, что на динамику основных процессов современного сельского хозяйства страны оказали влияние как внутренние, так и внешние условия. Внутренние факторы вклю-

чают потребности агропродовольственного рынка и активную государственную поддержку национального товаропроизводителя, в то время как внешние факторы связаны с конъюнктурой мирового рынка, растущим дефицитом рабочих рук и изменениями миграционных потоков [3].

Основной целью данной статьи является выявление, верификация, квантификация и интерпретация связи между «капиталом» и «трудом» в сельском хозяйстве России в 2000-е годы. Для достижения поставленной цели в статье поставлены следующие задачи:

1. Выявить изменения в соотношении труда и капитала в сельском хозяйстве России. Осуществить анализ структуры производственных факторов с акцентом на динамику их изменений и влияние на эффективность отрасли.

2. Квантифицировать взаимосвязь между капиталом и трудом. Провести количественную оценку взаимосвязи этих факторов с использованием статистических данных, отражающих их воздействие на производственные процессы.

3. Интерпретировать влияние изменения соотношения труда и капитала на производительность сельского хозяйства. Определить, как изменения в соотношении труда и капитала влияют на валовую продукцию и динамику развития отрасли.

4. Разработать методические подходы к оценке замещения труда капиталом. Сформулировать основные положения методики, направленной на оценку процессов замещения труда капиталом в сельском хозяйстве, и предложить пути повышения эффективности данного процесса.

Материалы и методы (Methods)

Теоретическую и методологическую основу настоящего исследования составляет классическая экономическая теория, в том числе идеи, сформулированные К. Марксом в его труде «Капитал», где он отмечает, что развитые страны демонстрируют менее развитым странам возможные направления их будущего развития [4]. Это положение отражает необходимость адаптации экономики менее развитых стран к условиям, с которыми более развитые страны уже столкнулись, и является актуальным для анализа сельскохозяйственных процессов. Важную роль в теоретическом обосновании исследований сельскохозяйственного развития сыграли зарубежные работы, посвященные анализу трансформации сельского хозяйства и его роли в экономическом развитии. Так, в работе Ignaciuk с соавторами [5] исследуются факторы, способствующие устойчивому развитию сельского хозяйства на глобальном уровне, что подчеркивает значимость перехода к более экологически устойчивым и экономически эффективным методам ведения сельского хозяйства. Timmer [6] и Gollin с коллегами [7] в своих исследованиях также акцентируют внимание

на важности сельскохозяйственных трансформаций, отмечая, что рост эффективности в сельском хозяйстве является важным двигателем долгосрочного экономического роста, особенно в развивающихся странах. Эти подходы подчеркивают, что сельское хозяйство является ключевым элементом, определяющим экономическую стабильность и социальное развитие в условиях глобализации. Адаптируя эти теоретические подходы к российским реалиям, отечественные исследователи, такие как С. П. Земцов, О. В. Шик и С. Ю. Глазьев, сосредоточились на специфике российской аграрной политики и экономических условиях. В частности, работа Земцова и соавторов [8] подчеркивает влияние санкций и внешнеэкономических факторов на сельскохозяйственный сектор России, что привело к необходимости адаптации аграрного комплекса к новым условиям. Авторы анализируют роль государственной поддержки в развитии агропромышленного комплекса России, отмечая значимость капитальных вложений и модернизации технологий в условиях глобальной конкуренции и внутренних экономических преобразований.

Основные положения теории развития сельского хозяйства нашли отражение в работах Н. Г. Гавриловой, В. О. Шалимова, М. В. Рожко, В. А. Рубцова, Н. В. Орловой [9–12]. Эти авторы указывают на значимость устойчивого развития агропромышленного комплекса и необходимости адаптации к современным вызовам, включая изменение климата, урбанизацию и глобальные экономические колебания. Важные дополнения предложены в работах И. Е. Лазаревой, О. В. Шика, В. Е. Шумиловой в контексте изучения производственных функций и межотраслевого баланса [13–15]. Эти исследования подчеркивают роль капитальных вложений и государственного регулирования в повышении эффективности аграрного сектора, что подтверждают данные последних лет. Теория факторов производства, применимая к сельскому хозяйству, рассматривает взаимодействие таких ключевых компонентов, как труд, капитал и земля. Последние работы С. Л. Моисеенко, Н. П. Малышевой, О. В. Мустифиной, Е. А. Климентовой, А. А. Дубовицкого, В. А. Бабушкина [15; 16] углубляют понимание динамики капитала в сельском хозяйстве, обращая внимание на растущую роль интеллектуального капитала и инноваций.

В данном исследовании использованы следующие методические подходы. Особое внимание уделено оценке и измерению ключевых показателей, таких как среднегодовая численность занятых, количество рабочих мест, фактически отработанное время, основные фонды и объем продукции сельского хозяйства. При расчетах этих показателей применялись методические рекомендации Федеральной службы государственной статистики Рос-

сии (Росстат) [17; 18]. Например, данные о среднегодовой численности занятых в растениеводстве и животноводстве, охоте и предоставлении соответствующих услуг формируются на основе официальных статистических данных, включая выборочные обследования рабочей силы, индивидуальных предпринимателей и данные органов исполнительной власти. В численность занятых включаются как российские, так и иностранные граждане, временно или постоянно находящиеся на территории России [19]. Эти данные являются ключевыми для анализа трудовых ресурсов, которые играют важную роль в балансе между трудом и капиталом.

Таким образом, настоящее исследование основывается на обширном библиографическом и статистическом материале, что позволяет учесть различные формы капитала и факторы, влияющие на динамику сельскохозяйственного производства в России.

Количество рабочих мест (работ) исчисляется путем суммирования первых, вторых, третьих и т. д. работ, в том числе включающих производство в домашнем хозяйстве товаров и услуг для продажи или обмена; производство продукции сельского, лесного хозяйства, охоты и рыболовства для собственного использования; рабочие места иностранных граждан, работающих на территории Российской Федерации.

Количество фактически отработанного времени в расчете на год на всех видах работ по производству товаров и услуг (совокупные затраты труда) – количество фактически отработанных человеко-часов по производству товаров и услуг (на основной, дополнительной работе, а также в производстве в домашних хозяйствах продукции сельского, лесного хозяйства, охоты и рыболовства как для реализации, так и для собственного использования) на территории Российской Федерации. Исчисляется путем умножения количества рабочих мест по каждому виду работ на среднее фактическое время работы на одно рабочее место.

Основные фонды представляют собой произведенные активы, подлежащие использованию неоднократно или постоянно в течение длительного периода, но не менее одного года, для производства товаров, оказания рыночных и нерыночных услуг, для управленческих нужд либо для представления другим организациям за плату во временное владение и пользование или во временное пользование. К основным фондам относятся здания, сооружения, машины и оборудование, транспортные средства, культивируемые биологические ресурсы, включая рабочий и продуктивный скот, другие виды основных фондов.

Продукция сельского хозяйства представляет собой сумму продукции растениеводства и продукции животноводства, произведенную за отчетный

год всеми сельскохозяйственными производителями (сельскохозяйственными организациями, крестьянскими (фермерскими) хозяйствами и индивидуальными предпринимателями, хозяйствами населения), в стоимостной оценке в фактически действовавших ценах.

Продукция растениеводства включает стоимость сырых продуктов, полученных от урожая отчетного года: зерновых (включая рис), зернобобовых культур и семян масличных культур, овощей и культур бахчевых, корнеплодных и клубнеплодных культур, грибов и трюфелей, табака необработанного, культур волокнистых прядильных, соломы и кормовых культур, цветов срезанных и бутонов цветочных, семян цветочных культур, семян и другого семенного материала кормовых корнеплодов, семян однолетних и многолетних трав, многолетних культур прочих, а также изменение стоимости незавершенного производства в растениеводстве от начала к концу года (посадка и выращивание до плодоношения сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений).

Продукция животноводства включает стоимость сырых продуктов, полученных в результате выращивания и хозяйственного использования сельскохозяйственных животных (молока, шерсти, яиц, и прочих продуктов животного происхождения), стоимость выращивания (приплода, прироста, привеса) скота и птицы за год, стоимость продукции пчеловодства.

В качестве эмпирической базы использованы данные официальной статистики Росстата, опубликованные в его ежегодных статистических сборниках. Все расчеты проведены на ПК на базе типовой программы Excel.

Результаты (Results)

Пропорции являются важнейшим признаком развития. С одной стороны, они обеспечивают устойчивость различных систем, придавая им необходимую динамику, а с другой, их нарушение ведет к стагнации, кризису и развалу. Поэтому, являясь важнейшим индикатором состояния системы, пропорции заслуживают особого к себе внимания и управления. В Центральном федеральном округе наблюдается значительный рост капиталоемкости благодаря высоким инвестициям в модернизацию сельского хозяйства, что способствует повышению производительности. На Дальнем Востоке и в Сибири капиталоемкость ниже из-за сложностей с инфраструктурой и финансированием, что замедляет внедрение современных технологий.

Развитие сельского хозяйства, как и любой другой отрасли, зависит от состояния факторов. Наличие благоприятных факторов в достаточном их количестве и качестве обеспечивает устойчивую высокую динамику отрасли. Как только встречается дефицит какого-либо фактора (причем такого, кото-

рый невозможно заместить), происходит снижение роста, он приобретает неустойчивый характер с последующими негативными последствиями. Поэтому в организации и проектировании отрасли крайне важно знать состояние дефицита, профицита и прочих состояний факторов. Последнее становится возможным при условии выявления соотношения между различными факторами в производственном процессе, а также взаимоотношений между факторами, возможностей замещения одними факторами других и др.

Классическая модель сельского хозяйства – модель трех факторов (земля, труд, капитал) – остается актуальной и по настоящее время, несмотря на развитие научно-технического, социального и иного прогресса. Дело в том, что и современное сельское хозяйство, как и тысячу лет назад, базируется на трех основных факторах. По крайней мере, без земли и труда невозможно и сегодня производить сельскохозяйственную продукцию. Но земля – это не только пространство, но и ландшафт, биоценозы, плодородие почв, вода, солнечный свет (радиация), ветра, влажность и прочие погодные условия.

Демографическая ситуация, дальнейшая урбанизация и сопровождающие (а также выступающие в качестве причин) изменения в отраслевой структуре национального хозяйства приводят к дефициту трудовых ресурсов и рабочей силы в сельском хозяйстве. Причем следует указать на то, что этот дефицит будет только нарастать. Поэтому сельское хозяйство сталкивается с дефицитом рабочей силы. И если прежде на национальном и региональном уровнях эта проблема решалась путем привлечения мигрантов, то в последнее десятилетие (и тем более годы) ситуация кардинально изменилась: наблюдается дефицит мигрантов вообще. Сельское хозяйство проигрывает другим отраслям в привлечении мигрантов в силу низких доходов и оплаты труда в отрасли: по данным официальной статистики, уровень заработной платы в сельском хозяйстве составляет лишь чуть более двух третей от средней по национальному хозяйству, но в региональном разрезе эти различия оказываются еще более сильными. В Южном федеральном округе и на Северном Кавказе особенно остро ощущается дефицит рабочей силы, так как миграция в крупные города ослабляет аграрный сектор. В то же время в Центральном округе и на Урале этот дефицит частично компенсируется автоматизацией, что позволяет снижать зависимость от труда. Таким образом, проблема дефицита рабочей силы в сельском хозяйстве будет только нарастать. Разберем состояние данной проблемы в национальном сельском хозяйстве России (таблица 1).

Согласно приведенным данным, за период с 2015 по 2023 год валовая продукция сельского хозяйства выросла на 174,0 % с темпами роста, со-

ставляющими в среднем 8,6 % в год. Динамика роста продукции по годам демонстрирует существенные колебания, что указывает на нестабильность и зависимость отрасли от внешних факторов. При этом в 2023 году зафиксировано снижение объемов продукции до 8341,3 млрд руб., что может свидетельствовать о влиянии неблагоприятных экономических условий или изменяющейся структуры спроса на сельскохозяйственные товары. Наибольший прирост валовой продукции был отмечен в 2021 году (+18,6 %), что в значительной мере обусловлено ростом цен: индекс цен производителей сельскохозяйственной продукции тогда составил 118,9 %. В 2023 году индекс цен составил 97,5 %, что ниже уровня 2022 года, и, следовательно, это отразилось на снижении темпов роста продукции даже при положительном росте скорректированных на инфляцию показателей.

Анализ также показывает рост стоимости основных производственных фондов (ОПФ) в сельском хозяйстве, которая в 2023 году составила

4888,1 млрд руб. Таким образом, за 8 лет стоимость ОПФ выросла более чем в два раза. Темпы прироста ОПФ оставались на высоком уровне, составляя в среднем 10,7 % в год, и превосходят рост валовой продукции, что подчеркивает тенденцию к увеличению капитальных затрат на фоне нестабильной динамики производства. Среднегодовая численность занятых в сельском хозяйстве в 2023 году составила 4001 тыс. чел., что свидетельствует о незначительном росте по сравнению с 2022 годом, возможно, за счет улучшения условий труда или внедрения мер по поддержке сельского хозяйства. Число рабочих мест также выросло и составило 21 655, что указывает на структурные изменения в отрасли, направленные на поддержание трудовых ресурсов.

Учитывая эти данные, можно сделать вывод, что сельское хозяйство России находится в условиях интенсивного развития основных фондов и капиталоемкости, при этом производственные показатели колеблются, отражая воздействие как рыночных цен, так и других внешних факторов.

Таблица 1
Основные показатели развития национального сельского хозяйства России за период 2015–2023 гг.

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Продукция сельского хозяйства в текущих ценах, млрд руб.	4 794,6	5 112,3	5 109,5	5 348,8	5 801,4	6 468,8	7 672,9	8 563,5	8 341,3
Индексы цен производителей сельскохозяйственной продукции	114,1	103,8	97,7	99,2	108,4	100,7	118,9	105,4	97,5
Продукция сельского хозяйства, скорректированная на индекс цен произв. сельхозпродукции, млрд руб.	4 202,1	4 925,1	5 229,8	5 391,9	5 351,8	6 423,8	6 453,2	8 124,8	7 924,5
Индексы производства продукции сельского хозяйства по категориям хозяйств в сопоставимых ценах	102,6	104,8	102,9	99,8	104,3	101,3	99,3	111,3	99,7
Индексы цен на продукцию (затраты, услуги) инвестиционного назначения	109,7	103,1	101,4	107,8	105,1	107,4	110,3	116,7	112,4
Наличие основных фондов по виду экономической деятельности «Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях», млрд руб.	2 295,5	2 555,3	2 751,3	3 067,8	3 478,8	3 791,8	4 202,6	4 675,9	4 888,1
ОПФ сельского хозяйства и охоты в сопоставимых ценах, млрд руб.	3 906,2	2 478,5	2 713,3	2 845,8	3 310,0	3 530,5	3 810,2	4 006,8	4 165,4
Среднегодовая численность занятых в сельском хозяйстве, охота, тыс. чел.	4 900	4 890	4 481	4 346	4 212	4 011	3 947	3 931	4 001
Количество рабочих мест	21 868	21 902	20 923	21 711	21 415	22 686	21 981	21 322	21 655
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата, руб.	21 268	21 268	23 529	25 820	28 396	31 058	35 460	41 994	47 583
Посевные площади сельскохозяйственных культур, тыс. га	78 635	79 312	80 049	79 634	79 888	79 948	80 383	82 290	81 445

Table 1

Key indicators of the development of national agriculture in Russia for the period 2015–2023

Indicators	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<i>Agricultural output at current prices, billion rubles</i>	4 794.6	5 112.3	5 109.5	5 348.8	5 801.4	6 468.8	7 672.9	8 563.5	8 341.3
<i>Indices of agricultural producer prices</i>	114.1	103.8	97.7	99.2	108.4	100.7	118.9	105.4	97.5
<i>Agricultural output adjusted for the index of agricultural producer prices, billion rubles</i>	4 202.1	4 925.1	5 229.8	5 391.9	5 351.8	6 423.8	6 453.2	8 124.8	7 924.5
<i>Indices of agricultural production by farm categories in comparable prices</i>	102.6	104.8	102.9	99.8	104.3	101.3	99.3	111.3	99.7
<i>Indices of prices for investment-oriented products (costs, services)</i>	109.7	103.1	101.4	107.8	105.1	107.4	110.3	116.7	112.4
<i>Availability of fixed assets by type of economic activity "Crop and livestock production, hunting and provision of related services in these area", billion rubles</i>	2 295.5	2 555.3	2 751.3	3 067.8	3 478.8	3 791.8	4 202.6	4 675.9	4 888.1
<i>Fixed assets of agriculture and hunting in comparable prices, billion rubles</i>	3 906.2	2 478.5	2 713.3	2 845.8	3 310.0	3 530.5	3 810.2	4 006.8	4 165.4
<i>Average annual number of people employed in agriculture, hunting, thousand people</i>	4 900	4 890	4 481	4 346	4 212	4 011	3 947	3 931	4 001
<i>Number of jobs</i>	21 868	21 902	20 923	21 711	21 415	22 686	21 981	21 322	21 655
<i>Average monthly nominal accrued wages, rubles</i>	21 268	21 268	23 529	25 820	28 396	31 058	35 460	41 994	47 583
<i>Area of sown agricultural crops, thousand hectares</i>	78 635	79 312	80 049	79 634	79 888	79 948	80 383	82 290	81 445

Произведенные расчеты показывают, что темпы роста стоимости основных фондов продолжали опережать темпы роста продукции сельского хозяйства. Стоимость основных фондов за период с 2015 по 2023 год увеличилась на 212,9 %, в то время как объем продукции вырос на 174,9 %. Это подтверждает растущую капиталоемкость сельскохозяйственного производства и указывает на необходимость оптимизации инвестиций в основные фонды. Однако, как показывает анализ, это увеличение капитала не всегда ведет к пропорциональному росту производительности, что подчеркивается также умеренными среднегодовыми темпами роста продукции (7,24 % против 9,91 % для основных фондов).

Сокращение численности занятых на 18,3 % отражает продолжающееся снижение роли человеческого труда в сельском хозяйстве. Отрицательная корреляция между численностью занятых и объемом продукции (–0,834) указывает на то, что автоматизация и механизация становятся более значимыми факторами для увеличения производительности. Тем не менее труд остается важным компонентом в некоторых трудоемких сегментах сельского хозяйства, таких как овощеводство и животноводство, особенно в регионах с высокой долей сезонных рабочих мест. Это требует повышения качества трудовых ресурсов и расширения их квалификаций для работы с современной техникой.

Что касается земельного фактора, посевные площади увеличились лишь на 3,6 % с 2015 года, что указывает на более интенсивное использование земли. Корреляция между посевными площадями и объемом продукции также возросла до 0,884 к 2022 году, что подтверждает значимость земельных ресурсов, несмотря на их ограниченный прирост. Дальнейший рост продукции может быть достигнут за счет внедрения технологий, повышающих урожайность на единицу площади.

Снижение индексов производства сельхозпродукции до 89,6 % относительно предыдущего года отражает значительные колебания производительности и сложности, связанные с неустойчивостью в производственных процессах. Это подчеркивает необходимость диверсификации технологий и внедрения устойчивых методов производства, которые бы снижали зависимость от сезонных и внешнеэкономических факторов.

На основе анализа данных можно сделать вывод, что для увеличения эффективности сельскохозяйственного производства требуются дальнейшая модернизация и оптимизация использования капитала, трудовых ресурсов и земельных угодий. В частности, необходимо сконцентрироваться на улучшении качества основных фондов и внедрении более продвинутых технологий, которые позволят компенсировать сокращение трудовых ресурсов и эффективнее использовать землю.

Таблица 2

Темпы роста/снижения базовых факторов сельского хозяйства в 2015–2023 гг.

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 к 2015 г., %	Средне-годовые темпы роста, %
Продукция сельского хозяйства в текущих ценах, млрд руб.	100	106,6	99,9	104,7	108,5	111,5	118,6	111,6	97,4	174,9	107,3
Индексы производства продукции сельского хозяйства по категориям хозяйств в сопоставимых ценах	102,6	104,8	102,9	99,8	104,3	101,3	99,3	111,3	89,6	97,2	99,6
Стоимость основных фондов в текущих ценах, млрд руб.	100	111,3	107,7	111,5	113,4	109	110,8	111,3	104,5	212,9	109,9
Среднегодовая численность занятых, тыс. чел.	100	99,8	91,6	97	96,9	95,2	98,4	99,6	101,8	81,7	97,5
Посевные площади сельскохозяйственных культур (в хозяйствах всех категорий)	100	100,9	100,9	99,5	100,3	100,1	100,5	102,4	99	103,6	100,4

Экономика

Table 2

Growth/decline rates of basic agricultural factors in 2015–2023

Indicators	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 to 2015, %	Average annual growth rate, %
Agricultural output at current prices, billion rubles	100	106.6	99.9	104.7	108.5	111.5	118.6	111.6	97.4	174.9	107.3
Indices of agricultural production by farm categories at comparable prices	102.6	104.8	102.9	99.8	104.3	101.3	99.3	111.3	89.6	97.2	99.6
Cost of fixed assets at current prices, billion rubles	100	111.3	107.7	111.5	113.4	109	110.8	111.3	104.5	212.9	109.9
Average annual number of employees	100	99.8	91.6	97	96.9	95.2	98.4	99.6	101.8	81.7	97.5
Area under agricultural crops (in farms of all categories)	100	100.9	100.9	99.5	100.3	100.1	100.5	102.4	99	103.6	100.4

Анализ периода 2015–2023 годов показывает значительные колебания в приросте различных факторов, отражающие изменение структуры и динамики сельскохозяйственного производства в России. Для более системного понимания изменений важно оценить каждый фактор в отдельности, что позволит лучше раскрыть влияние современных тенденций на показатели отрасли. Абсолютный прирост продукции сельского хозяйства за период составил 7315,6 млрд руб., что свидетельствует о значительном увеличении валового производства, однако с замедлением в 2023 году, когда зафиксировано снижение на 222,2 млрд руб. (на 2,6 %) по сравнению с 2022 годом. Это может быть связано с волатильностью рынков и экономической ситуацией. Наибольший прирост наблюдался в 2021 году (1204,1 млрд руб.), что в значительной степени объясняется высоким уровнем инвестиций и вво-

дом новых технологий. В 2023 году отрицательная динамика продукции подчеркивает необходимость стабилизации показателей через технологическое обновление и диверсификацию производства.

