



Уральский государственный  
аграрный университет

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

# АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК УРАЛА

**AGRARIAN BULLETIN  
OF THE URALS**

**T. 24, № 12  
Vol. 24, No. 12**

**2024**

**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 Sótónyi** (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**, “Uralplemstsr” (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. Н. Бесалиев* 1576  
Экологическая оценка сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в зоне южных черноземов Оренбургского Предуралья
- А. М. Галашева, З. Е. Ожерельева* 1586  
Оценка засухоустойчивости, урожайности сортов яблони селекции ВНИИСПК и интродуцированных сортов
- Н. И. Мамсиров, Л. Н. Тхакушинова* 1601  
Влияние элементов агротехнологии на продуктивность гибридов подсолнечника
- И. И. Рассохина, С. В. Ерегина, А. В. Платонов* 1613  
Действие экспериментального препарата, созданного на основе бактерий *Lactobacillus buchneri*, на рост и продуктивность овса посевного
- С. И. Смуров, О. В. Григоров, С. Н. Ермолаев* 1624  
Роль агрометеорологических условий в изменении урожайности ярового ячменя в лесостепной зоне Белгородской области

*Биология и биотехнологии*

- Г. Г. Борисова, М. Г. Малева, М. Дарказанли, А. В. Собенин, М. Ю. Карпухин* 1636  
Влияние Zn-солубилизирующих PGP-ризобактерий на рост и содержание биогенных элементов в сеянцах пшеницы озимой в условиях микрокосма
- М. В. Бытов, Д. Ю. Нохрин, В. Д. Зубарева, А. Г. Исаева, О. В. Соколова* 1648  
Post-GWAS-исследование предрасположенности коров разных пород к маститу
- Т. В. Вобликова, И. А. Лиханова, Я. Н. Мануриков* 1673  
Определение волновых чисел, характеризующих липидный профиль молока с применением Фурье-ИК-спектроскопии
- С. Л. Воробьева, А. С. Тронина, В. М. Юдин, В. В. Равилов, О. П. Неверова* 1684  
Морфометрические показатели медоносных пчел разных пород на территории Удмуртской Республики
- Т. С. Сметанникова, В. А. Филиппова, Е. А. Ылдырым, И. А. Ключникова, Л. А. Ильина* 1694  
Влияние биологической кормовой добавки на микробиоту, показатели молочной продуктивности и воспроизводства коров голштинской породы
- Т. И. Фомина* 1705  
Сезонная динамика фотосинтетических пигментов в побегах очитков (Sedoideae)

*Экономика*

- С. Ш. Аслаева* 1714  
Пространственное развитие сельского хозяйства в регионе
- С. В. Киселев, С. К. Сеитов, И. В. Филимонов, В. А. Самсонов* 1725  
Роль федеральных государственных информационных систем в противодействии развитию теневой экономики в сельском хозяйстве России
- Е. М. Кот, Ф. В. Маханьков, А. С. Лылов, М. В. Ларин* 1734  
Механизм развития социально-экономических взаимоотношений на сельских территориях
- Т. Ю. Серебрякова, Е. В. Журавлев* 1748  