Численность занятых в сельском хозяйстве уменьшилась на 18,3 % за анализируемый период, и к 2023 году зафиксировано небольшое увеличение на 70 тыс. человек, что может указывать на тенденцию к стабилизации численности работников на фоне растущей автоматизации. Однако общий тренд остается на снижении доли трудоемкости, что подтверждается отрицательной корреляцией с ростом продукции (–0,834). Этот фактор наряду с технологическим прогрессом, подчеркивает необходимость повышения квалификации работников и адаптации трудовых ресурсов к новым требованиям сельскохозяйственного производства.

Абсолютные значения динамики показателей сельского хозяйства за 2015–2023 гг.

Показатели	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Сумма прироста за 2015–2023 гг.	2023 к 2015, %	Средне-годовые темпы роста, %
Продукция сельского хозяйства в текущих ценах, млрд руб.	317,7	-2,8	239,3	452,6	667,4	1204,1	890,6	-222	3768,9	280,3	117,2
Стоимость основных фондов в текущих ценах, млрд руб.	259,8	196	316,5	411	313	410,8	473,3	212,2	2380,4	182,2	109,9
Среднегодовая численность занятых, тыс. чел.	-10	-409	-135	-134	-201	-64	-16	70	-969	160,0	98,5
Посевные площади сельскохозяйственных культур (в хозяйствах всех категорий), тыс. га	677	737	-415	254	60	435	1907	-845	3655	281,7	104,4

Table 3
Absolute values of the dynamics of agricultural indicators for 2015–2023

Indicators	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Amount of increase for 2015–2023	2023 to 2015, %	Average annual growth rate, %
Agricultural output at current prices, billion rubles	317.7	-2.8	239.3	452.6	667.4	1204.1	890.6	-222	3768.9	280.3	117.2
Value of fixed assets at current prices, billion rubles	259.8	196	316.5	411	313	410.8	473.3	212.2	2380.4	182.2	109.9
Average annual number of employed, thousand people	-10	-409	-135	-134	-201	-64	-16	70	-969	160.0	98.5
Area under agricultural crops (in farms of all categories), thousand hectares	677	737	-415	254	60	435	1907	-845	3655	281.7	104.4

Посевные площади увеличились на 3,6 % (2810 тыс. га), при этом в 2023 году зафиксировано сокращение на 845 тыс. га относительно 2022 года, что может быть связано с оптимизацией использования земли. Наибольший прирост площади пришелся на 2022 год (1907 тыс. га), что отразило увеличение спроса на продукцию. Сокращение в 2023 году указывает на тенденцию к интенсификации, что снижает зависимость от расширения земельных ресурсов и акцентирует внимание на более продуктивных методах обработки земли.

Ключевые выводы:

1. Неравномерность приростов. Максимальный прирост валовой продукции в 2021 году не совпал с пиком по другим факторам, что свидетельствует о сложной и разнонаправленной динамике их влияния. В частности, сокращение посевных площадей в 2023 году при стабильном росте фондов подчеркивает переход к интенсивным методам земледелия.

2. Корреляция факторов. Сильная корреляция между ростом основных фондов и продукцией (0,780) подтверждает важность капитальных вло-

жений, однако необходимость структурных изменений становится очевидной. Численность занятых остается менее значимым фактором (с корреляцией 0,589), что подчеркивает переход к механизированному и автоматизированному труду. Взаимосвязь между посевными площадями и продукцией остается слабой (0,291), что говорит о снижении роли земельных ресурсов в пользу технологий.

Эти данные указывают на необходимость дальнейшей оптимизации структуры основных фондов и применения продвинутых технологий, чтобы компенсировать сокращение трудовых ресурсов и эффективно управлять земельными площадями.

Согласно расчетам, приведенным в таблице 4, сельское хозяйство России за период 2015–2023 годов демонстрировало устойчивый рост базисных факторов производства, однако в 2023 году наблюдается замедление и даже снижение по отдельным показателям. Основную роль в увеличении валовой продукции по-прежнему играют капитал и земля, однако изменения в их динамике указывают на переход к более капиталоемким технологиям и снижению зависимости от расширения посевных площадей.

Таблица 4

Таблица пропорций факторов в сельском хозяйстве России в период 2015–2023 гг. (в расчете на тыс. занятых в сельском хозяйстве)

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 к 2015 г., %
Продукция сельского хозяйства в текущих ценах, млн руб.	0,98	1,05	1,14	1,23	1,38	1,61	1,94	2,18	2	222,6
Темпы изменений (прироста/снижения), %	–	107,1	108,6	107,9	112,2	116,7	120,5	112,4	109,8	–
Среднегодовая численность занятых, чел.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	–
Стоимость основных фондов в текущих ценах, млн руб.	0,47	0,52	0,61	0,71	0,83	0,95	1,06	1,19	1,24	253,9
Темпы изменений (прироста/снижения), %	–	110,6	117,3	116,4	116,9	114,5	111,6	112,3	116,5	–
Посевные площади сельскохозяйственных культур (в хозяйствах всех категорий), га	16,0	16,2	17,9	18,3	19,0	19,9	20,4	20,9	20,7	130,4
Темпы изменений (прироста/снижения), %	–	101,3	110,5	102,2	103,8	104,7	102,5	102,5	102,1	–

Экономика

Table 4

Table of proportions of factors in Russian agriculture in the period 2015–2023 (per thousand employed in agriculture)

Indicators	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 to 2015, %
Agricultural output at current prices, million rubles	0.98	1.05	1.14	1.23	1.38	1.61	1.94	2.18	2	222.6
Rate of change (increase/decrease), %	–	107.1	108.6	107.9	112.2	116.7	120.5	112.4	109.8	–
Average annual number of employed, persons	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	–
Value of fixed assets at current prices, million rubles	0.47	0.52	0.61	0.71	0.83	0.95	1.06	1.19	1.24	253.9
Rate of change (increase/decrease), %	–	110.6	117.3	116.4	116.9	114.5	111.6	112.3	116.5	–
Area under agricultural crops (in farms of all categories), ha	16.0	16.2	17.9	18.3	19.0	19.9	20.4	20.9	20.7	130.4
Rate of change (increase/decrease), %	–	101.3	110.5	102.2	103.8	104.7	102.5	102.5	102.1	–

Рост капитала и земли. Стоимость основных фондов увеличилась более чем в два раза (прирост по сравнению с 2015 годом составил 212,9 %). Доля посевных площадей выросла на 3,6 %, что также подтверждает переход к интенсивным методам земледелия. Тем не менее в 2023 году зафиксировано сокращение посевных площадей на 0,96 % по сравнению с 2022 годом, что указывает на оптимизацию земельного использования. Динамика капиталовложений в 2023 году показывает умеренное увеличение основных фондов на 4,2 %, что свидетельствует о стабилизации в структуре капитальных вложений.

Неравномерность прироста факторов. Темпы роста валовой продукции не всегда соответствуют изменениям в основных фондах и площадях. В 2023 году продукция сократилась на 2,75 %, несмотря на рост капитала и стабилизацию численности занятых. Это указывает на комплексный характер влияния факторов, в частности, на возможное замедление роста эффективности капиталовложений и трудоемкость процессов, требующих обновленных технологий для повышения производительности.

Фондовооруженность и продуктивность.

В 2023 году фондовооруженность на одного занятого увеличилась до 1,24 млн руб., что подтверждает рост капиталоемкости на одного работника. Тем не менее сокращение продукции и посевных площадей показывает, что эффективность капитала еще нуждается в повышении. Корреляция между фондовооруженностью и выработкой на одного занятого остается высокой, однако требуется оптимизация структуры фондов с акцентом на технику и технологии, которые могли бы дать более устойчивый эффект на рост производительности.

Противоречивая динамика трудового фактора. Численность занятых увеличилась в 2023 году на 1,8 % по сравнению с 2022 годом, что указывает на стабилизацию этого показателя. Тем не менее продолжение механизации и автоматизации остается необходимым для компенсации сокращения труда в долгосрочной перспективе. Это особенно важно, учитывая замедление прироста продукции на фоне роста капитала, что указывает на неполное замещение живого труда.

Таблица пропорций факторов в сельском хозяйстве России в период 2015–2023 гг. (в расчете на единицу валовой продукции сельского хозяйства)

Показатели	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 к 2015 г., %
Продукция сельского хозяйства, млн руб.	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
ОПФ, млн руб.	0,48	0,50	0,54	0,57	0,60	0,59	0,55	0,55	0,58	114,0
Среднегодовая численность занятых, чел.	1,02	0,96	0,88	0,81	0,73	0,62	0,51	0,46	0,47	44,9
Посевные площади сельскохозяйственных культур (в хозяйствах всех категорий, га)	16,40	15,51	15,67	14,89	13,77	12,36	10,48	9,61	9,54	58,6
Количество рабочих мест	4,56	4,28	4,09	4,06	3,69	3,51	2,86	2,49	2,52	54,6
Количество фактически отработанного времени, человеко-часов	4170,7	3899,0	3737,7	3558,2	3200,1	2886,9	2390,9	2116,1	2059,8	50,7

Table 5
Table of proportions of factors in agriculture in Russia in the period 2015–2023 (calculated per unit of agricultural gross output unit)

Indicators	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 to 2015, %
Agricultural output, million rubles	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Property assets, million rubles	0.48	0.50	0.54	0.57	0.60	0.59	0.55	0.55	0.58	114.0
Average annual number of employed, people	1.02	0.96	0.88	0.81	0.73	0.62	0.51	0.46	0.47	44.9
Area under agricultural crops (in farms of all categories, ha)	16.40	15.51	15.67	14.89	13.77	12.36	10.48	9.61	9.54	58.6
Number of jobs	4.56	4.28	4.09	4.06	3.69	3.51	2.86	2.49	2.52	54.6
Amount of time actually worked, man-hours	4170.7	3899.0	3737.7	3558.2	3200.1	2886.9	2390.9	2116.1	2059.8	50.7

Влияние структурных изменений. Повышение капиталоемкости продукции сопровождается лишь частичным ростом фондоотдачи, что связано с преобладанием пассивных активов (здания и сооружения) в составе фондов. В будущем для повышения эффективности капитала потребуется уделить внимание активным элементам фондов, таким как техника и новые технологии.

Таким образом, анализ сельскохозяйственного производства в России за 2015–2023 годов показывает, что, несмотря на значительное увеличение капитала и расширение посевных площадей, производительность сталкивается с новыми вызовами. Для достижения устойчивого роста необходимо продолжать модернизацию фондов, оптимизацию трудовых и земельных ресурсов, а также внедрение технологий, способных обеспечить устойчивое замещение труда в аграрном секторе.

Таблица 5 демонстрирует пропорции основных факторов, задействованных в сельскохозяйственном производстве России, в расчете на единицу валовой продукции (ВП) за период 2015–2023 гг.

Данные показывают значительные изменения в структуре затрат на производство одного миллиона рублей сельскохозяйственной продукции, которые отражают как рост капиталоемкости, так и снижение трудоемкости и землеемкости.

Рост капиталоемкости. В 2023 году для производства одного миллиона рублей продукции потребовалось 0,58 млн руб. основных фондов, что на 20,8 % больше по сравнению с 2015 годом. Этот рост указывает на растущую капиталоемкость аграрного производства, однако значительное увеличение капитальных затрат на фоне снижения валового выпуска продукции (–2,75 %) требует анализа эффективности вложений. Растущая капиталоемкость не всегда сопровождается соответствующим ростом производительности, что может быть связано с консервативной структурой основных фондов, где большая доля инвестиций направляется на пассивные активы (здания и сооружения) вместо активных элементов (техника, оборудование и технологии).

Таблица 6

Динамика коэффициентов корреляции между продукцией сельского хозяйства в текущих ценах и базисными факторами в 2000–2023 гг.

Показатели	2000–2023	2000–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2020	2020–2023
Стоимость ОПФ по виду экономической деятельности «Растениеводство и животноводство, охота и предоставление соответствующих услуг в этих областях» в текущих ценах	0,992	0,803	0,951	0,926	0,959	0,992
Среднегодовая численность занятых в сельском хозяйстве, охоте	-0,893	-0,997	-0,980	-0,963	-0,844	-0,970
Количество рабочих мест	0,764	-0,999	-0,986	0,705	0,721	-0,998
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата	0,997	0,988	0,978	0,979	0,946	0,980
Посевные площади с/х культур, тыс. га	0,156	-0,933	0,536	0,892	0,436	0,907

Экономика

Table 6

Dynamics of correlation coefficients between agricultural output at current prices and basic factors in 2000–2023

Indicators	2000–2023	2000–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2020	2020–2023
Cost of fixed assets by type of economic activity "Crop and livestock production, hunting and provision of related services in these areas" in current prices	0.992	0.803	0.951	0.926	0.959	0.992
Average annual number of employed agriculture, hunting	-0.893	-0.997	-0.980	-0.963	-0.844	-0.970
Number of jobs	0.764	-0.999	-0.986	0.705	0.721	-0.998
Average monthly nominal accrued wages	0.997	0.988	0.978	0.979	0.946	0.980
Area of sown with agricultural crops; thousand hectares	0.156	-0.933	0.536	0.892	0.436	0.907

Снижение трудоемкости и землеемкости. В 2023 году численность занятых и посевные площади на единицу продукции продолжили снижаться: численность занятых снизилась до 47 % от уровня 2015 года, а посевные площади сократились на 0,96 % по сравнению с 2022 годом. Эти показатели свидетельствуют о переходе к более интенсивным методам производства и автоматизации процессов, что особенно заметно в сегментах тепличного хозяйства и плодоводства, где требуется меньше земли и труда. Тем не менее в 2023 году сокращение площадей при одновременном росте капитальных затрат указывает на необходимость дальнейшей оптимизации для более сбалансированного использования ресурсов.

Производительность труда. Количество фактически отработанных человеко-часов сократилось до 2059,8 на единицу продукции, что подтверждает рост производительности труда. Тем не менее снижение объемов продукции в 2023 году (-2,75 %) на фоне роста капитальных вложений требует дальнейшего анализа, так как указывает на необходимость модернизации активных фондов для повышения фондоотдачи.

Ключевые выводы:

1. Капиталоемкость и снижение трудо- и землеемкости. Показатели подтверждают переход к более капиталоемким и менее трудоемким технологиям. При этом неравномерное распределение капитала между активными и пассивными активами, а также более медленное обновление активных элементов основных фондов остаются вызовом для отрасли.

2. Эффективность капитала и структура основных фондов. Растущая капиталоемкость не всегда ведет к пропорциональному увеличению производительности, что связано с высокой долей пассивных активов. Важно сосредоточить усилия на увеличении доли активных фондов (техники и технологий) для повышения эффективности.

3. Необходимость модернизации активных элементов. Модернизация активных элементов основных фондов позволит повысить фондоотдачу и устойчивость аграрного сектора, особенно с учетом сниженного объема валовой продукции в 2023 году.

4. Оптимизация затрат и повышение эффективности. Для устойчивого роста необходимо переориентировать капитальные вложения на активные элементы, внедрять автоматизацию и совершен-

ствовать методы производства. Это позволит компенсировать недостаток трудовых и земельных ресурсов, повысить фондоотдачу и поддерживать стабильный рост производства в сельском хозяйстве.

Таким образом, данные 2023 года подчеркивают необходимость целенаправленного подхода к распределению капитала, фокусируясь на модернизации активных фондов и переходе к интенсивным технологиям.

В таблице 6 приведены данные о коэффициентах корреляции между валовой продукцией сельского хозяйства в текущих ценах и базисными факторами (стоимость основных фондов, численность занятых, количество рабочих мест, заработная плата и посевные площади) за период с 2000 по 2023 год. Проведенный анализ позволяет выявить ключевые тренды и изменения во влиянии различных факторов на динамику сельскохозяйственного производства.

Наибольшее влияние на динамику продукции сельского хозяйства оказала стоимость основных фондов. Корреляция между валовой продукцией и основными фондами за весь период (2000–2023 гг.) составила +0,992, что указывает на сильную положительную связь. Это подтверждает, что капиталоемкость сельского хозяйства за анализируемый период существенно возросла, а увеличение инвестиций в основные фонды напрямую способствует росту производительности. За 2020–2023 годы этот показатель оставался на уровне +0,992, что указывает на стабильное влияние капитала на рост продукции.

Среднегодовая численность занятых в сельском хозяйстве продемонстрировала отрицательную корреляцию с валовой продукцией (–0,893 за весь период). Это подтверждает наблюдаемую тенденцию к сокращению численности работников и автоматизации производства. Наибольшее отрицательное влияние численность занятых оказывала в период с 2000 по 2005 год (–0,997), что может быть связано с начальным этапом технологической модернизации. В 2020–2023 годах корреляция осталась отрицательной (–0,970), что подтверждает продолжающийся процесс сокращения численности занятых на фоне роста производительности.

Корреляция между количеством рабочих мест и валовой продукцией за весь период составила +0,764, что указывает на положительное влияние. Однако интересно отметить, что в отдельные периоды (2000–2005 и 2006–2010 годы) корреляция была отрицательной (–0,999 и –0,986 соответственно). Это может быть связано с этапом структурных изменений и адаптацией рабочих мест к новым технологиям. В 2020–2023 годы корреляция снова стала отрицательной (–0,998), что указывает на дальнейшее снижение роли рабочих мест в аграрном секторе.

Выводы:

1. Капитал играет ключевую роль в росте сельскохозяйственной продукции. Стоимость основных фондов имеет наибольшее влияние на динамику продукции сельского хозяйства, что свидетельствует о продолжающемся процессе технологической модернизации и автоматизации. Увеличение капитальных вложений напрямую связано с ростом производительности.

2. Сокращение численности занятых сопровождается лишь частичным увеличением производительности, так как автоматизация и технологическое развитие пока не полностью компенсируют сокращение рабочей силы. Высокая трудоемкость отдельных процессов требует дальнейшей автоматизации для обеспечения стабильного роста производительности.

3. Заработная плата остается значимым фактором для поддержания квалифицированной рабочей силы, особенно в условиях внедрения технологий, требующих дополнительных навыков. Это способствует повышению производительности за счет оптимального сочетания человеческого труда и техники.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Выполненное исследование вносит важный вклад в развитие теоретической и прикладной науки, предложив системный подход к анализу взаимосвязи между трудом и капиталом в сельском хозяйстве России. Разработанная методология позволяет глубже понять процессы замещения труда капиталом и их влияние на устойчивое развитие аграрного сектора. Однако для практического повышения эффективности сельского хозяйства России необходимо внести следующие рекомендации:

1. Для повышения производительности сельского хозяйства необходимо не только увеличение объема инвестиций, но и качественное обновление основных фондов. Важно направлять капитал на модернизацию активной части основных фондов, включая технику, оборудование и технологии, что позволит более эффективно заменять трудовые ресурсы. Необходимо усилить внедрение современных технологий, таких как автоматизированные системы управления и точное земледелие, что позволит значительно сократить зависимость от человеческого труда и повысить эффективность использования земельных ресурсов.

2. В условиях автоматизации и внедрения новых технологий важно уделять внимание повышению квалификации работников. Необходимо разработать программы обучения и переподготовки кадров, чтобы они могли эффективно работать с новым оборудованием и технологиями.

3. В условиях ограниченности посевных площадей следует развивать интенсивные методы ведения сельского хозяйства, такие как тепличное

хозяйство и агропромышленные комплексы. Это позволит повысить урожайность и продуктивность на имеющихся земельных ресурсах.

4. Необходимо укрепить государственную поддержку сельскохозяйственных предприятий через субсидии, налоговые льготы и доступное кредитование. Эти меры будут способствовать увеличению инвестиций в модернизацию и инновации в аграрном секторе.

Пропорции базисных факторов сельского хозяйства – земли, труда и капитала – оказывают критическое влияние на динамику развития отрасли и определяют возникающие проблемы. Нарушение этих пропорций может привести к негативным последствиям, таким как снижение производительности и эффективности. Пропорции между факторами выступают важнейшим индикатором для оценки состояния и перспектив развития сельского хозяйства. Анализ данных за период 2000–2023 годов показал, что для российского сельского хозяйства ключевую роль в росте продукции играет капитал, что подтверждается высокой корреляцией между стоимостью основных производственных фондов (ОПФ) и валовой продукцией сельского хозяйства (+0,992). В то же время наблюдается отрицательная корреляция с численностью занятых (–0,893), что указывает на снижение роли труда в производственном процессе. Посевные площади также оказались слабо связаны с ростом продукции, что подтверждается коэффициентом корреляции +0,156. Это свидетельствует о переходе к более капиталоемким и технологичным методам ведения сельского хозяйства.

За исследуемый период произошло значительное увеличение доли капитала в структуре сельского хозяйства. Стоимость основных фондов на единицу продукции увеличилась на 114 %, что указывает на рост зависимости от капитала. Это привело

к снижению значимости труда и земли. В 2022 году для производства одного миллиона рублей продукции потребовалось на 50,7 % меньше рабочего времени и на 41,4 % меньше посевных площадей, чем в 2015 году. Эти изменения свидетельствуют о постепенной трансформации аграрного сектора в сторону более капиталоемкой модели.

Несмотря на общий рост капитальных вложений, структура основных фондов остается консервативной. Значительная доля инвестиций направляется на пассивные активы, такие как здания и сооружения, тогда как обновление активной части (техника, оборудование) происходит медленнее. Это способствует росту капиталоемкости продукции, но не всегда приводит к пропорциональному росту фондоотдачи. Для повышения эффективности необходимо оптимизировать структуру капитальных вложений, акцентируя внимание на модернизацию активных элементов.

Таким образом, результаты анализа указывают на то, что российское сельское хозяйство все еще развивается в рамках традиционной модели, основанной на сочетании труда, земли и капитала, с постепенно возрастающей ролью капитала. Снижение трудоемкости и землеемкости сопровождается ростом капиталоемкости, что подтверждается увеличением стоимости основных фондов. Однако для перехода на более инновационную и инвестиционную модель развития необходимы дальнейшее улучшение структуры капитальных вложений и внедрение технологий, способных полностью заменить труд в аграрном секторе. Будущее сельского хозяйства связано с переходом к более интенсивным технологиям, которые позволят эффективнее использовать имеющиеся ресурсы и повысить производительность, что потребует значительных инвестиций в обновление активной части основных фондов и развитие новых технологий.

Библиографический список

1. World Economic Forum. Jobs of tomorrow: The triple returns of social jobs in the economic recovery. White Paper. Geneva, 2022. URL: <https://www.weforum.org/whitepapers/jobs-of-tomorrow> (дата обращения: 01.07.2024).
2. Джураев А. Д., Скляр В. Д., Янковский П. С. Экономические санкции 2022 года в отношении России: принятые решения, последствия и перспективы // Экономика и бизнес: теория и практика. 2022. № 6-1 (88). С. 133–136. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-6-1-133-136.
3. Земцов С. П., Баринаева В. А., Михайлов А. А. Санкции, уход иностранных компаний и деловая активность в регионах России // Экономическая политика. 2023. Т. 18, № 2. С. 44–79. DOI: 10.18288/1994-5124-2023-2-44-79.
4. Маркс К. Капитал: критика политической экономии / Пер. с нем. Ф. Д. Благой. Изд. 2-е. Москва: Политиздат, 1978. Т. 1. 847 с.
5. Ignaciuk A., Ilicic J., Asprooth L., Sitko N. J., Bernard A., Maggio G., Tubiello F. N., Mueller M. Progress towards sustainable agriculture – drivers of change // FAO Agricultural Development Economics Technical Study. 2021. No. 13. DOI: 10.4060/cb7896en.
6. Timmer C. P. The Agricultural Transformation and Rural Development // World Development. 2018. Vol. 112. DOI: 10.1016/j.worlddev.2018.08.020.
7. Gollin D., Parente S., Rogerson R. The Role of Agriculture in Development // American Economic Review. 2020. Vol. 92, No. 2. Pp. 160–164. DOI: 10.1257/aer.92.2.160.

8. Шик О. В. Влияние государственной поддержки на сельскохозяйственных производителей и потребителей в России // Вопросы экономики. 2023. № 4. С. 67–84. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-4-67-84.
9. Гаврилова Н. Г. Сельское хозяйство Нигерии в постпандемическом мире: приоритетные направления поддержки мелких фермеров // Никоновские чтения. 2023. № 28. С. 312–318.
10. Шалимов В. О., Ползиков Д. А. Технологическая модернизация сельского хозяйства и её влияние на развитие сельских территорий в России // Никоновские чтения. 2023. № 28. С. 188–192.
11. Рожко М. В., Рубцов В. А. Инфраструктурная составляющая при оценке региональной конкурентоспособности // Географические основы изучения инфраструктуры: сборник статей. Ижевск, 2023. С. 44–64.
12. Лазарева И. Е., Мина В. Н. Влияние санкционной политики на изменения в налоговом кодексе Российской Федерации в 2022 году // Экономика, менеджмент, сервис: современные проблемы и перспективы: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Омск, 2022. С. 314–317.
13. Orlova N. V., Nikolaev D. V. Russian agricultural innovations prospects in the context of global challenges: Agriculture 4.0 // Russian Journal of Economics. 2022. Vol. 8, No. 1. Pp. 29–48.
14. Шумилина В. Е., Герасимик А. А. Влияние санкций на экономику России // Наука и мир. 2022. № 2. С. 21–25. DOI: 10.26526/2307-9401-2022-2-21-25.
15. Моисеенко С. Л., Малышева Н. П., Мустафина О. В. [и др.] Современный подход к формированию методологии учетно-аналитической системы коммерческой организации с использованием цифровых технологий. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2022. 298 с.
16. Klimentova E. A., Dubovitsky A. A., Babushkin V. A., et al. Factors of spatial location of agriculture: data from Russia // European Proceedings of Social and Behavioural Sciences: Proceedings of the Conference on Land Economy and Rural Studies Essentials (LEASECON 2021). Vol. 124. Omsk, 2022. Pp. 376–384.
17. Статистические издания РОССТАТ. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226> (дата обращения: 11.07.2023).
18. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. URL: <https://mcs.gov.ru/> (дата обращения: 01.07.2024).
19. Российская Федерация. Министерство экономического развития Российской Федерации. Итоги внешнеэкономической деятельности Российской Федерации в 2020 году и I полугодии 2021 года. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/ab03f167412ee7c9c60d8caf776bab70/itogi_ved_v_2020g_i_1_pologodie_2021.pdf (дата обращения: 01.07.2024).

Об авторах:

Екатерина Михайловна Кот, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой экономики, бухгалтерского учета и финансового контроля, главный бухгалтер, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-7143-5149, AuthorID 648308.

E-mail: ktekaterina@rambler.ru

Тахир Хаятович Тогузаев, доктор экономических наук, профессор кафедры экономической теории, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, Нальчик, ORCID 0000-0003-0851-616X, AuthorID 452246. E-mail: tahir07@mail.ru

Мадина Шариповна Газиева, кандидат экономических наук, доцент кафедры управления, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, Нальчик, Россия; 0000-0002-8868-4309, AuthorID 452246. E-mail: mtramova@yahoo.com

Виктория Вячеславовна Калицкая, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики социальной сферы, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-5597-8610, AuthorID 925922. E-mail: kalitskaja2010@yandex.ru

Людмила Алексеевна Степанова, старший преподаватель кафедры экономики социальной сферы, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-5172-6635, AuthorID 797757. E-mail: ludmila-stepanov@mail.ru

References

1. World Economic Forum. *Jobs of tomorrow: The triple returns of social jobs in the economic recovery. White Paper* [Internet]. Geneva: World Economic Forum, 2022 [cited 2024 Jul 1]. Available from: <https://www.weforum.org/whitepapers/jobs-of-tomorrow>.
2. Dzhurayev A. D., Sklyar V. D., Yankovskiy P. S. Economic sanctions of 2022 against Russia: decisions taken, consequences and prospects. *Economics and Business: Theory and Practice*. 2022; 6-1 (88): 133–136. DOI: 10.24412/2411-0450-2022-6-1-133-136. (In Russ.)
3. Zemtsov S. P., Barinova V. A., Mikhaylov A. A. Sanctions, exit of foreign companies and business activity in the Russian regions. *Economic Policy*. 2023; 18 (2): 44–79. DOI: 10.18288/1994-5124-2023-2-44-79. (In Russ.)

4. Mars K. *Capital: critique of political economy*. 2nd ed. Translated from German by F. D. Blagoy. Vol. 1. Moscow: Politizdat, 1978. 847 p. (In Russ.)
5. Ignaciuk A., Ilicic J., Asprooth L., Sitko N. J., Bernard A., Maggio G., Tubiello F. N., Mueller M. Progress towards sustainable agriculture – drivers of change. *FAO Agricultural Development Economics Technical Study*. 2021; 13. DOI: 10.4060/cb7896en.
6. Timmer C. P. The Agricultural Transformation and Rural Development. *World Development*. 2018; 112. DOI: 10.1016/j.worlddev.2018.08.020.
7. Gollin D., Parente S., Rogerson R. The Role of Agriculture in Development. *American Economic Review*. 2020; 92 (2): 160–164. DOI: 10.1257/aer.92.2.160.
8. Shik O. V. Impact of state support on Russian agricultural producers and consumers. *Voprosy Ekonomiki*. 2023; 4: 67–84. DOI: 10.32609/0042-8736-2023-4-67-84. (In Russ.)
9. Gavrilova N. G. Agriculture of Nigeria in the post-pandemic world: priority directions of support for small farmers. *Nikonovsky Readings*. 2023; 28: 312–318. (In Russ.)
10. Shalimov V. O., Polzikov D. A. Technological modernization of agriculture and its impact on rural development in Russia. *Nikonovsky Readings*. 2023; 28: 188–192. (In Russ.)
11. Rozhko M. V., Rubtsov V. A. Infrastructure component in assessing regional competitiveness. In: *Geographical Foundations of Studying Infrastructure: collection of articles*. Izhevsk, 2023. Pp. 44–64. (In Russ.)
12. Lazareva I. E., Mina V. N. The impact of sanction policy on changes in the Tax Code of the Russian Federation in 2022. In: *Economics, Management, Service: Modern Problems and Prospects: materials of the IV All-Russian scientific-practical conference*. Omsk, 2022. Pp. 314–317. (In Russ.)
13. Orlova N. V., Nikolaev D. V. Russian agricultural innovations prospects in the context of global challenges: Agriculture 4.0. *Russian Journal of Economics*. 2022; 8 (1): 29–48.
14. Shumilina V. E., Gerasimik A. A. The impact of sanctions on Russia's economy. *Science and the World*. 2022; 2: 21–25. DOI: 10.26526/2307-9401-2022-2-21-25. (In Russ.)
15. Moiseenko S. L., Malysheva N. P., Mustafina O. V., et al. *Modern approaches to the formation of the accounting and analytical system of a commercial organization using digital technologies*. Ekaterinburg: Ural State University of Economics, 2022. 298 p. (In Russ.)
16. Klimentova E. A., Dubovitsky A. A., Babushkin V. A., et al. Factors of spatial location of agriculture: data from Russia. In: *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences: proceedings of the Conference on Land Economy and Rural Studies Essentials (LEASECON 2021)*. Omsk, 2022. Vol. 124. Pp. 376–384.
17. *Federal State Statistics Service (ROSSTAT)* [Internet] [cited 2023 Jul 11]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13226>. (In Russ.)
18. *Ministry of Agriculture of the Russian Federation* [Internet] [cited 2024 Jul 1]. Available from: <https://mcx.gov.ru>. (In Russ.)
19. *Russian Federation. Ministry of Economic Development of the Russian Federation. Results of foreign economic activity of the Russian Federation in 2020 and the first half of 2021* [Internet] [cited 2024 Jul 1]. Available from: https://www.economy.gov.ru/material/file/ab03f167412ee7cbc60d8caf776bab70/itogi_ved_v_2020g_i_1_polugodie_2021.pdf. (In Russ.)

Authors' information:

Ekaterina M. Kot, doctor of economic sciences, associate professor, head of the department of economics, accounting and financial control, chief accountant, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-7143-5149, AuthorID 648308. *E-mail: ktekaterina@rambler.ru*

Takhir Kh. Toguzayev, doctor of economic sciences, professor of the department of economic theory, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov, Nalchik, Russia; ORCID 0000-0003-0851-616X, AuthorID 452246. *E-mail: tahir07@mail.ru*

Madina Sh. Gazaeva, candidate of economic sciences, associate professor of the department of management, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov, Nalchik, Russia; 0000-0002-8868-4309, AuthorID 452246. *E-mail: mtramova@yahoo.com*

Viktoriya V. Kalitskaya, candidate of economic sciences, associate professor of the department of economics of the social sphere, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, ORCID 0000-0001-5597-8610, AuthorID 925922. *E-mail: kalitskaja2010@yandex.ru*

Lyudmila A. Stepanova, senior lecturer of the department of economics of the social sphere, Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-5172-6635, AuthorID 797757. *E-mail: ludmila-stepanov@mail.ru*

Традиционные и современные экспортные возможности аграрной сферы (на примере Тюменской области)

Л. Б. Медведева[✉], Л. Г. Агапитова, О. Н. Гончаренко

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

[✉]E-mail: medvedeva_lb@mail.ru

Аннотация. Сельское хозяйство Тюменской области является динамично развивающимся как в сфере растениеводства, так и в сфере животноводства. Это позволяет не только повышать продовольственную безопасность (как региона, так и страны в целом) в обеспечении населения продуктами питания и сырьём для других отраслей экономики, но и наращивать экспортный потенциал региона. **Цель** исследования – изучение традиционных и современных экспортных возможностей аграрной сферы Тюменской области. **Задачи:** 1) определить исторические экспортные возможности АПК региона; 2) выявить динамику и структуру экспортного потенциала современного АПК региона; 3) определить рейтинг Тюменской области в экспорте сельскохозяйственной продукции УрФО. Для реализации цели использовались данные, собранные из различных открытых источников государственных органов власти, Федеральной службы государственной статистики, а также нормативно-законодательные материалы, данные Департамента АПК Тюменской области. **Методами** исследования выступили исторический, историко-сравнительный, аналитический, статистико-экономический методы, контент-анализ и рейтинговый анализ. **Научная новизна** состоит в поэтапном применении аналитических инструментов из смежных научных дисциплин, которые позволили в рамках модернизационной теории систематизировать информацию об аграрном экспортном потенциале Тюменской области и выявить его точки роста, установив рейтинговые места региона в экспорте сельскохозяйственной продукции в Уральском федеральном округе. **Результаты.** Рассмотрены исторические аспекты развития экспортного потенциала территорий нынешней Тюменской области, проведено аналитическое исследование, дана оценка масштабов, динамики и структуры экспорта сельскохозяйственной продукции Тюменской области в натуральном и денежном выражении в настоящее время. Период охвата отдельных исследований – с 2000 года. На основе исследования экспорта областей Уральского федерального округа проведен рейтинговый анализ и установлен рейтинг Тюменской области по экспорту сельскохозяйственной продукции. Предложены точки роста экспортных возможностей Тюменской области.

Ключевые слова: экспорт, инвестиции, экспортные возможности, санкции, Тюменская область, импортозамещение, продовольственная безопасность, агропромышленный комплекс, сельскохозяйственная продукция, рейтинг

Благодарности. Авторы выражают благодарность директору департамента АПК Тюменской области В. Н. Чейметову, руководителям предприятий ООО «Агрофирма КРиММ» Г. А. Рязанову, генеральному директору АО «Птицефабрика Боровская» Е. Г. Несват, генеральному директору Заводоуковского маслозавода М. Н. Дошкину, директору АО «Аминосиб» А. Ю. Деменеву за предоставленную возможность работы со статистической и годовой отчетностью, используемой при написании данной статьи, а также за их личный опыт участия в формировании экспортных возможностей Тюменской области.

Для цитирования: Медведева Л. Б., Агапитова Л. Г., Гончаренко О. Н. Традиционные и современные экспортные возможности аграрной сферы (на примере Тюменской области) // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 319–336. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-319-336>.

Дата поступления статьи: 26.03.2024, **дата рецензирования:** 07.11.2024, **дата принятия:** 29.11.2024.

Traditional and modern export opportunities of the agricultural sector (on the example of the Tyumen region)

L. B. Medvedeva[✉], L. G. Agapitova, O. N. Goncharenko

Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

[✉]E-mail: medvedeva_lb@mail.ru

ЭКОНОМИКА

Abstract. The agriculture of the Tyumen region is dynamically developing both in the field of crop production and in the field of animal husbandry. This makes it possible to increase not only the food security of both the region and the country as a whole in providing the population with food and raw materials for other sectors of the economy, but also to increase the export potential of the region. **The purpose of the study** is to study the traditional and modern export opportunities of the agricultural sector of the Tyumen region. Tasks: 1) identify the historical export opportunities of the agro-industrial complex of the region; 2) to identify the dynamics and structure of the export potential of the modern agro-industrial complex of the region; 3) to determine the rating of the Tyumen region in the export of agricultural products of the Ural Federal District. To achieve this goal, data collected from various open sources of state authorities, the Federal State Statistics Service, as well as regulatory and legislative materials, data from the Department of Agriculture of the Tyumen region were used. **The research methods** were historical and historical-comparative, analytical, statistical-economic method, content analysis, rating analysis. **The scientific novelty** lies in the systematization of information about the agricultural export potential of the Tyumen region, the establishment of the rating place of the Tyumen region for the export of agricultural products in the Ural Federal District, the identification of points of growth of the agricultural export potential of the Tyumen region. **Results.** The historical aspects of the development of the export potential of the territories of the current Tyumen region are considered, an analytical study is conducted and an assessment of the scale, dynamics and structure of exports of agricultural products of the Tyumen region in physical and monetary terms is given at the present time, the period of coverage of individual studies has been since 2000. Based on the study of the export of the regions of the Ural Federal District, a rating analysis was carried out and the rating of the Tyumen region for the export of agricultural products was established. The points of growth of export opportunities of the Tyumen region are proposed.

Keywords: exports, investments, export opportunities, sanctions, Tyumen region, import substitution, food security, agro-industrial complex, agricultural products, rating

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the director of the Department of Agriculture of the Tyumen region V. N. Cheymetov, and the heads of the enterprises of “Agrofirma KRiMM” LLC G. A. Ryazanov, general director of the “Borovskaya Poultry Farm” JSC E. G. Nesvat, general director of the Zavodoukovskiy butter factory M. N. Doshkin, director of “Aminosib” JSC A. Yu. Demenev for the opportunity to work with statistical and annual reports used in writing this article, as well as for their personal experience of participating in the formation of export opportunities of the Tyumen region.

For citation: Medvedeva L. B., Agapitova L. G., Goncharenko O. N. Traditional and modern export opportunities of the agricultural sector (on the example of the Tyumen region). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 319–336. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-319-336>. (In Russ.)

Date of paper submission: 26.03.2024, **date of review:** 07.11.2024, **date of acceptance:** 29.11.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

Экономическое и социально-политическое развитие России и ее регионов зависит от многих факторов, среди которых важнейшую роль играет продовольственная безопасность, зависящая не только от внутриэкономического благополучия страны, но и от внешнеэкономического фактора, направленного на получение доходов от внешней торговли. За последнее десятилетие правительством Российской Федерации были предприняты усилия, связанные с

развитием импортозамещения, что привело к увеличению расходов на развитие высокорентабельных отраслей и усилило поддержку национальных предприятий. Все это позволило производить продукцию, способную конкурировать на внешнем рынке. Программа импортозамещения в России с 2014 года наиболее активно реализуется в сельском хозяйстве. Реализация политики импортозамещения в аграрной сфере заключалась в масштабном технологическом обновлении, что не только по-

звонило повысить рост производительности труда в отрасли, но и смогло поднять уровень продовольственной безопасности страны и увеличить спрос на российскую продукцию на международном рынке: экспорт сельхозпродукции в 2021 году в четыре раза превысил уровень 2010 года. В 2020 году Россия впервые стала нетто-экспортером продовольствия [1].

Благодаря принятым мерам российский АПК устойчив к стрессам и способен эффективно развиваться: санкциям не удалось затормозить его развитие, что отмечал еще в конце прошлого года министр сельского хозяйства Дмитрий Патрушев. В 2023 год отрасль вошла с новой скорректированной стратегией развития: по поручению президента Владимира Путина до 2030 года производство в АПК должно расти не менее чем по 3 % в год (как было отмечено в Указе Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»). Национальным проектом «Международная кооперация и экспорт», включающим в себя федеральный проект «Экспорт продукции АПК», согласно новому паспорту проекта, к 2030 году экспорт российской продукции АПК должен увеличиться до 45 млрд долларов, в том числе продажи за рубеж зерновых предполагается нарастить в 1,5 раза до 11,4 млрд долларов, масложировой продукции – в 2,8 раза до 8,6 млрд долларов, продукции пищевой и перерабатывающей промышленности – в 2,5 раза до 8,6 млрд долларов, рыбы и морепродуктов – в 1,9 раза до 8,5 млрд долларов, мясной и молочной продукции – в 4,7 раза до 2,8 млрд долларов. Данные обстоятельства определяют актуальность определения экспортных возможностей АПК, в том числе и на региональном уровне. Так, Тюменская область вошла в десятку рейтинга регионов по уровню развития экспортного потенциала АПК в Российской Федерации.

Научно-теоретической базой настоящего исследования являются четыре группы научных источников, которые выделены в соответствии с основными научными задачами данного исследования.

Первую группу составляют научные работы, которые позволили проанализировать экспортные возможности продукции сельскохозяйственной отрасли в Российской Федерации. Изучение литературы по теме экспортного потенциала России и отдельно аграрной сферы дает основание утверждать, что данная проблема широко обсуждается на разного уровня конференциях, семинарах, представлена в научных статьях [2].

В октябре 2023 года прошел научный семинар «Особенности экспортного потенциала России» в Волгоградском научном центре РАН, в ходе которого были продемонстрированы результаты комплексной оценки экспорта на страновом и региональном

уровне, позволившие выделить ключевые особенности экспорта регионов России. По результатам оценки докладчиками была выявлена экспортная специализация России, связанная с большим ассортиментом производства простых изделий, а также сырья и минеральных продуктов. Ученые-экономисты, рассматривая тенденции развития современного сельскохозяйственного производства, в научных статьях установили прямую связь экспортных возможностей современного российского аграрного производства с политикой импортозамещения.

Проанализировав данную политику в контексте укрепления продовольственной безопасности страны и динамики развития импорта и экспорта агропродовольственной продукции, особенностями специализации, многие авторы констатировали, что повышение конкурентоспособности российской сельскохозяйственной и пищевой продукции на внутреннем и внешнем рынках – одно из важных государственных направлений развития экономики в условиях меняющегося глобального мира, волатильности на международных товарных рынках, санкционно-антисанкционной войны [3; 4].

Так, О. В. Святова, Д. И. Жиликов, Ю. В. Плахутина, О. В. Петрушина, Ю. В. Лисицын определили, что перспективными направлениями экспорта являются глубокая переработка зерна, муки, крупяных изделий, продукции масложировой, сахарной, крахмалопаточной, кондитерской отраслей промышленности, а также в отношении овощей и некоторых съедобных корнеплодов и клубнеплодов, о чем свидетельствуют приросты экспорта и снижение импорта по данным видам продукции [3]. С точки зрения анализа стоимостных соотношений отмечается, что самой результативной является торговля злаками, зависящей от производства зерна продукцией мукомольно-крупяной промышленности, сахара и кондитерских изделий из сахара, рыбы, ракообразных и моллюсков, а также жиров и масел животного и растительного происхождения. Кроме того, подчеркивается, что в последние годы наметились положительные тенденции по расширению экспорта мяса птицы, свинины и говядины, а основные регионы экспорта российской продукции располагаются в Азово-Черноморском бассейне, Каспийском море и Азиатско-Тихоокеанском бассейне.

Рассматривая региональную составляющую экспортного потенциала АПК России, хочется отметить работу О. Г. Чарыкова, М. Е. Отинова, А. А. Тютюникова, в которой авторы подчеркнули перспективность развития экспорта в сельском хозяйстве развитых аграрных регионов, дали оценку роста экспорта и вовлеченности страны в мирохозяйственные агропродовольственные рынки. Региональные особенности, связанные с экспортом сельскохозяйственной продукции и продуктов

питания в Алтайском крае, отметили И. В. Ковалева, В. А. Кундиус, А. Беляев, Р. Я. Вакуленко, З. И. Латышева, М. Н. Уварова, Ю. В. Плахутина. Они установили, что суммарный экспорт продовольственных товаров и сырья в регионах Центрального Федерального округа (ЦФО) увеличился на 75,8 % в 2021 году по сравнению с 2017 годом, а ключевыми регионами, обеспечивающими основную долю экспорта продовольственных товаров и сырья, являются Белгородская, Липецкая и Воронежская области [4; 5]. Анализ экспортных возможностей региональной аграрной сферы проводили уральские ученые Д. Р. Кричкер, О. А. Рушицкая [6] и другие.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых рассматривались аспекты экспорта в сфере АПК, позволяет сделать вывод о том, что экспортные возможности АПК Тюменской области не являлись предметом отдельного исследования. Тюменская область с 2014 года активно включилась в политику импортозамещения сельскохозяйственной продукции и нарастила определенный потенциал аграрного производства, что позволило аграриям региона выйти на мировые рынки. Федеральный центр «Агрэкспорт» обновил в 2023 году рейтинг регионов по уровню развития экспортного потенциала АПК. В трех группах, сформированных по объему аграрного производства, победителями стали Ростовская, Белгородская, Орловская, Липецкая, Вологодская, Тюменская, Ярославская и Псковская области, а также Приморский край [7].

Цель данного исследования заключается в изучении традиционных и современных экспортных возможностей аграрной сферы Тюменской области.

Для решения поставленной цели необходимо:

- 1) определить исторические экспортные возможности АПК региона;
- 2) выявить динамику и структуру экспортного потенциала современного АПК региона;
- 3) определить место (рейтинг) Тюменской области в экспорте сельскохозяйственной продукции Уральского федерального округа.

Научная гипотеза исследования строится на предположении, что развитие экспортных возможностей следует рассматривать в контексте сравнительного анализа региональных особенностей субъектов федерации Уральского федерального округа. Региональный аграрный сектор, анализируемый таким образом с позиций поэтапного применения различных инструментов из смежных научных дисциплин, позволит систематизировать в рамках модернизационной теории информацию об аграрном экспортном потенциале Тюменской области и выявить его точки роста, установив рейтинговые места региона в экспорте сельскохозяйственной продукции в Уральском федеральном округе, что будет способствовать формированию

региональной аграрной политики, ориентированной на более успешное продвижение к достижению международной конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции.

Методология и методы исследования (Methods)

Рассмотрение вопросов экономического положения отдельных регионов следует рассматривать через призму теории модернизации. Именно модернизация России, начавшаяся в XIX веке и прошедшая ряд этапов, определяла и по-прежнему определяет все аспекты социально-экономического и политического развития российского общества.

Использование междисциплинарного подхода позволило использовать аналитические инструменты из смежных научных дисциплин для более точного раскрытия масштабов, динамики и структуры экспорта сельскохозяйственной продукции Тюменской области в натуральном и денежном выражении как в настоящее время, так и в сравнении с наиболее высокими показателями в прошлом. В статье используются базовые для определения традиционных отраслей экспорта исторический и историко-сравнительный методы, а также аналитический и статистико-экономический методы, в том числе метод исследования рядов динамики, метод рейтингового анализа. В работе использовался метод контент-анализа материалов, находящихся в свободном доступе сети Интернет и позволяющий оценить важность заявленной темы. Материалами исследования послужили данные официальной статистики по сельскохозяйственному производству и экспорту за 2000–2021 годах, а также данные, размещенные на официальном сайте Правительства Тюменской области, официальном сайте Федеральной службы государственной статистики и в статистических справочниках.

Результаты (Results)

В силу сложившихся традиций, климатических условий Тобольская губерния специализировалась на производстве продукции сельского хозяйства, получая в обмен на них промышленные товары центра страны. Начиная со второй половины XIX века капиталистическая тенденция в экономике Тобольской губернии пускала глубокие корни. Сравнительно высокие темпы промышленного развития, интенсивное расширение товарных отношений в сельском хозяйстве продвинули регион далеко вперед. На начало XX века торговля в регионе, как и в предшествующие годы, концентрировалась в отпуске продуктов местных производств как на внутреннем рынке и за пределы губернии, так и на внешних рынках. Главнейшими товарами для внешней торговли служили зерновые хлеба – пшеница и овес, а также продукты сельского хозяйства и скотоводства, сливочное масло, мясо, кожи, сало, яйца, разного рода дичь, рыба, пушной товар, орехи, в небольшом количестве мамонтовая кость [8].

Продукты скотоводства, такие как кожи, сало и масло, составляли самые важные статьи торговли. Южные округа губернии со значительным успехом занимались данными отраслями сельского хозяйства, откармливая скот, закупаемый в том числе в Киргизской степи. Продуктом, который пользовался наибольшим успехом во внешней торговле, как отмечают исследователи, являлось сливочное масло. Сибирь превратилась в мировой центр экспорта сливочного масла [9].

Важное место в торговле занимало сырье, которое везли в основном с юга (сырые кожи, овечью шерсть, сало и т. д.) и на которое был большой спрос на ярмарках в Тюмени, Ирбите. Обороты богатых купцов только на кожах составляли десятки тысяч рублей. Менее богатые торговцы покупали шкуры на ближних ярмарках (в Ишиме, Ялуторовске и других местах), а затем перепродавали. Кроме кож, предметами торговли служили беличий и за-

ячий мех, овечья и коровья шерсть, конский волос и т. д. Определенный процент всего объема кож уходил на экспорт за границу [8].

На протяжении столетий пушной промысел играл важнейшую роль в системе северного хозяйства, являясь основой сибирского экспорта. Ситуация мало изменилась и в начале XX века. За 1909–1913 годы экспорт пушнины составил 55 млн. рублей, тогда как экспорт металлов – 21 млн рублей, нефтепродуктов – 36 млн рублей. В 1900-е годы Россия поставляла на мировой рынок из общего количества отдельных сортов пушнины 96 % белок, 63 % горностаев, 60 % песцов, 35 % соболей. Причем 61 % всей русской пушнины давала Сибирь, в том числе 97 % соболя, 90 % песка, 70 % белок. Важнейшими районами, где добывалась пушнина, идущая на рынок, продолжали оставаться Якутия и Тобольский Север [10].

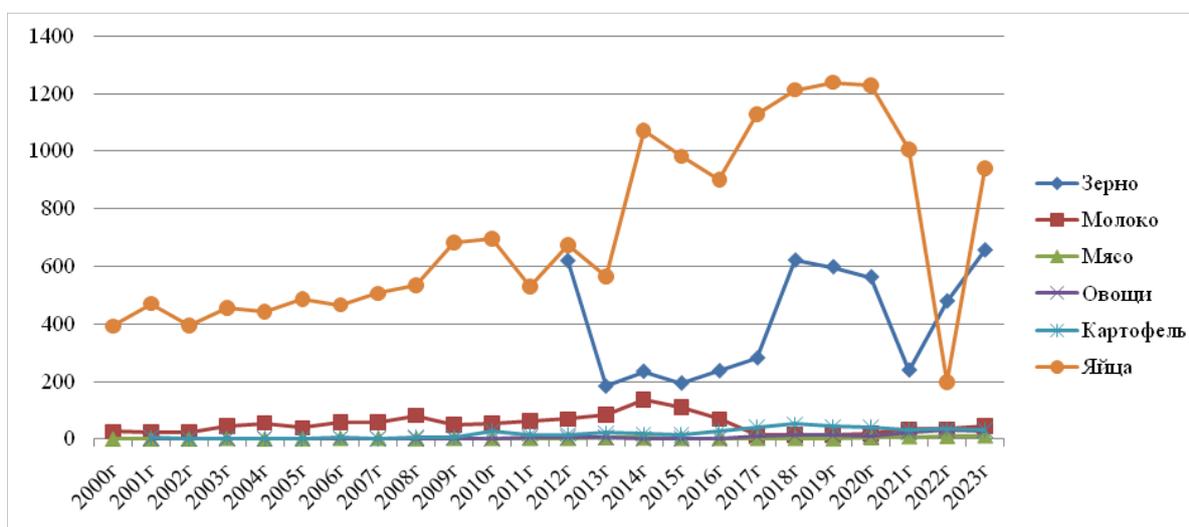


Рис. 1. Динамика объемов экспорта сельскохозяйственной продукции Тюменской области, тыс. тонн
Источник: составлено авторами

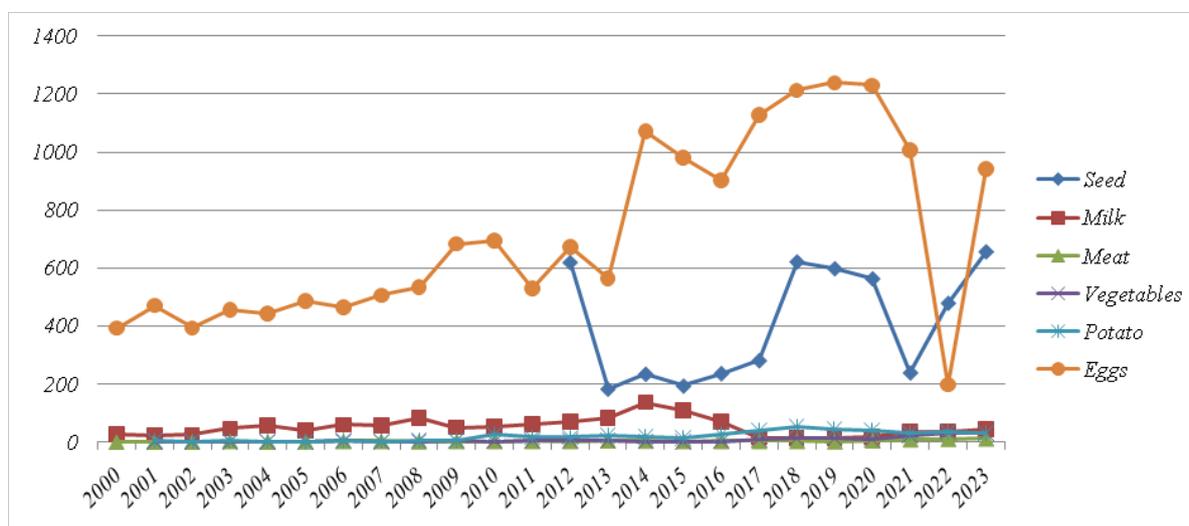


Fig. 1. Dynamics of export volumes of agricultural products of the Tyumen region, thousand tons
Source: compiled by the authors

К сожалению, Первая мировая война и дальнейший ход истории (революции, реформы, изменения форм собственности) надолго лишил сельскохозяйственную отрасль региона экспортных возможностей. И только с наступлением XXI века, когда была сформулирована четкая стратегия развития АПК, появились новые экспортные возможности, которые сегодня формируются как средними предприятиями АПК, так и малыми предприятиями, количество которых динамично увеличивается с 2014 года. В целом по России количество малых предприятий-экспортеров увеличилось с 2014 года практически в 5 раз, по Уральскому федеральному округу в 4 раза, по Тюменской области тоже в 4 раза, что наглядно демонстрирует роль малых предприятий в формировании продовольственного обеспечения и создании экспортных возможностей [11; 12].

Формирование экспортного потенциала в Тюменской области начало активно развиваться с 2000 года. Несмотря на процессы реформирования экономики России, сложные природно-климатические условия, особенности предоставления государственной поддержки сельского хозяйства РФ, АПК Тюменской области, имея большой потенциал развития, благодаря высокой инвестиционной привлекательности региона, намерениям инвесторов по реализации крупных проектов, наличию незагруженных мощностей перерабатывающей промышленности и рынка сбыта продукции (федеральные логистические центры, развитая сеть общественного питания и потребительской торговли) предпринимал попытки роста сельскохозяйственной продукции с целью не только внутреннего потребления, но и экспорта. Первоначально ассортимент товаров был очень узок и ориентирован на поставки молока и молочной продукции. С 2001 года формируются контракты на поставку картофеля, овощей. С 2012 года начинают осуществляться поставки зерна (рис. 1). Существенные изменения начинаются в связи с проведением политики импортозамещения с 2014 года.

Проведем сравнительный анализ объемов экспорта рассмотренных видов сельскохозяйственной продукции до введения экономических санкций и современного этапа санкционной политики (периода после 2022 года).

Как показал сравнительный анализ показателей до введения экономических санкций, экспорт зерновой продукции не только не уменьшился, но и вырос в динамике лет: по сравнению с 2022 годом в 2023 году рост составил практически 40 %, а за период с 2012 года – на 6 %. Основываясь на динамике, представленной на рис. 1, можно отметить резкий спад объемов экспорта молока после 2014 года. Только с 2020 года наметился подъем экспорта, причем за 2 последних года наблюдается рост на 28,2 %, однако до объемов 2014 года довести

объемы экспорта пока не удалось и целом за период с 2012 года наблюдается тенденция снижения на 35,6 %. По экспорту мяса ситуация достаточно стабильная: санкционная политика практически не отразилась на вариации показателей объемов продукции, более того, видна четкая тенденция роста величины экспорта мяса более чем в 4 раза за период с 2012 года. По экспорту овощей только в первые 2 года после 2014 года наблюдается спад, и уже с 2017 года Тюменская область стабильно наращивает экспортный потенциал овощной продукции, что обеспечило рост ее объемов более чем в 5 раз с 2012 года. Небольшое снижение в 2023 году обусловлено уменьшением объемов производства из-за природно-климатических факторов. Аналогичная ситуация прослеживается по экспорту картофеля. Производством яиц в Тюменской области занимаются 2 крупные птицефабрики – Боровская и Пышминская, объемы производства позволяют как обеспечивать внутреннее потребление, так и формировать экспортный потенциал. Санкционная политика практически не повлияла на динамику объемов экспорта яйца. Однако уже в 2023 году птицефабрика полностью восстановила производственные мощности, что позволило вернуть объемы практически до уровня 2015 года, что можно проследить на рис. 1.

Таким образом, санкционная политика ни в 2014 году, ни в последующие годы не оказала разрушительного влияния на экспортный потенциал сельскохозяйственной продукции Тюменской области.

На современном этапе в Тюменской области сельское хозяйство по-прежнему остается в центре внимания как стратегическая отрасль экономики региона. Рассмотрим объемы экспорта основных видов сельскохозяйственной продукции в натуральном выражении в Тюменской области, а также в сравнении с другими регионами Уральского федерального округа (таблица 2). Это позволит оценить не только масштабы и динамику экспорта отдельных видов сельскохозяйственной продукции региона, но и роль Тюменской области в общем экспортном потенциале Уральского федерального округа.

Как показывают данные таблицы 2, в динамике лет с 2014 года в Тюменской области значительно возросли объемы экспорта овощей (почти в 10 раз), экспорт мяса – в 2,8 раза, картофеля – практически в два раза. Объемы поставок зерна имеют в целом тенденцию роста, кроме периода 2020–2021 годов (что связано с влиянием природно-климатических факторов на производство). Отрицательная динамика прослеживается по объемам экспорта молока (на 67,3 % по сравнению с 2014 годом) и яйца (на 12,2 %). Резкий спад объемов экспорта яйца в 2022 году обусловлен эпидемией птичьего гриппа на птицефабрике «Боровская», что привело к полному уничтожению и поголовья птицы, и уже произведенной продукции.

Таблица 1

Сравнительный анализ экспорта сельскохозяйственной продукции Тюменской области до введения экономических санкций, тыс. тонн, млн шт.

Виды продукции	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2022 г.	2023 г.	2023 г. к 2022 г., %	Общий темп роста, %
Зерно	619,1	183,3	234,9	479,0	656,0	136,9	106,0
Молоко	69,9	83,7	137,4	35,1	45,0	128,2	64,4
Мясо	2,7	4,7	4,2	10,2	11,8	115,7	437,0
Овощи	6,0	6,3	3,0	33,0	30,1	91,2	501,7
Картофель	16,8	21,8	17,5	35,0	32,7	93,4	194,6
Яйца	673,5	565,5	1071,2	198,0	940,8	475,1	139,7

Источник: составлено авторами.

Table 1

Comparative analysis of agricultural exports of the Tyumen region before the introduction of economic sanctions, thousand tons, million units

Types of products	2012	2013	2014	2022	2023	2023 by 2022, %	Overall growth rate, %
Seed	619.1	183.3	234.9	479.0	656.0	136.9	106.0
Milk	69.9	83.7	137.4	35.1	45.0	128.2	64.4
Meat	2.7	4.7	4.2	10.2	11.8	115.7	437.0
Vegetables	6.0	6.3	3.0	33.0	30.1	91.2	501.7
Potato	16.8	21.8	17.5	35.0	32.7	93.4	194.6
Eggs	673.5	565.5	1071.2	198.0	940.8	475.1	139.7

Source: compiled by the authors.

Таблица 2

Экспорт основных видов сельскохозяйственной продукции областей Уральского федерального округа, тыс. тонн, млн шт.

Виды продукции	2014 г.	2016 г.	2018 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Общий темп роста, %
Тюменская область								
Зерно	234,9	236,9	621,1	562,8	239,6	479,0	656,0	279,3
Молоко	137,4	69,5	14,4	19,6	34,7	35,1	45,0	32,7
Мясо	4,2	3,4	3,4	5,5	8,1	10,2	11,8	280,9
Овощи	3,0	2,9	12,7	10,1	23,7	33,0	30,1	1003,3
Картофель	17,5	28,1	52,6	41,8	32,0	35,0	32,7	186,8
Яйца	1071,2	902,8	1213,2	1230,5	1007,8	198,0	940,8	87,8
Курганская область								
Зерно	366,7	780,6	915,0	704,6	501,4	1008	1260	343,6
Молоко	132,2	40,5	23,4	31,3	29,8	43,5	46,6	35,2
Мясо	22,4	20,9	25,5	22,6	22,2	45,2	44,3	197,8
Овощи	2,0	7,1	15,2	21,5	15,9	15,3	15,8	790,0
Картофель	5,6	8,2	15,0	18,4	18,0	19,0	20,3	362,5
Яйца	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Челябинская область								
Зерно	12,0	154,3	85,0	28,1	27,1	81,3	83,0	691,7
Молоко	3,2	7,6	32,9	36,2	32,3	39,2	40,1	1253,1
Мясо	112,6	155,7	193,9	190,5	212,2	271,3	276,7	245,7
Овощи	0,6	0,1	2,1	3,4	3,4	3,2	3,3	550,0
Картофель	8,5	7,6	8,4	6,3	5,1	5,4	7,4	87,1
Яйца	481,3	614,2	716,0	660,6	737,7	720,4	715,3	148,6
Свердловская область								
Зерно	0,5	0,4	139,2	1,2	45,6	76,2	221,0	44200,0
Молоко	38,5	70,6	83,7	95,4	110,1	198,0	633,6	1645,7
Мясо	71,3	94,8	82,8	149,9	141,0	142,3	498,0	698,4
Овощи	6,1	8,1	11,8	69,4	13,1	14,2	16,7	273,8
Картофель	7,8	5,2	5,3	7,4	6,6	5,6	8,0	102,5
Яйца	692,1	867,5	784,7	810,8	965,5	1080,8	2485,8	359,1
Всего по УрФО								
Зерно	614,1	1172,2	1760,3	1296,7	813,7	1644,5	2220,0	361,5
Молоко	311,3	188,2	154,5	182,5	210,9	315,8	765,3	245,8
Мясо	219,5	274,8	305,6	368,5	343,5	469,0	830,8	378,5
Овощи	11,7	18,2	41,8	104,4	56,1	65,7	65,9	563,2
Картофель	39,4	49,1	81,3	73,9	61,7	65,0	68,4	173,6
Яйца	2244,6	2384,5	2713,9	2701,9	2711,0	1999,2	4141,9	194,5

Источник: составлено авторами.

Table 2
Export of the main types of agricultural products of the regions of the Ural Federal District, thousand tons, million units

Types of products	2014	2016	2018	2020	2021	2022	2023	Overall growth rate, %
Tyumen region								
Seed	234.9	236.9	621.1	562.8	239.6	479.0	656.0	279.3
Milk	137.4	69.5	14.4	19.6	34.7	35.1	45.0	32.7
Meat	4.2	3.4	3.4	5.5	8.1	10.2	11.8	280.9
Vegetables	3.0	2.9	12.7	10.1	23.7	33.0	30.1	1003.3
Potato	17.5	28.1	52.6	41.8	32.0	35.0	32.7	186.8
Eggs	1071.2	902.8	1213.2	1230.5	1007.8	198.0	940.8	87.8
Kurgan region								
Seed	366.7	780.6	915.0	704.6	501.4	1008	1260.0	343.6
Milk	132.2	40.5	23.4	31.3	29.8	43.5	46.6	35.2
Meat	22.4	20.9	25.5	22.6	22.2	45.2	44.3	197.8
Vegetables	2.0	7.1	15.2	21.5	15.9	15.3	15.8	790.0
Potato	5.6	8.2	15.0	18.4	18.0	19.0	20.3	362.5
Eggs	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chelyabinsk region								
Seed	12.0	154.3	85.0	28.1	27.1	81.3	83.0	691.7
Milk	3.2	7.6	32.9	36.2	36.3	39.2	40.1	1253.1
Meat	112.6	155.7	193.9	190.5	172.2	271.3	276.7	245.7
Vegetables	0.6	0.1	2.1	3.4	3.4	3.2	3.3	550.0
Potato	8.5	7.6	8.4	6.3	5.1	5.4	7.4	87.1
Eggs	481.3	614.2	716.0	660.6	737.7	720.4	715.3	148.6
Sverdlovsk region								
Seed	0.5	0.4	139.2	1.2	45.6	76.2	221.0	44200.0
Milk	38.5	70.6	83.7	95.4	110.1	198.0	633.6	1645.7
Meat	71.3	94.8	82.8	149.9	141.0	142.3	498.0	698.4
Vegetables	6.1	8.1	11.8	69.4	13.1	14.2	16.7	273.8
Potato	7.8	5.2	5.3	7.4	6.6	5.6	8.0	102.5
Eggs	692.1	867.5	784.7	810.8	965.5	1080.8	2485.8	359.1
Total for the Ural Federal District								
Seed	614.1	1172.2	1760.3	1296.7	813.7	1644,5	2220.0	361.5
Milk	311.3	188.2	154.5	182.5	210.9	315,8	765.3	245.8
Meat	219.5	274.8	305.6	368.5	343.5	469,0	830.8	378.5
Vegetables	11.7	18.2	41.8	104.4	56.1	65,7	65.9	563.2
Potato	39.4	49.1	81.3	73.9	61.7	65,0	68.4	173.6
Eggs	2244.6	2384.5	2713.9	2701.9	2711.0	1999,2	4141.9	194.5

Source: compiled by the authors.

В других регионах Уральского федерального округа однозначный рост наблюдается по объемам экспорта овощей и зерна. В Курганской области наращивается экспорт картофеля, в Челябинской области более чем в 12 раз вырос экспорт молока, в Свердловской области увеличился экспорт всех видов продукции.

За период проведения санкционной политики (2014–2023 годы) Челябинская и Свердловская области демонстрируют впечатляющие результаты в аграрном производстве, особенно в области наращивания экспортного потенциала зерна, овощной и молочной продукции, при этом хотелось бы отметить расширение географии поставок овощной продукции в другие страны: Абхазию, Армению, Азербайджан, Беларусь, Грузию, Киргизию, Латвию, Молдову, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан. В числе получателей растительной продукции оказались и страны дальнего зарубежья: Афганистан,

Австралия, Канада, Китай, Чехия, Германия, Индия, Израиль, Япония, Польша, Корея, Сингапур, Таиланд, Объединенные Арабские Эмираты.

Более половины экспорта аграрной продукции Челябинской области направлено в сторону соглашений с Казахстаном и другими странами Азии, но, как ранее было отмечено, по некоторым видам аграрной продукции Челябинской области география поставок более дифференцирована. С 2022 года Челябинская область работала более чем со 120 странами мира. В целом, объем экспорта по некоторым видам продукции в Челябинской области в 2023 году выше уровня последних трех лет.

Аналогичные тенденции можно отметить в целом по Уральскому федеральному округу: рост экспортного потенциала практически по всем видам рассматриваемой аграрной продукции, а также расширение географии ее поставок.

Доля сельскохозяйственной продукции областей
в структуре экспорта сельскохозяйственной продукции Уральского федерального округа, %

Виды продукции	2014 г.	2016 г.	2018 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Тюменская область							
Зерно	38,3	20,2	35,3	43,4	29,4	29,1	29,5
Молоко	44,1	36,9	9,3	10,7	16,4	11,1	5,9
Мясо	1,9	1,2	1,1	3,0	2,3	2,17	1,4
Овощи	25,6	15,9	30,4	9,7	42,2	50,2	45,7
Картофель	44,4	57,2	64,7	56,5	51,8	53,8	47,8
Яйца	47,7	37,9	44,7	45,5	37,2	9,9	22,7
Курганская область							
Зерно	59,6	66,6	52,0	54,3	61,6	61,3	56,7
Молоко	42,5	21,5	15,1	17,1	14,1	13,8	6,1
Мясо	10,2	7,6	8,3	6,1	6,4	9,6	5,3
Овощи	17,1	39,0	36,3	9,7	28,2	23,2	24,0
Картофель	44,4	16,7	64,5	24,9	29,2	29,2	29,7
Яйца	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Челябинская область							
Зерно	1,9	13,2	4,8	2,2	3,3	4,9	3,7
Молоко	1,0	4,0	21,3	19,8	17,2	12,4	5,2
Мясо	51,3	56,6	63,4	51,7	41,0	57,8	33,3
Овощи	5,1	0,5	5,0	3,2	6,0	4,9	5,0
Картофель	21,6	15,5	10,3	8,5	8,3	8,3	10,8
Яйца	21,4	25,7	26,4	24,4	27,2	36,0	17,3
Свердловская область							
Зерно	0,08	0,03	7,9	0,1	5,6	4,6	10,0
Молоко	12,4	37,5	54,2	52,3	52,1	62,7	82,8
Мясо	32,5	34,5	27,1	40,7	41,0	30,3	59,9
Овощи	52,1	44,5	28,2	66,5	23,3	21,6	25,3
Картофель	19,8	10,6	6,5	10,0	10,7	8,6	11,7
Яйца	30,8	36,4	28,9	30,0	35,6	54,1	60,0

Источник: составлено авторами.

Table 3
The share of agricultural products of the regions in the structure of agricultural exports
of the Ural Federal District, %

Types of products	2014	2016	2018	2020	2021	2022	2023
Tyumen region							
Seed	38.3	20.2	35.3	43.4	29.4	29.1	29.5
Milk	44.1	36.9	9.3	10.7	16.4	11.1	5.9
Meat	1.9	1.2	1.1	3.0	2.3	2.17	1.4
Vegetables	25.6	15.9	30.4	9.7	42.2	50.2	45.7
Potato	44.4	57.2	64.7	56.5	51.8	53.8	47.8
Eggs	47.7	37.9	44.7	45.5	37.2	9.9	22.7
Kurgan region							
Seed	59.6	66.6	52.0	54.3	61.6	61.3	56.7
Milk	42.5	21.5	15.1	17.1	14.1	1.8	6.1
Meat	10.2	7.6	8.3	6.1	6.4	9.6	5.3
Vegetables	17.1	39.0	36.3	9.7	28.2	23.2	24.0
Potato	44.4	16.7	64.5	24.9	29.2	29.2	29.7
Eggs	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Chelyabinsk region							
Seed	1.9	13.2	4.8	2.2	3.3	4.9	3.7
Milk	1.0	4.0	21.3	19.8	17.2	12.4	5.2
Meat	51.3	56.6	63.4	51.7	41.0	57.8	33.3
Vegetables	5.1	0.5	5.0	3.2	6.0	4.9	5.0
Potato	21.6	15.5	10.3	8.5	8.3	8.3	10.8
Eggs	21.4	25.7	26.4	24.4	27.2	36.0	17.3
Sverdlovsk region							
Seed	0.08	0.03	7.9	0.1	5.6	4.6	10.0
Milk	12.4	37.5	54.2	52.3	52.1	62.7	82.8
Meat	32.5	34.5	27.1	40.7	41.0	30.3	59.9
Vegetables	52.1	44.5	28.2	66.5	23.3	21.6	25.3
Potato	19.8	10.6	6.5	10.0	10.7	8.6	11.7
Eggs	30.8	36.4	28.9	30.0	35.6	54.1	60.0

Source: compiled by the authors.

Таблица 4

Рейтинговый анализ областей Уральского федерального округа по уровню экспорта сельскохозяйственной продукции за период 2021–2023 гг.

Виды продукции	Тюменская область		Курганская область		Челябинская область		Свердловская область	
	Средний объем экспорта	Балл						
Зерно	458,2	2	923,1	1	63,8	4	114,3	3
Молоко	38,3	3	40,0	2	37,2	4	313,9	1
Мясо	10,0	4	37,2	3	253,4	2	260,4	1
Овощи	28,9	1	15,7	2	3,3	4	14,7	3
Картофель	33,2	1	19,1	2	5,9	4	6,7	3
Яйца	715,5	3	0	4	724,5	2	1510,7	1
Итого баллов	×	14	×	14	×	20	×	12
Рейтинг	×	2	×	2	×	43	×	1

Источник: составлено авторами.

Table 4

Rating analysis of the regions of the Ural Federal District in terms of agricultural exports for the period 2021–2023

Types of products	Tyumen region		Kurgan region		Chelyabinsk region		Sverdlovsk region	
	Average export volume	Score						
Seed	458.2	2	923.1	1	63.8	4	114.3	3
Milk	38.3	3	40.0	2	37.2	4	313.9	1
Meat	10.0	4	37.2	3	253.4	2	260.4	1
Vegetables	28.9	1	15.7	2	3.3	4	14.7	3
Potato	33.2	1	19.1	2	5.9	4	6.7	3
Eggs	715.5	3	0	4	724.5	2	1510.7	1
Total points	×	14	×	14	×	20	×	12
Rating	×	2	×	2	×	43	×	1

Source: compiled by the authors.

Рассмотрим участие областей Уральского федерального округа в формировании общего объема экспорта округа и оценим, какое место в нем занимает Тюменская область (таблица 3).

Как показывают данные структурно-динамического анализа в таблице 3, лидером по объемам экспорта зерна является Курганская область, в отдельные годы удельный вес экспорта зерна в общем объеме его экспорта в Уральском федеральном округе составлял более 60 %. Тюменская область по экспорту зерна находится на 2 месте, при этом наблюдается отрицательная динамика роста ее доли в экспорте зерна всего УрФО: с 38,3 % в 2014 году до 29,5 % в 2023 году. По экспорту молока бесспорным лидером является Свердловская область: ее доля в общем экспорте молока Уральского федерального округа выросла с 12,4 % в 2014 году до 82,8 % в 2023 году. Тюменская область по объемам экспорта молока находится на 3 месте, при этом в динамике рассмотренных лет его удельный вес имеет существенную тенденцию снижения более чем в 2 раза. По объемам экспорта мяса Тюменская область находится на последнем месте: ее доля в экспорте мяса по УрФО составляет в среднем 1,86 %. Лидером же здесь является Свердловская область, незначительно отстает от нее Челябинская область.

Однако Тюменская область показывает лучшие результаты по объемам экспорта овощей и картофеля: в 2023 году – 45,7 % и 47,8 % в структуре экспорта УрФО по данным видам продукции соответственно. Таким образом, экспортный профиль Тюменской области в сфере сельского хозяйства несколько сместился с продукции растениеводства на продукцию животноводства.

Далее с помощью рейтингового анализа проведем оценку роли Тюменской области в формировании экспортного потенциала Уральского федерального округа (таблица 4). В качестве критерия оценки будут выступать средние за последние 3 года объемы экспорта (на основе данных таблицы 2) по видам сельскохозяйственной продукции.

Как показывают результаты анализа, ни один из регионов Уральского федерального округа не является абсолютным лидером по объемам экспорта сельскохозяйственной продукции. Баллы (места) присваивались в соответствии с объемом экспортируемой продукции. Соответственно, чем меньше составляет общая сумма набранных баллов, тем выше в рейтинге находится регион. Таким образом, Тюменская область в рейтинге разделила с Курганской областью 2 место, что ставит перед ней серьезные задачи наращивания экспортного потенциала.

По данным Россельхознадзора, основным покупателем тюменских зернопродуктов в 2023 году стала Республика Казахстан. На долю этой страны пришлось больше 87 % всех покупок зерновых из Тюменской области. В структуре поставок присутствуют пшеница мягких сортов, ячмень для пивоварен, овес и отдельные продукты переработки зерновых и бобовых культур.

Покупателями продукции тюменских земледельцев в 2023 году стали также КНР, Азербайджан и Латвия. Это страны, которые сотрудничают с местным агропромышленным комплексом уже не первый год и традиционно покупают горох и овес. Общая доля экспорта в эти страны составила около 12,8 %.

Появились на зерновых рынках Тюмени и новые игроки. Самым заметным в 2023 году стал Ирак, закупивший в небольшом объеме (160 тонн) продовольственный ячмень.

Необходимо отметить, что в период 2020–2023 годов на втором месте в экспорте сельскохозяйственной продукции региона находится тюменский ячмень. На его долю приходится около 41,1 %, это около 70 000 тонн. Зарубежные страны – партнеры Тюменской области импортируют ячмень в основном для использования на пивоварнях и частично в

сельском хозяйстве. Это зерно является важной составной рациона питания крупного рогатого скота.

Горох и гороховый изолят занимают третье место в структуре экспортируемой продукции. В 2023 году за пределы страны из Тюмени отправили 21 000 тонн гороха, это 12,3 % от всего зернового экспорта. Данный вид бобовых эксперты считают одним из самых перспективных не только для внутреннего потребления, но и для поставки за рубеж. Объемы экспорта данной продукции могут вырасти в регионе в несколько раз, так как в ноябре 2023 года была запущена первая линия по переработке гороха на заводе «Протеинсиб» в Ишимском районе.

Небольшой, но заметный вклад в тюменский сельскохозяйственный экспорт вносят и другие товары. В частности, востребованными в Китае и других восточных странах являются тюменское рапсовое масло, спирты, продукты тюменского животноводства и домашний скот [13]. Однако ключевая роль в международной торговле по-прежнему остается за зерном и продуктами его переработки.

Рассмотрим стоимостные объемы экспорта сельскохозяйственной продукции АПК Тюменской области, в том числе продукцию переработки (масло, сахар, колбасы и пр.) (таблица 5).

Таблица 5
Экспорт продукции аграрных производителей Тюменской области за 2020–2023 гг., млн долларов

Виды продукции	В среднем за три года	Страна
Масложировая		
Масло рапсовое и горчичное	11,2	Нидерланды, Китай, Казахстан
Продукция животноводства		
Молоко и молочные продукты	11,23	Казахстан
Мясо КРС замороженное	0,16	Казахстан
Продукты переработки		
Клейковина пшеничная	1,75	США, Турция
Кондитерские изделия	0,89	Казахстан Киргизия, Германия
Продукты животного происхождения	0,8	Беларусь, Германия, Казахстан
Спирт и спиртные напитки	0,53	Турция, Китай
Сахар и сахаристые кондитерские изделия	0,13	Казахстан
Мука пшеничная и пшенично ржаная	0,12	Туркменистан, Казахстан, Китай
Колбасы	0,03	Казахстан
Продукция растениеводства		
Картофель	0,63	Узбекистан, Сербия, Казахстан
Пшеница	1,22	Казахстан
Зернобобовые	0,24	Латвия, Казахстан
Овес	0,31	Монголия, Казахстан
Ячмень	1,11	Казахстан
Зерно, обработанное иным способом	0,17	Казахстан, Азербайджан
Продукция рыбоводства		
Консервированная рыба, икра	0,06	Казахстан, Сербия
Прочая продукция		
Прочая продукция	0,79	×
Итого	31,4	×

Источник: составлено авторами по данным из открытых источников информации, экспертных опросов руководителей предприятий региона.

Table 5

Export of products of agar producers of the Tyumen region for 2020–2023, million dollars

<i>Types of products</i>	<i>An average of three years</i>	<i>A country</i>
<i>Fat and oil</i>		
<i>Rapeseed and mustard oil</i>	<i>11.2</i>	<i>Netherlands, China, Kazakhstan</i>
<i>Livestock products</i>		
<i>Milk and dairy products</i>	<i>11.23</i>	<i>Kazakhstan</i>
<i>Frozen cattle meat</i>	<i>0.16</i>	<i>Kazakhstan</i>
<i>Processed products</i>		
<i>Wheat gluten</i>	<i>1.75</i>	<i>USA, Turkey Kazakhstan, Kyrgyzstan, Germany</i>
<i>Confectionery products</i>	<i>0.89</i>	<i>USA, Turkey Kazakhstan, Kyrgyzstan, Germany</i>
<i>Animal products</i>	<i>0.8</i>	<i>Belarus, Germany, Kazakhstan Turkey, China</i>
<i>Alcohol and alcoholic beverages</i>	<i>0.53</i>	<i>Belarus, Germany, Kazakhstan Turkey, China</i>
<i>Sugar and sugary confectionery products</i>	<i>0.13</i>	<i>Kazakhstan</i>
<i>Wheat and rye flour</i>	<i>0.12</i>	<i>Turkmenistan, Kazakhstan, China</i>
<i>Sausages</i>	<i>0.03</i>	<i>Kazakhstan</i>
<i>Crop production</i>		
<i>Potato</i>	<i>0.63</i>	<i>Uzbekistan, Serbia, Kazakhstan</i>
<i>Wheat</i>	<i>1.22</i>	<i>Kazakhstan</i>
<i>Legumes</i>	<i>0.24</i>	<i>Latvia, Kazakhstan</i>
<i>Oats</i>	<i>0.31</i>	<i>Mongolia, Kazakhstan</i>
<i>Barley</i>	<i>1.11</i>	<i>Kazakhstan</i>
<i>Grain processed in another way</i>	<i>0.17</i>	<i>Kazakhstan, Azerbaijan</i>
<i>Fish farming products</i>		
<i>Cannedfish, caviar</i>	<i>0.06</i>	<i>Kazakhstan, Serbia</i>
<i>Other products</i>		
<i>Other products</i>	<i>0.79</i>	×
<i>Total</i>	<i>31.4</i>	×

Source: compiled by the authors based on data from open sources of information, expert surveys of heads of enterprises in the region.

Как показывают данные таблицы 5, в среднем за 3 рассматриваемых года наибольший объем экспорта в стоимостном выражении составляют молоко и молочные продукты – 11,23 млн долларов (36,1 %). На 2 месте находится экспорт растительного (рапсового и горчичного) масла – 11,2 млн долларов (35,2 %). На 3 месте – зерно и продукты его переработки (мука, клейковина), в совокупности они обеспечивают доход на сумму 4,92 млн долларов (15,8 % в структуре экспорта). Анализируя отраслевую структуру экспорта, видим, что ведущая роль принадлежит отрасли животноводства (36,6 %), продукция растениеводства занимает 3,68 %, соответственно, продукты промышленной переработки и прочая продукция АПК в совокупности составляют 59,72 %. Таким образом, отраслевая диверсификация экспортной продукции АПК Тюменской области широкая.

Основной тенденцией в разрезе экспортной продукции в регионе является ее слабо диверсифицированный характер по основным каналам реализации. За анализируемый период существенно изменился экспортный поток: сегодня значительную долю занимает направление экспорта в азиатские страны, такие как Китай, Казахстан, Монголия, а в

страны Западной Европы произошло сокращение поставок.

Активно реализуется масложировая продукция, выпускаемая на Заводоуковском маслозаводе: средний объем поставок за три анализируемых года составил 10,96 млн долларов, подписаны долгосрочные контракты на поставку масла рапсового, горчичного с Казахстаном, Китаем, Нидерландами.

Активным спросом пользуется продукция перерабатывающих предприятий Тюменской области. В таблице 6 представлены основные экономические показатели предприятий, активно участвующих в формировании экспортной продукции: Заводоуковский маслозавод, предприятие перерабатывающей промышленности, АО «Аминосиб» (являющееся лидером по глубокой переработке пшеницы), а также представители молочной и мясной промышленности, линейка продукции которых активно экспортируется (ГК «Данон» и Птицефабрика «Боровская») и крупнейшее предприятие региона по производству овощной продукции ООО «Агрофирма КРиММ», продукция которого наполняет региональные рынки, торговые сети, а также ряд стран качественными овощными наборами.

Основные показатели деятельности предприятий экспортеров Тюменской области

Показатели	Заводоуковский маслозавод	Птицефабрика «Боровская»	ГК «Данон»	ООО «Агрофирма КРiММ»	АО «Аминосиб»
Выручка, млрд руб.	1,6	5,1	85,1	2,4	4,8
Численность работников, чел.	147	1324	500	639	271
Чистая прибыль, млрд руб.	0,02	-0,8	8,9	0,5	0,9
Рентабельность продаж, %	4,0	10,1	4,9	19,5	26,2
Активы, млрд руб.	0,7	7,6	56,8	5,3	1,9

Источник: составлено авторами.

Table 6

The main performance indicators of the exporting enterprises of the Tyumen region

Indicators	Zavodoukovskiy butter factory	Poultry farm "Borovskaya"	"Danone" Group	"Agrofirma KRiMM" LLC	"Aminosib" JSC
Revenue, billion rubles	1.6	5.1	85.1	2.4	4.8
Number of employees, people	147	1324	500	639	271
Net profit, billion rubles.	0.02	-0.8	8.9	0.5	0.9
Return on sales, %	4.0	10.1	4.9	19.5	26.2
Assets, billion rubles	0.7	7.6	56.8	5.3	1.9

Source: compiled by the authors.

Представленные предприятия являются достаточно крупными, самым масштабным – производитель молочной продукции группа компаний «Данон», выручка которой составляет 85,1 млрд рублей, численность сотрудников достигает 500 человек, чистая прибыль предприятия – 8,9 млрд рублей. Базовой концепцией данного предприятия является стать ведущим производителем молочной продукции в мировом масштабе. В Тюменской области на базе Ялуторовского молочного комбината компания производит базовые молочные продукты, формирующие экспортный потенциал. Основные контракты ориентированы на поставку продукции в страны дальнего зарубежья (Казахстан, Молдавию) [14].

АО «Аминосиб» входит в состав агрохолдинга «Юбилейный», в рамках которого была организована линия по глубокие переработки пшеницы, а продуктом, поступающим на внутренний и внешний рынок, является лизин – аминокислота, играющая важную роль в организме. На сегодняшний день Тюменская область является самым крупнейшим производителем данного продукта в России. Шесть крупных предприятий Тюменской области (ОАО «Тюменский бройлер», ООО «Тюменский агрокомплекс», ООО «Сибагро», ООО «Агрофирма Каменка», ООО «БиотексТюмень», Птицефабрика «Боровская») являются производителями лизина в виде кормовых добавок для сельскохозяйственных животных.

Существенная роль в создании экспортной продукции принадлежит Заводоуковскому маслозаводу, лидеру по производству масложировой региональной продукции, объемы выручки которого составляют 1,6 млрд рублей в год, общая численность сотрудников – 147 работников, рентабельность продаж – 4 %. С 2019 года изменилась география поставок продукции: со стран Европы предприятие переориентировалось на КНР, активно использует электронную форму реализации продукции, размещая ее на маркетплейсе Alibaba, перспективными каналами реализации являются КНР и страны Северной Африки [15].

Лидером по производству яйца является одно из старейших предприятий Тюменской области – Птицефабрика «Боровская», организованная в эпоху освоения северных территорий, связанных с открытием Тюменских месторождений нефти и газа, когда возникла необходимость создания скороспелых отраслей сельского хозяйства для производственного обеспечения северных городов и поселков птицеводческой продукцией. После произошедшей в 2022 году эпидемии птичьего гриппа птицефабрика полностью восстановила производственные процессы. Сегодня предприятие имеет замкнутый цикл производства и является одним из лидирующих в России по производству яиц и яичной продукции, такой как сухой и жидкий меланж, белок и желток, мяса цыплят бройлеров и мясной продукции из мяса птицы, которая активно поставляется на экспорт в страны дальнего зарубежья.

Таблица 7

Экспортно ориентированные проекты Тюменской области

Проект	Отрасль экспорта	Основной инвестор	Вид продукции	Сумма инвестиций, млрд руб.
Кондитерская фабрика	Пищевая	ООО «ТК Кондитер Профи» (ООО ПК «Слада»)	Кондитерские изделия	1,1
Проект модернизации и развития АО «ПРОДО Тюменский бройлер»	Мясная	АО «ПРОДО Тюменский бройлер»	Мясо птицы	1,1
Строительство завода по глубокой переработке гороха	Пищевая	АО «Протеинсиб»	Продукты переработки гороха	6,5

Источник: данные Департамента инвестиционной политики и государственной поддержки предпринимательства Тюменской области, открытые источники.

ЭКОНОМИКА

Table 7

Export-oriented projects of the Tyumen region

Project	Export industry	The main investor	Product type	The amount of investments, billion rubles
Confectionery factory	Food industry	"TC Konditer Profi" LLC (PC "Slada" LLC)	Confectionery products	1.1
Modernization and development project of JSC "PRODO Tyumen Broiler"	Meat	"PRODO Tyumenskiy broyler" JSC	Poultry meat	1.1
Construction of a plant for deep processing of peas	Food industry	"Proteinsib" JSC	Pea processing products	6.5

Source: data from the Department of Investment Policy and State Support of Entrepreneurship of the Tyumen region, open sources.

Экспортная деятельность ООО «Агрофирма КРиММ» сегодня сосредоточена на поставках семенного картофеля в Казахстан, Узбекистан, Азербайджан, Сербию. Так, за последние 4 года объемы поставок семенного картофеля превысили 9 000 тонн. В настоящее время формируются контракты на поставку переработанной продукции, такой как пастеризованный картофель в различных вариантах нарезки и в сочетании с различными соусами, вареной свеклы, которая уже поставляется в различные регионы, а также реализуется через собственную торговую сеть.

Тюменская область ежегодно реализует экспортно ориентированные инвестиционные (на страны Евроазиатского экономического союза) проекты, совокупная стоимость которых составляет более 9 млрд рублей. На сегодняшний момент в регионе состоялся запуск очередного проекта по глубокой переработке зернобобовых культур на базе Агрохолдинга «Юбилейный». Производственная компания «Слада» реализует проект по организации нового производства линейки кондитерских изделий.

Таким образом, размах вариации инвестиций в реализацию экспортно ориентированных проектов составляет от 1,1–6,5 млрд рублей. Максимальный объем инвестиций направлен на инновационный проект по глубокой переработке гороха и производство протеина (с объемом производственной мощности 70 тыс. тонн в год), используемого в дальнейшем в пищевой и фармацевтической промышленности, что позволит региону занимать ли-

дирующие позиции в экспорте данного продукта. В сложившейся ситуации необходимы адаптация агрохолдинга к новой среде в рамках создания международных конкурентных преимуществ, выбор подходящих стратегий и организационной бизнес-модели, ориентированной на международную торговлю. Внедрение инновационных технологий с использованием современного оборудования позволит приблизить качество продукта агрохолдинга к мировым стандартам.

Расширение географических границ предприятий-экспортеров Тюменской области в международном сотрудничестве будет непременно сокращать внешние издержки, но в определенный момент такой экспансии появится необходимость выбора между экономией на производственных издержках (через эффект масштаба) и транзакционных издержках, которые с достижением определенного размера реализации экспортной продукции непременно начнут увеличиваться.

На объемы экспорта сельскохозяйственной продукции влияет множество факторов. Это и производственные, и природно-климатические, и организационные факторы, влияющие на объемы производства, а следовательно, и экспорта аграрной продукции, и факторы, связанные с инвестиционным климатом индустриализацией и глобализацией аграрного производства [16; 17].

Множество факторов, связанных с индустриализацией и глобализацией агропромышленного комплекса Тюменской области, помимо возможно-

сти получать инвестиции для реализации проектов, становятся особой формой организации бизнес-модели, позволяющей строго формализовать партнерские отношения по осуществлению всех необходимых транзакций с сырьем, готовым экспортным продуктом, сократить все возникающие транзакционные издержки и сформировать дополнительный специфический региональный капитал – бренд Тюменской области – не только в создании туристического потока, но и в рамках регионального аграрного продукта. Поэтому «Слада», «Тюменский бройлер», «Протеинсиб», «Согласие», «Ягоды Сибири», «Молоко Зауралья», «Тюмень Агро» – это и есть ключевые бренды аграрной продукции региональных предприятий, делающие узнаваемой экспортную региональную продукцию и тем самым диверсифицируя ее структуру.

В 2024 году торгово-промышленная палата региона планирует провести больше десятка бизнес-миссий. Принимающей стороной станут как уже знакомые страны, так и новые потенциальные партнеры. Основной упор Тюмень делает на продвижение вглубь азиатского и африканского континентов.

На основании проведенного исследования можно предложить следующие точки роста экспортных возможностей Тюменской области:

1) увеличение объемов товарной массы молочной, мясной, рыбной продукции и продукции пищевой и перерабатывающей промышленности;

2) создание экспортно ориентированной инфраструктуры для предприятий-экспортеров, способствующей как продвижению, так и позиционированию продукции произведенной на предприятиях АПК Тюменской области, а это как раз решит проблему диверсификации экспорта по ключевым каналам поставок. Данная инфраструктура должна включать организации, торговые дома и их коллаборацию, направленные как на продвижение, так и на позиционирование продукции, произведенной на предприятиях АПК Тюменской области;

3) увеличение факторов реализации экспортного потенциала: например, рост инвестиций в основной капитал экспортно ориентированных проектов;

4) устранение торговых барьеров (как тарифных, так и нетарифных), препятствующих выходу предприятий АПК на целевые рынки.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Итак, изучение традиционных и современных экспортных возможностей аграрной сферы Тюменской области с помощью поэтапного применения аналитических инструментов из смежных социально-экономических научных дисциплин в рамках модернизационной теории позволяет констатировать следующее:

1. Экспорт продукции агропромышленного комплекса является одним из важных направлений экономики Тюменской области на международ-

ном рынке. Исследование исторических аспектов показало, что продукция Тюменских производителей и в прошлые века имела огромный успех в других странах в связи с высоким качеством. Эта тенденция продолжается и в настоящее время: тюменские зерно, молоко, овощи, мясные продукты высоко ценятся зарубежными потребителями. Поэтому в соответствии с региональным проектом «Экспорт продукции АПК» перед регионом поставлены задачи наращивания объемов экспорта и его диверсификации.

2. Исследование было проведено как по продукции сельского хозяйства, так и по продукции других отраслей АПК – перерабатывающей и пищевой. Полученные итоги исследования за длительный период времени (с 2000 года) отражают в целом положительную динамику наращивания натуральных объемов экспорта. В 2000 году из сельскохозяйственной продукции Тюменская область экспортировала только молоко, мясо и яйца. С 2001 года начался экспорт картофеля и овощей, а с 2012 года – экспорт зерна. Более подробно проанализирован период с 2014 года, когда в России начала активно реализовываться программа импортозамещения, что обеспечило наращивание агропромышленной продукции. Это позволило не только увеличить продовольственную безопасность региона и страны в целом, но и усилить экспортные возможности. В Тюменской области уже реализованы и реализуются в настоящее время масштабные инвестиционные проекты, имеющие в том числе и экспортную направленность: АО «Аминсиб» (крупнейший производитель аминокислот – пшеничного глютена, кормового L-лизина и другие), ООО «Агрофирма «КРиММ» (овощи), ГК «Данон» (молочная продукция) и другие.

3. Детально проанализирована ситуация с показателями экспорта до введения экономических санкций. Сравнительный анализ показал, что экспорт зерновой продукции не только не уменьшился, но и вырос в динамике лет: по сравнению с 2022 годом рост составил практически 40 %, а за период с 2012 года – 6 %. В Тюменской области произошел резкий спад объемов экспорта молока после 2014 года, и только с 2020 года наметился подъем экспорта, однако до показателей 2014 года довести объемы экспорта пока не удалось, и целом за период с 2012 года наблюдается тенденция снижения на 35,6 %. По экспорту мяса санкционная политика практически не отразилась на вариации показателей объемов продукции. Более того, видна четкая тенденция роста величины экспорта мяса более чем в 4 раза за период с 2012 года. По экспорту овощей только в первые 2 года после 2014 года наблюдается спад, и уже с 2017 года Тюменская область стабильно наращивает экспортный потенциал. Аналогичная ситуация прослеживается по экспорту картофеля.

Санкционная политика практически не повлияла на динамику объемов экспорта яйца. Резкое снижение в 2022 году связано с эпидемией птичьего гриппа на Птицефабрике «Боровская». Однако уже в 2023 году птицефабрика полностью восстановила производственные мощности, что позволило вернуть объемы практически до уровня 2015 года. Следовательно, санкционная политика ни в 2014 году, ни в последующие годы не оказала разрушительного влияния на экспортный потенциал сельскохозяйственной продукции Тюменской области.

4. Проведенный рейтинговый анализ показал, что по уровню натуральных объемов экспорта сельскохозяйственной продукции Тюменская область находится на 3 месте в рейтинге областей Уральского федерального округа. При этом она занимает лидирующие позиции по объемам экспорта картофеля и яиц в среднем за 3 года. Это требует поиска точек роста экспортного потенциала Тюменской обла-

сти. К ним в данном случае относятся дальнейший рост инвестиционной активности в АПК, а также осуществление за счет этого наращивания объемов производства и появления новых отраслей и видов продукции (например, продукции овцеводства, пчеловодства и других), расширение географии продаж, поиск потенциальных торговых партнеров. Это позволит усилить отраслевую и территориальную диверсификацию экспорта региона, повысить его роль на международных рынках.

Представленные практические рекомендации могут быть использованы при формировании стратегий экспортной деятельности региона. Рейтинговый анализ позволяет определить конкурентные преимущества и потенциал развития регионального АПК, что дает возможность разрабатывать стратегические программы развития сельских территорий и позитивно отразится на их экономическом благополучии.

Библиографический список

1. Аграрная импортнезависимость: в ВШЭ обсудили перспективы развития отечественного АПК [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hse.ru/news/expertise/828404734.html> (дата обращения: 20.02.2024).
2. Семин А. Н., Ковалев В. Е., Третьяков А. П., Данилова К. А. Нетарифное регулирование импорта продукции и продовольственная безопасность России // ЭТАП: Экономическая Теория, Анализ, Практика. 2021. № 1. С. 24–46.
3. Святова О. В., Жилияков Д. И., Плахутина Ю. В., Петрушина О. В., Лисицына Ю. В. Экспорт как этап дальнейшей реализации политики импортозамещения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 5 (383). С. 41–45.
4. Ковалева И. В. Перспективы развития внешнеэкономической деятельности сельского хозяйства в условиях реализации экспортной политики АПК // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 2-2. С. 77–82.
5. Беляев С. А., Вакуленко Р. Я., Латышева З. И., Уварова М. Н., Плахутина Ю. В. Особенности региональной политики экспорта продовольствия // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 3. С. 226–230.
6. Кричкер Д. Р., Рущицкая О. А. Перспективные направления экспорта органической продукции АПК Уральского региона // Аграрный вестник Урала. 2021. № 6 (209). С. 80–88. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-209-06-80-88.
7. Шокурова Е. Почти 70 % российского экспорта продукции АПК приходится на 10 регионов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/regions/news/41192-pochti-70-rossiyskogo-eksporta-produktsii-apk-prikhoditsya-na-10-regionov> (дата обращения: 20.02.2024).
8. Сунгуров П. А. Экономический потенциал Тобольской губернии (конец XIX – начало XX вв.) // Современные исследования социальных проблем. 2022. Т. 14, № 1. С. 54–63. DOI: 10.12731/2077-1770-2022-14-1-54-63.
9. Пахомчик С. А., Вакорин Д. В. К 175-летию А. Н. Балакшина – создателя сибирского Союза маслодельных артелей // Зырянские чтения: материалы Всероссийской научной конференции. Курган, 2019. С. 32–34.
10. Гололобов Е. И. Пушной промысел в системе хозяйства Тобольского Севера в 20-е гг. XX в. [Электронный ресурс]. URL: <https://xn----dtbdzdfqbczhet1kob.xn--plai/2019/03/31/pushnoj-promysel-v-sisteme-hozyajstva-tobolskogo-severa-v-20-e-gg-xx-v/> (дата обращения: 16.03.2024).
11. Medvedeva L. B., Goncharenko O. N. Regional personal subsidiary farms in the context of the pandemic // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 291. Article number 03014. DOI: 10.1051/e3sconf/202129103014.
12. Медведева Л. Б., Гончаренко О. Н. Состояние и тенденции развития личных подсобных хозяйств региона // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 9. С. 130–137. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-09-130-137.
13. Митькова Д. Н., Агапитова Л. Г. Состояние и перспективы экспорта продукции АПК Тюменской области // Неделя молодежной науки – 2023: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. Тюмень, 2023. С. 329–337.

14. Медведева Л. Б. Экспортный потенциал агропромышленного комплекса Тюменской области // Экономика и предпринимательство. 2022. № 5 (142). С. 551–554. DOI: 10.34925/EIP.2022.142.5.104.
15. Agapitova L., Butorina G., Larionova N., Medvedeva L. Digital transformation of the agro-industrial complex as a transition to highly efficient production // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 390. Article number 03023. DOI: 10.1051/e3sconf/202339003023.
16. Shaimerdenova A., Agapitova, L. G., Bobrova A. V., et al. Development of optimal crop production model considering existing natural-climatic risks increasing crop yields // Sabrao Journal of Breeding and Genetics. 2023. Vol. 55, No. 3. Pp. 778–795. DOI: 10.54910/sabrao2023.55.3.15.
17. Nusratullin I., Yermeeva O., Butorina G., Novikov S., Kovazhenkov M.A. The main provisions of the evolutionary doctrine in economics // Amazonia Investiga. 2020. Vol. 9, No. 25. Pp. 230–241.

Об авторах:

Любовь Борисовна Медведева, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, организации и управления АПК, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0003-1779-5439, AuthorID 751043. *E-mail: medvedeva_lb@mail.ru*

Людмила Георгиевна Агапитова, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, организации и управления АПК, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0003-3570-8546, AuthorID 764648. *E-mail: agapitova72@list.ru*

Ольга Николаевна Гончаренко, кандидат исторических наук, доцент кафедры философии и социально-гуманитарных наук, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия; ORCID 0000-0002-3761-5071, AuthorID 300355. *E-mail: goncharenko-65@mail.ru*

References

1. Agrarian import dependence: the HSE discussed the prospects for the development of the domestic agro-industrial complex [Internet]. 2023 [cited 2024 Feb 20]. Available from: <https://www.hse.ru/news/expertise/828404734.html>. (In Russ.)
2. Semin A. N., Kovalev V. E., Tret'yakov A. P., Danilova K. A. Non-tariff regulation of product imports and food security in Russia. *ETAP: Economic Theory, Analysis, and Practice*. 2021; 1: 24–26. DOI: 10.24412/2071-6435-2021-1-2446. (In Russ.)
3. Svyatova O. V., Zhilyakov D. I., Plakhutina Yu. V., Petrushina O. V., Lisitsyna Yu. V. Export as the next stage the next stage of the import substitution policy. *International Agricultural Journal*. 2021; 5 (383): 41–45. (In Russ.)
4. Kovaleva I. V. Prospects for the development of foreign economic activity of agriculture in the context of the implementation of the export policy of the agro-industrial complex. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019; 2-2: 77–82. (In Russ.)
5. Belyaev S. A., Vakulenko R. Ya., Latysheva Z. I., Uvarova M. N., Plakhutina Yu. V. Features of regional food export policy. *International Agricultural Journal*. 2022; 3: 226–230. (In Russ.)
6. Krichker D. R., Rushchitskaya O. A. Promising areas of export of organic products of the agro-industrial complex of the Ural region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 06 (209): 80–88. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-209-06-80-88. (In Russ.)
7. Shokurova E. Almost 70 % of Russian exports of agricultural products account for 10 regions [Internet]. 2023 [cited 2024 Feb 20]. Available from: <https://www.agroinvestor.ru/regions/news/41192-pochti-70-rossiyskogo-eksporta-produktsii-apk-prihoditsya-na-10-regionov>. (In Russ.)
8. Sungurov P. A. Economic potential of Tobolsk province (late XIX – early XX centuries). *Modern Studies of Social Issues*. 2022; 1: 54–63. DOI: 10.12731/2077-1770-2022-14-1-54-63. (In Russ.)
9. Pakhomchik S. A., Vakorin D. V. On the 175th anniversary of A. N. Balakshin, the founder of the Siberian Union of Creamery artels. *Zyryanovsky readings: materials of the All-Russian scientific conference*. Kurgan, 2019. Pp. 32–34. (In Russ.)
10. Gololobov E. I. Fur trade in the economic system of the Tobolsk North in the 20s of the XX century [Internet]. 2019 [cited 2024 March 16]. Available from: <https://xn----dtbdzdfqbczhetlkob.xn--plai/2019/03/31/pushnoj-promysel-v-sisteme-hozyajstva-tobolskogo-severa-v-20-e-gg-xx-v/>. (In Russ.)
11. Medvedeva L. B., Goncharenko O. N. Regional personal subsidiary farms in the context of the pandemic. *E3S Web of Conferences*. 2021: 291: 03014. DOI: 10.1051/e3sconf/202129103014.
12. Medvedeva L. B., Goncharenko O. N. The state and development trends of Private subsidiary farms in the region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (09): 130–137. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-09-130-137. (In Russ.)

10. Mit'kova D. N., Agapitova L. G. The state and prospects of export of agricultural products of the Tyumen region. *Youth Science Week – 2023: collection of proceedings of the All-Russian scientific and practical conference*. Tyumen, 2023. Pp. 329–337. (In Russ.)
11. Medvedeva L. B. Export potential of the agro-industrial complex of the Tyumen region. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2022; 5 (142): 551–554. DOI: 10.34925/EIP.2022.142.5.104. (In Russ.)
12. Agapitova L., Butorina G., Larionova N., Medvedeva L. Digital transformation of the agro-industrial complex as a transition to highly efficient production. *E3S Web of Conferences*. 2023; 390: 03023. DOI: 10.1051/e3sconf/202339003023.
13. Shaimerdenova A., Agapitova L. G., Bobrova A. V., et al. Development of optimal crop production model considering existing natural-climatic risks increasing crop yields. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2023; 55 (3): 778–795. DOI: 10.54910/sabrao2023.55.3.15.
14. Nusratullin I., Yermeeva O., Butorina G., Novikov S., Kovazhenkov M. A. The main provisions of the evolutionary doctrine in economics. *Amazonia Investiga*. 2020; 9 (25): 230–241.

Authors' information:

Lyubov B. Medvedeva, candidate of economic sciences, associate professor, associate professors of the department of economics, organization and management of agro-industrial complex, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0003-1779-5439, AuthorID 751043.

E-mail: medvedeva_lb@mail.ru

Lyudmila G. Agapitova, candidate of economic sciences, associate professor, associate professors of the department of economics, organization and management of agro-industrial complex, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0003-3570-8546, AuthorID 764648. *E-mail: agapitova72@list.ru*

Olga N. Goncharenko, candidate of historical sciences, associate professor of the department of philosophy and social sciences and humanities, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; ORCID 0000-0002-3761-5071, AuthorID 300355. *E-mail: goncharenko-65@mail.ru*

Моделирование развития северного оленеводства в Российской Федерации на основе системно-динамического подхода

Н. В. Щербакова

Восточный центр государственного планирования, Москва, Россия

E-mail: nadshch@mail.ru

Аннотация. В 2022 году поголовье северных оленей в Российской Федерации достигло 1,6 млн голов, из которых более 30 % принадлежали хозяйствам населения. Северное оленеводство играет ключевую роль в экономике и культуре коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока России, где оно является важным источником доходов и способствует сохранению традиций этих народов. В статье анализируется текущее состояние северного оленеводства, включая проблемы низкой глубины переработки продукции и необходимость системных изменений для улучшения производительности. **Целью** данного исследования являются оценка и прогноз экономической эффективности развития северного оленеводства в Российской Федерации. **Научная новизна** работы заключается в анализе развития отрасли на основе системно-динамического подхода путем рассмотрения этапов северного оленеводства, сведенных в единую систему путем установления в модели материальных и финансовых связей между ними. **Методы.** Для проведения расчетов была построена экономико-математическая модель, включающая в себя следующие основные этапы северного оленеводства: разведение северных оленей, убой и первичная переработка оленины, переработка оленины и субпродуктов, переработка биологических отходов оленеводства. Модель учитывает различные прогнозные сценарии: инерционный, базовый и стратегический, – различающиеся прогнозными темпами роста показателей. **Результаты.** Основные результаты исследования включают прогнозы поголовья оленей, потребности в оленьих пастбищах, рентабельность отрасли и налоговых поступлений в бюджеты всех уровней до 2030 года. Наиболее перспективным признан стратегический сценарий, предполагающий активное развитие отрасли и создание племенных хозяйств для увеличения поголовья. Предложенные мероприятия по развитию северного оленеводства включают разделение на этническое и промышленное оленеводство, внедрение принципов переработки продукции на федеральном уровне и создание систем переработки оленины. Эти шаги направлены на повышение эффективности отрасли и ее интеграцию в экономику России.

Ключевые слова: северное оленеводство, животноводство, экономическая эффективность, системно-динамический подход, модель развития северного оленеводства

Для цитирования: Щербакова Н. В. Моделирование развития северного оленеводства в Российской Федерации на основе системно-динамического подхода // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 337–348. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-337-348>.

Дата поступления статьи: 14.08.2024, дата рецензирования: 14.11.2024, дата принятия: 02.12.2024.

Modeling the development of northern reindeer husbandry in the Russian Federation based on a system-dynamic approach

N. V. Shcherbakova

Eastern Center of State Planning, Moscow, Russia

E-mail: nadshch@mail.ru

ЭКОНОМИКА

Abstract. In 2022, the number of reindeer in the Russian Federation reached 1.6 million heads, of which more than 30 % belonged to households of the population. Reindeer husbandry plays a key role in the economy and culture of the indigenous peoples of the North, Siberia and the Russian Far East, where it is an important source of income and contributes to the preservation of the traditions of these peoples. The article analyzes the current state of reindeer husbandry, including the problems of low processing depth and the need for systemic changes to improve productivity. **The purpose** of this study is to assess and forecast the economic efficiency of reindeer husbandry development in the Russian Federation. **The scientific novelty** of the work consists in analyzing the development of the industry based on a system-dynamic approach by considering the stages of reindeer husbandry combined into a single system by establishing material and financial links between them in the model. **Methods.** To carry out the calculations, an economic and mathematical model was built, which includes the following main stages of reindeer husbandry: reindeer breeding, slaughter and primary processing of venison, processing of venison and offal, processing of biological waste of reindeer husbandry. The model takes into account various forecast scenarios: inertial, basic and strategic, differing in the predicted growth rates of indicators. **Results.** The main results of the study include forecasts of the number of deer, the need for deer pastures, the profitability of the industry and tax revenues to budgets of all levels until 2030. The most promising strategic scenario is recognized, which involves the active development of the industry and the creation of breeding farms to increase livestock. The proposed measures for the development of reindeer husbandry include the division into ethnic and industrial reindeer husbandry, the introduction of principles of processing products at the federal level and the creation of venison processing systems. These steps are aimed at improving the efficiency of the industry and its integration into the Russian economy.

Keywords: reindeer herding, livestock farming, economic efficiency, system-dynamic approach, reindeer herding development model

For citation: Shcherbakova N. V. Modeling the development of northern reindeer herding in the Russian Federation based on a system-dynamic approach. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 337–348. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-337-348>. (In Russ.)

Date of paper submission: 14.08.2024, **date of review:** 14.11.2024, **date of acceptance:** 02.12.2024.

Постановка проблемы (Introduction)

В 2022 году поголовье северных оленей в Российской Федерации насчитывало 1,63 млн голов, из них 0,56 млн голов (более 30 %) принадлежало хозяйствам населения. Северное оленеводство – важнейший источник доходов для коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации [1]. Помимо обеспечения средств к существованию, традиционное хозяйство во многом способствует сохранению языка, культуры и традиционного образа жизни этих народов [2].

Одной из основных проблем отрасли является низкая эффективность северного оленеводства в целом как отрасли животноводства в Российской Федерации [3]. Причем интенсивность и эффективность этой отрасли сильно дифференцированы по регионам страны [4]. В одних регионах выпасаются сотни

тысяч оленей, в других оленеводство прекратилось или сохранились лишь его отдельные очаги [5].

Большая часть домашних северных оленей выращивается в Ямало-Ненецком автономном округе (761,0 тыс. голов), Ненецком автономном округе (175,0 тыс. голов) и Республике Саха (Якутия) (162,1 тыс. голов). В этих регионах северное оленеводство играет важную экономическую роль и является частью культуры коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока, таких как ненцы, чукчи, эскимосы, якуты и пр. [6–8].

Однако в ряде регионов Российской Федерации северное оленеводство неэффективно и требует реализации организационно-экономических, нормативно-правовых мероприятий по его развитию (Магаданская область, Чукотский автономный округ, Красноярский край и пр.) [9].

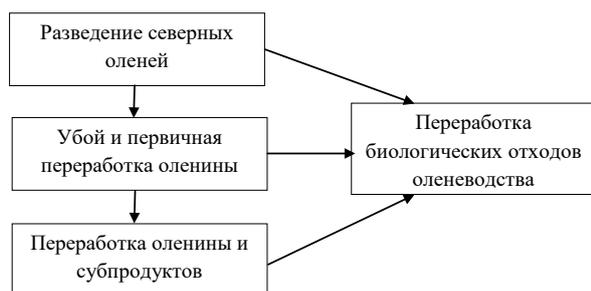


Рис. 1. Основные этапы северного оленеводства

Также имеют место низкий уровень и недостаточная глубина переработки продукции северного оленеводства. По предварительной оценке, в 2022 году в Российской Федерации перерабатывалось 95 % мяса северных оленей в тушах, 97 % субпродуктов из северных оленей, 14 % пантов, 16 % рогов, 8 % концентрированной крови, 33 % шкур. В Российской Федерации такая продукция северного оленеводства, как панты, рога, кровь и шкура, перерабатывается по сравнению с советским периодом и международным опытом в значительно меньших объемах [10]. Из-за низкого уровня переработки продукция первичных переделов имеет высокую стоимость (прежде всего мясо и субпродукты), что существенно снижает ее конкурентоспособность на рынке.

Основной проблемой северного оленеводства является отсутствие комплексного, системного подхода к развитию отрасли, что существенно ограничивает ее потенциал и приводит к стагнации этого вида хозяйственной деятельности.

В данной работе предлагаются системный подход к решению проблем северного оленеводства путем построения модели развития отрасли, связывающей все ее этапы в единую систему, и выработка мероприятий по развитию северного оленеводства в Российской Федерации на основе результатов моделирования.

Методология и методы исследования (Methods)

В основу моделирования развития северного оленеводства в Российской Федерации положена концепция устойчивого развития всего жизненного цикла отрасли – от разведения северных оленей до переработки сырья и утилизации биологических отходов северного оленеводства. Результатом является создание безотходного высокоприбыльного производства и достижение максимального положительного мультипликативного эффекта.

Цель построения модели – оценка и прогноз экономической эффективности развития северного оленеводства в Российской Федерации как по его этапам, так и всей отрасли в целом.

Задачами построения модели являются:

1) построение структуры модели с выделением основных элементов и их взаимосвязей, отображающих северное оленеводство как единую организа-

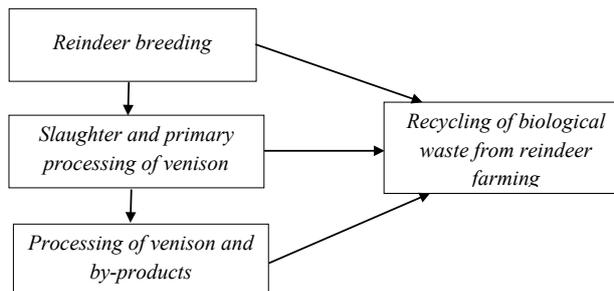


Fig. 1. The main stages of reindeer herding

ционно-экономическую систему;

2) сбор и систематизация данных по северному оленеводству в Российской Федерации;

3) анализ состояния северного оленеводства с определением основной проблематики и путей развития;

4) разработка и расчет сценариев развития северного оленеводства в Российской Федерации на основе модели;

5) выработка мероприятий по развитию северного оленеводства в Российской Федерации до 2030 года.

В модели выделяются и анализируются основные этапы северного оленеводства (рис. 1):

Источниками **исходных данных** для моделирования послужили:

1) Федеральная служба государственной статистики (Росстат);

2) Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС);

3) Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии;

4) Межакадемическая база данных «ЭТНОГИС»;

5) Обоснование плана мероприятий по развитию северного оленеводства Российской Федерации до 2030 года. Проект;

6) открытые источники информации в сети Интернет.

Моделирование развития северного оленеводства в Российской Федерации осуществлялось в программе Microsoft Excel.

Преимущества модели

Настоящая модель развития северного оленеводства в Российской Федерации имеет ряд сильных сторон, позволяющих считать ее достойным инструментом анализа и прогноза развития отрасли.

Преимущества модели:

1. В модели учитываются все основные этапы северного оленеводства, что позволяет рассматривать всю отрасль как единую систему.

2. Модель сбалансирована. Все показатели модели взаимосвязаны и согласуются между собой как на настоящий момент, так и в перспективе. Например, объем производства продуктов переработки оленины (полуфабрикаты из оленины, биологически активные добавки и пр.) зависит в модели от

фактического поголовья северных оленей, количества оленей, направленных на убой, а также объема поставок непроработанной оленины на экспорт.

3. В модели проработано три сценария прогноза, что позволяет учитывать изменение внешних условий развития северного оленеводства.

4. Компактность. Модель состоит из одного файла MS Excel размером 1,5 Мб и включает в себя 8 вкладок, 3 из которых содержат исходные данные, 1 – графическое представление результатов расчетов.

5. В модели наглядно представлены все связи между показателями. В отличие от модели «черного ящика» в данной модели можно проследить влияние одного параметра на другой, понять, какие факторы влияют на конечный результат.

6. Высокая скорость выполнения вычислений. Расчеты по модели происходят практически мгновенно.

Ограничения модели

Ограничения модели следующие:

1. Некоторые исходные данные для моделирования были получены экспертным путем, что обусловлено несовершенством статистического уче-

та развития северного оленеводства в Российской Федерации, а также наличием «теневого сектора» в данной отрасли.

2. В модели нет деления показателей по субъектам Российской Федерации, в которых развито северное оленеводство. Она выполнена на уровне страны в целом.

3. При прогнозе развития северного оленеводства не учитывался территориальный фактор. Многие показатели северного оленеводства (например, продуктивность оленьих пастбищ) сильно варьируются в зависимости от территории [11], поэтому дальнейшим развитием модели будет включение в нее результатов территориального анализа развития северного оленеводства.

4. Отсутствует разделение на промышленное и этническое оленеводство. Показатели развития северного оленеводства зависят не только от территории, но и от целей хозяйствования. Одни оленеводы разводят оленей для собственных нужд, другие – для извлечения прибыли. Для разделения необходимы соответствующие исходные данные, для получения которых требуются дополнительные исследования.

Таблица 1

Потенциал производства продуктов северного оленеводства в расчете на одного оленя, проданного на убой

Показатель	Единица измерения	Значение
Живой вес северного оленя	тонн	0,114
Мясо оленей в тушах	голов	1
	тонн	0,045
Субпродукты из оленей (печень, сердце оленей и т. п.)	тонн	0,005
Рога (панты) оленей	тонн	0,005
Концентрированная кровь оленей	тонн	0,009
Шкуры оленей	штук	1
	тонн	0,0055
Биологические отходы оленеводства (включая шкуры)	тонн	0,049
Доля численности северных оленей, которых можно продавать на убой без вреда для продуктивности стада	доля от общего числа голов	0,15

Table 1

Production potential of reindeer herding, per reindeer sold for slaughter

Indicator	Unit of measurement	Value
Weight of live reindeer	tons	0.114
Reindeer meat in carcasses	heads	1
	tons	0.045
Reindeer by-products (liver, reindeer heart, etc.)	tons	0.005
Reindeer antlers (velvet antlers)	tons	0.005
Concentrated reindeer blood	tons	0.009
Reindeer skins	pieces	1
	tons	0.0055
Biological waste from reindeer herding (including skins)	tons	0.049
Share of reindeer population that can be sold for slaughter without harming herd productivity	share of total number of heads	0.15

Потенциал производства рогового сырья и крови в расчете на одного живого оленя

Показатель	Единица измерения	Значение
Панты оленей	кг в год	5
Доля оленей в стаде, у которых отпиливаются панты	отн. ед.	0,60
Рога оленей	кг в год	5
Доля оленей в стаде, скидывающие рога	отн. ед.	0,76
Концентрированная кровь оленей	кг в год	8,55
Доля оленей в стаде, дающих кровь	отн. ед.	0,60

Table 2

Antler and blood production potential per live reindeer

Indicator	Unit of measurement	Value
Reindeer velvet antlers	kg per year	5
Proportion of reindeers whose antlers are sawed off	rel. units	0.60
Reindeer antlers	kg per year	5
Proportion of deer in a herd that shed their antlers	rel. units	0.76
Concentrated reindeer blood	kg per year	8.55
Proportion of deer in a herd that give blood	rel. units	0.60

5. Рыночные цены на продукцию северного оленеводства взяты ориентировочно. Для повышения точности расчетов экономических показателей нужны маркетинговые исследования рынка продукции северного оленеводства по ее видам (например, среднерыночных цен на оленину, полуфабрикаты из оленины и пр.).

Допущения модели

В процессе расчетов по модели были сделаны следующие допущения, которым предшествовал подробный анализ специфики отрасли:

1. Требуемое количество оленеводов (хозяйств населения) составляет 0,011 человека на одного северного оленя.

2. Требуемое количество наемных работников, занимающихся северным оленеводством, – 0,005 человека на одного северного оленя.

3. Необходимая площадь оленьих пастбищ в расчете на одного оленя – 90 га.

На одного оленя в год требуется от 80 до 100 га пастбищ при тундровом кочевом методе выпаса. В Ямало-Ненецком автономном округе нагрузка на пастбища сегодня доходит до 28 га на оленя, что приводит к деградации пастбищ на 1,2 % в год [6].

4. Доля рожденных и выживших оленей в общей численности стада – 24 %.

Количество важенок в стаде – около 40 %, сохранность телят за первый год – 60–70 %, то есть в стаде из 100 оленей в год рождается и выживает 23–25 телят.

5. Потенциал производства продуктов северного оленеводства в расчете на одного оленя, проданного на убой [12], представлен в таблице 1.

6. Потенциал производства рогового сырья и крови в расчете на одного живого оленя [12] представлен в таблице 2.

7. Срок службы короля (загона для сортировки оленей для прививок и убоя) – 35 лет; фактории – 75 лет; комплекса по убою и первичной переработке оленины – 25 лет; предприятия по переработке оленины и субпродуктов – 25 лет; предприятия по переработке биологических отходов оленеводства (включая шкуры) – 25 лет.

8. Доля валовой добавленной стоимости северного оленеводства в выручке отрасли равна этому отношению в целом по экономике Российской Федерации (41 %).

Основные экономические показатели

К основным экономическим показателям развития северного оленеводства в России, рассчитываемым в модели, относятся:

- валовая добавленная стоимость северного оленеводства;
- коэффициент рентабельности;
- налоговые и прочие поступления в бюджеты всех уровней от северного оленеводства;
- количество рабочих мест в сфере северного оленеводства.

Валовая добавленная стоимость – это разность между выпуском товаров и (или) услуг и промежуточным потреблением, исчисляемая по видам экономической деятельности.

В модели расчет валовой добавленной стоимости северного оленеводства на перспективу велся на основе коэффициента – доли (d_v) валовой добавленной стоимости экономики Российской Федерации (GVA) в выручке (нетто) от продажи товаров, продукции, работ, услуг (In), которая определялась на основе фактических статистических данных за прошедшие годы:

$$d_v = \frac{GVA_0}{In_0}. \quad (1)$$

Затем рассчитывалась валовая добавленная стоимость разведения северного оленеводства (GVA_{ND}) путем умножения доли валовой добавленной стоимости экономики Российской Федерации (GVA) в выручке (нетто) от продажи товаров, продукции, работ, услуг (d_v) на совокупную выручку северного оленеводства (In_{ND}):

$$GVA_{ND} = d_v * In_{ND}. \quad (2)$$

Индекс 0 означает, что берется значение базового года (2022 года или среднее значение за несколько прошлых лет в зависимости от наличия данных), индекс i – значение моделируемого года.

Коэффициент рентабельности (CP) рассчитывается как отношение прибыли к активам или потокам, ее формирующим. В модели он вычислялся как разность между доходами предприятий северного оленеводства (Inc) и их затратами (Exp), деленная на эти затраты:

$$CP = (Inc - Exp) / Exp. \quad (3)$$

Данный показатель был рассчитан для всех рассматриваемых этапов северного оленеводства по отдельности и для отрасли в целом.

Налоговые и прочие поступления в бюджеты всех уровней от предприятий северного оленеводства рассчитывались как сумма налога на добавленную стоимость, налога на прибыль и налога на доходы физических лиц.

Налог на добавленную стоимость определялся как произведение выручки по отдельным видам деятельности на налоговую ставку и дальнейшим суммированием полученных результатов. Налогообложение производится по налоговой ставке 10 % при реализации следующих продовольственных товаров: скот и птица в живом весе, мясо и мясопродукты (за исключением деликатесных), лекарственные средства. Для остальных товаров, рассматриваемых в модели, налоговая ставка установлена на уровне 20 %.

Налог на прибыль (IT) вычислялся путем умножения разности между доходами предприятий отрасли (Inc) и их затратами (Exp) на налоговую ставку, равную 20 % (R_{IT}):

$$IT = (Inc - Exp) * R_{IT}. \quad (4)$$

Общий налог на прибыль определялся суммированием отчислений по налогу на прибыль по этапам северного оленеводства. Ставка налога на прибыль была взята на уровне 20 %.

Налог на доходы физических лиц (P_{IT}) рассчитывался с учетом планового роста средней заработной платы (sal) по формуле:

$$P_{IT} = sal * L * R_{PIT} * 12, \quad (5)$$

где sal – среднемесячная номинальная начисленная заработная плата на одного работника;

L – среднегодовая численность занятых в сфере северного оленеводства;

R_{PIT} – ставка налога на доходы физических лиц, равная 13 %.

Количество рабочих мест в сфере северного оленеводства (LP) рассчитывалось по затратам труда, умноженным на объем выручки северного оленеводства. Затраты труда, в свою очередь, определялись путем деления количества работников (W) на объем выручки (In). Кроме того, производилась корректировка затрат труда по индексу производительности труда на моделируемые годы (Pr).

$$LP_i = In_i * \left(\frac{W_0}{In_0} \right) / Pr_i. \quad (6)$$

Индекс 0 означает, что берется значение базового года (2022 года или среднее значение за несколько прошлых лет в зависимости от наличия данных), индекс i – значение моделируемого года.

Общее количество рабочих мест, созданных северным оленеводством, является суммой рабочих мест по всем его этапам.

Результаты (Results)

Одним из основных результатов исследования является прогноз развития северного оленеводства в Российской Федерации. Прогноз выполнен до 2030 года по трем сценариям: инерционному, базовому и стратегическому. *Инерционный сценарий прогноза* предполагает сохранение существующих тенденций в северном оленеводстве, в частности:

- сокращение площади оленьих пастбищ, пригодных к выпасу, уменьшение поголовья северных оленей, объема производства продукции северного оленеводства;
- снижение числа комплексов по убою и первичной переработке оленины, предприятий по переработке оленины и субпродуктов, предприятий по переработке биологических отходов оленеводства (включая шкуры);
- сохранение производительности труда в северном оленеводстве на современном уровне.

Базовый сценарий прогноза предусматривает постепенное, поступательное развитие северного оленеводства в Российской Федерации, направленное на его устойчивое развитие, включая повышение добавленной стоимости, глубины переработки оленины. В частности, будут иметь место следующие тенденции:

- сокращение площади деградированных оленьих пастбищ;
- площадь оленьих пастбищ останется неизменной;
- рост поголовья северных оленей, а также объемов производства продукции северного оленеводства;
- увеличение числа комплексов по убою и первичной переработке оленины и предприятий по переработке оленины и субпродуктов;
- рост производительности труда в северном оленеводстве более чем в два раза.

Результаты моделирования развития северного оленеводства в Российской Федерации по трем сценариям

№ п/п	Наименование показателя	2022	2030		
			Инерционный сценарий	Базовый сценарий	Стратегический сценарий
1	Поголовье северных оленей, тыс. голов	1485	1295	2033	2367
2	Рентабельность этапов северного оленеводства (без учета субсидий), %	-10	0	5	16
	разведение северных оленей	-39	-35	-18	7
	фактории	-21	-19	-19	-19
	комплексы по убою и первичной переработке оленины	38	45	51	60
	предприятия по переработке оленины и субпродуктов	6	26	19	19
	предприятия по переработке биологических отходов оленеводства	2	26	26	23
3	Налоговые и прочие поступления в бюджеты всех уровней от северного оленеводства, млрд руб.	5,0	7,2	12,0	16,7
4	Объем дотаций, субсидий, пособий в сфере северного оленеводства, млрд рублей	4,8	7,1	8,1	5,0
5	Количество рабочих мест в отрасли, тыс. рабочих мест	28,4	40,5	35,1	40,5
6	Численность занятых в северном оленеводстве, тыс. человек	29,2	22,8	36,7	43,4
7	Дефицит (-) / профицит кадров в сфере северного оленеводства, тыс. человек	0,7	-17,7	1,5	2,9

Table 3

Results of modeling the development of reindeer husbandry in the Russian Federation according to three scenarios

No.	Indicator	2022	2030		
			Inertial scenario	Basic scenario	Strategic scenario
1	Reindeer population, thousand heads	1485	1295	2033	2367
2	Profitability of reindeer husbandry stages (excluding subsidies), %	-10	0	5	16
	reindeer breeding	-39	-35	-18	7
	trading posts (factory)	-21	-19	-19	-19
	slaughter and primary processing complexes for venison	38	45	51	60
	enterprises for processing venison and by-products	6	26	19	19
	enterprises for processing biological waste from reindeer breeding	2	26	26	23
3	Tax and other revenues to budgets of all levels from reindeer breeding, billion rubles	5.0	7.2	12.0	16.7
4	The volume of subsidies, grants, benefits in the sphere of reindeer breeding, billion rubles	4.8	7.1	8.1	5.0
5	The number of jobs in the industry, thousand jobs	28.4	40.5	35.1	40.5
6	The number of people employed in reindeer husbandry, thousand people	29.2	22.8	36.7	43.4
7	Deficit (-) / surplus of personnel in the sphere of reindeer breeding, thousand people	0.7	-17.7	1.5	2.9

Стратегический сценарий прогноза предполагает активное развитие северного оленеводства в Российской Федерации при условии благоприятной конъюнктуры рынка, в частности:

– увеличение площади оленьих пастбищ при сокращении площади деградированных оленьих пастбищ;

– значительный рост поголовья северных оленей, который будет поддерживаться созданием племенных хозяйств с целью разведения северных оленей;

– рост объема и глубины переработки продукции северного оленеводства;

– увеличение числа комплексов по убою и первичной переработке оленины и предприятий по переработке оленины и субпродуктов;

– рост более чем в два с половиной раза производительности труда в северном оленеводстве.

Рост цен на продукцию северного оленеводства, средней заработной платы наемных работников, а также эксплуатационных и капитальных затрат прогнозировался одинаковым для всех сценариев прогноза и рассчитывался через прогнозные индексы цен. Прогноз индексов цен до 2030 года осуществлялся исходя из их среднего значения за последние годы.

Результаты расчета ключевых показателей модели по каждому из трех сценариев приведены в таблице 3.

В качестве целевого сценария развития северного оленеводства в Российской Федерации был принят стратегический, позволяющий наиболее полно реализовать потенциал данной отрасли. Остановимся на нем подробнее, отобразив результаты расчетов основных показателей модели в динамике по этому сценарию (рис. 2–5).

Для увеличения поголовья оленей по стратегическому сценарию необходимо создание племенных хозяйств с целью разведения северных оленей. Прогнозная динамика количества северных оленей, закупаемых в племенных хозяйствах, приведена в таблице 4:

Наиболее предпочтительным сценарием является стратегический, поскольку он позволит вывести северное оленеводство в Российской Федерации на новый уровень, сделает его устойчивым и эффективным.

Мероприятия по развитию северного оленеводства в Российской Федерации

На основе результатов моделирования предлагаются следующие мероприятия по развитию северного оленеводства в Российской Федерации:

1. Соблюдение принципа невывоза необработанной продукции северного оленеводства.

Переработка ресурсов северного оленеводства приобретает межрегиональное и экспортное значение [13]. Сейчас существует запрет на экспорт продукции северного оленеводства (например, рогов), но этот запрет порождает развитие «серого экспорта». Можно ввести пошлины на вывоз непереработанной продукции северного оленеводства.

2. Создание системы комплексов по убою и первичной переработке оленины.



Рис. 2. Динамика поголовья северных оленей. Стратегический сценарий
Fig. 2. Dynamics of reindeer population. Strategic scenario

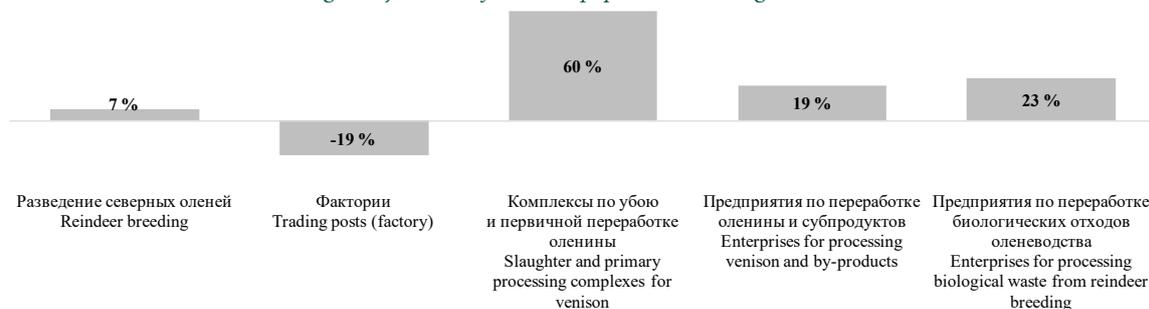


Рис. 3. Рентабельность этапов северного оленеводства. Стратегический сценарий
Fig. 3. Profitability of reindeer herding stages. Strategic scenario

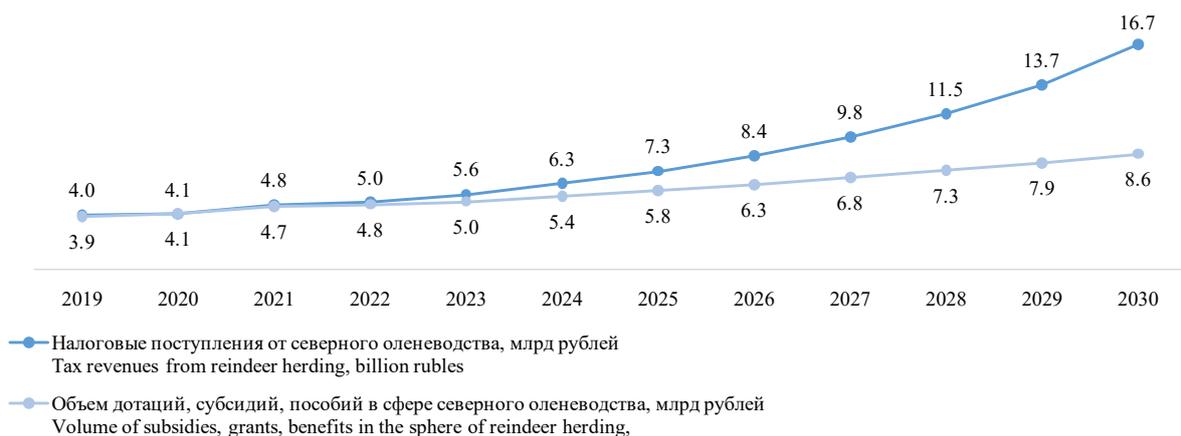


Рис. 4. Налоговые и прочие поступления в бюджеты всех уровней от северного оленеводства. Стратегический сценарий

Fig. 4. Tax and other revenues to budgets of all levels from reindeer husbandry. Strategic scenario

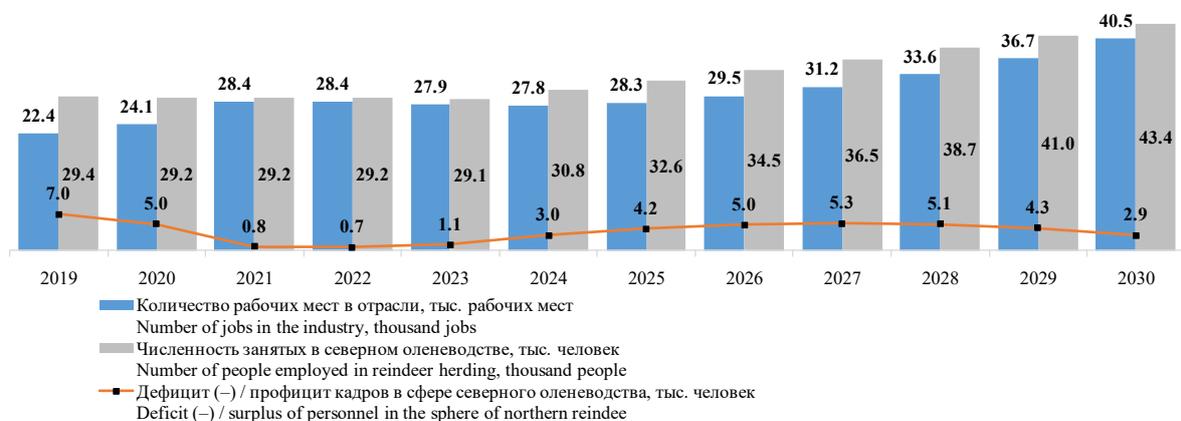


Рис. 5. Количество рабочих мест в сфере северного оленеводства. Стратегический сценарий

Fig. 5. Number of jobs in reindeer herding. Strategic scenario

Таблица 4

Прогнозная динамика количества северных оленей, закупаемых в племенных хозяйствах, по стратегическому сценарию прогноза

Наименование показателя	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Количество оленей, закупаемых в племенных хозяйствах, голов	8 200	8 692	9 214	9 766	10 352	10 973	11 632	12 330

Table 4

Forecasted dynamics of the number of reindeer purchased from breeding farms, according to the strategic forecast scenario

Indicator	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Number of reindeer purchased from breeding farms, heads	8 200	8 692	9 214	9 766	10 352	10 973	11 632	12 330

В них должно быть обеспечено качество оленей в соответствии с действующими стандартами, что сделает возможным использование мяса оленей в школьном питании.

3. Обеспечение прозрачности учета и контроля поголовья северных оленей.

Нужна инвентаризация числа северных оленей, поскольку имеется проблема завышения их количества оленеводами с целью получения дополнительной финансовой выгоды и выполнения нормативов (по приросту количества оленей, наличию самок

оленей (важенок) в стаде, количеству оленей, сдаваемых на убой). Каждому оленю можно присвоить номер или произвести их чипирование.

4. Детальная проработка вопросов перевозки мяса северных оленей, логистических цепочек, механизма компенсации затрат перевозчиков (вознаграждение перевозку в виде процента от продажи мяса или части перевозимого груза).

Например, логистический центр по доставке оленины в Красноярском крае может располагаться в Дудинке.

5. Строительство государственных племенных хозяйств с целью разведения северных оленей с высокой племенной ценностью и продуктивностью, а также с целью сохранения их генофонда.

Требуется строительство как минимум пяти государственных племенных хозяйств по разведению пяти типов северных оленей, а именно:

1) строительство в Ямало-Ненецком автономном округе государственного племенного хозяйства по разведению ненецкого типа северных оленей;

2) строительство в Чукотском автономном округе или в Республике Саха (Якутия) государственного племенного хозяйства по разведению чукотского типа северных оленей;

3) строительство в Республике Саха (Якутия) или в Магаданской области государственного племенного хозяйства по разведению эвенского типа северных оленей;

4) строительство в Республике Саха (Якутия) государственного племенного хозяйства по разведению эвенкийского типа северных оленей;

5) строительство в Иркутской области государственного племенного хозяйства по разведению тофаларского типа северных оленей.

Цена продажи северных оленей должна регулироваться государством. Если она будет высокой, оленеводы не смогут их покупать.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, применение системно-динамического подхода к моделированию развития северного оленеводства в Российской Федерации позволило рассмотреть каждый этап оленеводства как элемент единой системы, проанализировать и спрогнозировать динамику ее развития, оценить ее экономическую эффективность как в целом, так и каждого этапа в частности и выработать механизмы ее повышения.

Конечным результатом работы явились предложенные мероприятия по развитию северного оленеводства в Российской Федерации. Они будут способствовать:

1) улучшению здоровья населения в результате увеличения потребления продукции северного оленеводства.

Польза оленины заключается в высокой питательности, хорошей усвояемости организмом и низкой калорийности. В оленине содержится белка на 2,7–7,6 % больше, чем в лучших сортах говядины. Содержание незаменимых аминокислот выше в 1,5–2 раза, чем в других сортах мяса. По содержанию цинка, меди и железа оленина превосходит другие сорта мяса в процентном отношении от 10 до 100 %. При регулярном включении оленины в пищу можно уменьшить вероятность заболеваний сердца, сахарного диабета, атеросклероза, гипертонии [14].

Регулярное употребление биологически активных добавок из сырья пантового оленеводства оказывает лечебное воздействие на организм человека благодаря входящему в их состав широкому спектру биологически активных веществ, которые по своему происхождению очень близки к естественным регуляторам человеческого организма или идентичны им [15];

2) росту доходов северного оленеводства:

– рост прибыли сельскохозяйственных организаций, индивидуальных предпринимателей, домашних и фермерских хозяйств, занятых разведением северных оленей, с 1,0 млрд рублей в 2022 году до 9,1 млрд рублей в 2030 году (с учетом субсидирования);

– увеличение рентабельности разведения северных оленей с 12 % в 2022 году до 42 % в 2030 году (с учетом субсидирования);

– рост числа северных оленеводов с 17,6 тыс. чел. в 2022 году до 25,3 тыс. чел. в 2030 году;

– рост месячной заработной платы наемных работников, занятых разведением северных оленей, с 35,8 тыс. рублей в 2022 году до 59,3 тыс. рублей в 2030 году, занятых переработкой оленины – с 85,0 тыс. рублей в 2022 году до 140,8 тыс. рублей в 2030 году;

3) увеличению доходов федерального и регионального бюджетов, в которых успешно развивается северное оленеводство.

Благодаря реализации мероприятий налоговые поступления от северного оленеводства вырастут с 5,0 млрд рублей в 2022 году до 16,7 млрд рублей к 2030 году.

Библиографический список

1. Нистен-Хаарала С., Гладун Е.Ф., Тулаева С.А., Захарова О.В. Экономика коренных народов в арктических регионах: традиции и трансформации (на примере России, Финляндии, США) // Экономическая социология. 2022. № 23 (3). С. 11–41. DOI: 10.17323/1726-3247-2022-3-11-41.

2. Копцева Н. П., Нагаева О. С. Традиционное хозяйство коренных малочисленных народов Севера в Красноярском крае: проблемы и перспективы развития // Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки. 2023. № 16 (7). С. 1222–1239.

3. Лаженцев В. Н., Иванов В. А. Стратегия сельского развития северного региона // Экономика региона. 2020. № 16 (3). С. 696–711. DOI: 10.17059/ekon.reg.2020-3-2.

4. Клоков К. Б., Антонов Е. В. Этнокультурно-ландшафтное районирование традиционного северного оленеводства в разрезе муниципальных образований Российской Федерации // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2022. № 67 (4). С. 696–713. DOI: 10.21638/spbu07.2022.408.
5. Клоков К. Б. Оленеводческие ландшафты России: ландшафтное районирование и траектории эволюции оленеводческого хозяйства в конце XX– начале XXI столетия // Сибирские исторические исследования. 2023. № 3. С. 96–112. DOI: 10.17223/2312461X/41/6.
6. Масленникова А. Ю., Катвицкая Ю. С. Повышение эффективности агропромышленного комплекса Ямало-Ненецкого автономного округа на примере отрасли оленеводства // Вопросы управления. 2019. № 3 (39). С. 140–148. DOI: 10.22394/2304-3369-2019-3-140-148.
7. Романенко Т. М., Богданова Е. Н. Трансформация модели развития северного оленеводства в Ненецком автономном округе // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2023. № 4. С. 104–124. DOI: 10.37614/2220-802X.4.2023.82.008.
8. Даянова Г. И., Егорова И. К., Протопопова Л. Д., Крылова А. Н., Никитина Н. Н. Анализ формирования модели государственной поддержки северного домашнего оленеводства на севере России (на примере Республики Саха (Якутия)) // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 6. С. 31–36. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-16109.
9. Валь О. М., Федорова Е. Я. Развитие оленеводства как важный фактор жизнеобеспечения населения Севера России // Теория и практика общественного развития. 2019. № 1 (131). С. 55–60. DOI: 10.24158/tipr.2019.1.10.
10. Межов С. И., Тарасова А. Ю., Рудой Е. В., Афанасьева Т. А. Слобожанин Д. М. Рынок пантового оленеводства: анализ и тенденции // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2 (368). С. 53–57. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-12028.
11. Тарасов М. Е., Терютина М. М., Алексеев Е. Д., Валь О. М. Оленеводство на севере-востоке России // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2018. № 11. С. 195–199. DOI: 10.23672/SAE.2018.2018.20626.
12. Максимов А. А. Глубокая переработка продуктов оленеводства: возможности и направления развития // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2019. № 4 (40). С. 110–118. DOI: 10.19110/1994-5655-2019-4-110-118.
13. Лаженцев В. Н. Арктика и Север в контексте пространственного развития России // Экономика региона. 2021. № 17 (3). С. 737–754. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-3-2.
14. Андронов С. В., Лобанов А. А., Бичкаева Ф. А., Попов А. И., Фесюн А. Д., Мухина А. А., Рачин А. П., Кочкин Р. А., Лобанова Л. П., Богданова Е. Н., Шадуйко О. М., Никитин М. В. Традиционное питание и демография в Арктической зоне Западной Сибири // Вопросы питания. 2020. № 89 (5). С. 69–79. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10067.
15. Попова И. С. Маркетинговые исследования по организации производства и продвижению на рынок лекарственных средств и биологически активных добавок на основе продуктов пантового оленеводства (в условиях Алтайского биофармацевтического кластера): автореф. дис. ... канд. фарм. наук: 14.04.03. Пермь, 2018. 21 с.

Об авторе:

Надежда Викторовна Щербакова, кандидат экономических наук, главный аналитик, Восточный центр государственного планирования, Москва, Россия; ORCID 0000-0002-1233-3756, AuthorID 865746.

E-mail: nadshch@mail.ru

References

1. Nysten-Haarala S., Gladun E. F., Tulaeva S. A., Zakharova O. V. Indigenous economy in the arctic regions: traditions, market, state (on the example of the transformation of the economic activity of the indigenous peoples in Russia, Finland, and the USA). *Economic Sociology*. 2022; 23 (3): 11–41. DOI: 10.17323/1726-3247-2022-3-11-41 (In Russ.)
2. Koptseva N. P., Nagaeva O. S. Traditional economy of indigenous peoples of the North in the Krasnoyarsk Region: problems and development prospects. *Journal of the Siberian Federal University. Humanities*. 2023; 16 (7): 1222–1239. (In Russ.)
3. Lazhentsev V. N., Ivanov V. A. Rural Development Strategy of the Northern Region. *Region Economics*. 2020; 16 (3): 696–711. DOI: 10.17059/ekon.reg.2020-3-2. (In Russ.)
4. Klokov K. B., Antonov E. V. Ethnocultural landscapes zoning of traditional reindeer husbandry in the context of municipalities of the Russian Federation. *Bulletin of St. Petersburg University. Earth Sciences*. 2022; 67 (4): 696–713. DOI: 10.21638/spbu07.2022.408. (In Russ.)

5. Klovov K. B. Russian reindeer herding landscapes: landscape zoning and paths of evolution of reindeer husbandry in the late 20th and early 21st centuries. *Siberian Historical Research*. 2023; 3: 96–112. DOI: 10.17223/2312461X/41/6. (In Russ.)
6. Maslennikova A. U., Katvitskaya U. S. Improving the efficiency of the agro-industrial complex of Yamalo-Nenets autonomous area by the example of reindeer breeding. *Management Issues*. 2019; 3 (39): 140–148. DOI: 10.22394/2304-3369-2019-3-140-148. (In Russ.)
7. Romanenko T. M., Bogdanova E. N. Transformation of the development model of northern reindeer herding in the Nenets Autonomous Okrug. *North and Market: Formation of Economic Order*. 2023; 4: 104–124. DOI: 10.37614/2220-802X.4.2023.82.008. (In Russ.)
8. Dayanova G. I., Egorova I. K., Protopopova L. D., Krylova A. N., Nikitina N. N. Analysis of the formation of a model of state support for northern domestic reindeer husbandry in northern of Russia (on the example of the Republic of Sakha (Yakutia)). *International Agricultural Journal*. 2020; 6: 31–36. DOI: 10.24411/2587-6740-2020-16109. (In Russ.)
9. Val O. M., Fedorova E. Ya. The development of reindeer herding as an important factor in the livelihoods of the Northern Russia population. *Theory and Practice of Social Development*. 2019; 1 (131): 55–60. DOI: 10.24158/tpor.2019.1.10. (In Russ.)
10. Mezhev S. I., Tarasova A. Yu., Rudoy E. V., Afanasyeva T. A. Slobozhanin D. M., The market for velvet antler industry: analysis and tendencies. *International Agricultural Journal*. 2019; 2 (368): 53–57. DOI: 10.24411/2587-6740-2019-12028. (In Russ.)
11. Tarasov M. E., Teryutina M. M., Alekseev E. D., Val O. M. Reindeer breeding in the north-east of Russia. *Humanities, Socio-economic and Social Sciences*. 2018; 11: 195–199. DOI: 10.23672/SAE.2018.2018.20626. (In Russ.)
12. Maksimov A. A. Deep processing of reindeer husbandry products: opportunities and directions for development. *Bulletin of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2019; 4 (40): 110–118. DOI: 10.19110/1994-5655-2019-4-110-118. (In Russ.)
13. Lazhentsev V. N. The Arctic and the North: A Russian Spatial Development Context. *Region Economics*. 2021; 17 (3): 737–754. DOI: 10.17059/ekon.reg.2021-3-2. (In Russ.)
14. Andronov S. V., Lobanov A. A., Bichkaeva F. A. Popov A. I., Fesyun A. D., Mukhina A. A., Rachin A. P., Kochkin R. A., Lobanova L. P., Bogdanova E. N., Shaduyko O. M., Nikitin M. V. Traditional nutrition and demography in the Arctic zone of Western Siberia. *Nutrition Issues*. 2020; 89 (5): 69–79. DOI: 10.24411/0042-8833-2020-10067. (In Russ.)
15. Popova I. S. Marketing research on the organization of production and promotion of medicines and dietary supplements based on reindeer antler products (in the conditions of the Altai biopharmaceutical cluster): abstract of the dissertation ... candidate of pharmaceutical sciences: 14.04.03. Perm, 2018. 21 p. (In Russ.)

Author's information:

Nadezhda V. Shcherbakova, candidate of economic sciences, chief analyst, Eastern Center for State Planning, Moscow, Russia; ORCID 0000-0002-1233-3756, AuthorID 865746. *E-mail: nadshch@mail.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».

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12831 от 31 мая 2002 г.

Оригинал-макет подготовлен в Издательстве Уральского аграрного университета.

620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42.

Отпечатано в ООО Издательский Дом «Ажур».

620075, г. Екатеринбург, ул. Восточная, д. 54.

Дата выхода в свет: 28.02.2025 г. Усл. печ. л. 21,6. Авт. л. 17,9.

Тираж: 2000 экз. Цена: в розницу свободная.



**ВЫСШАЯ
АТТЕСТАЦИОННАЯ КОМИССИЯ
(ВАК)**

При Министерстве образования и науки



**Food and Agriculture Organization
of the United Nations**



ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

eLIBRARY.RU

CYBERLENINKA

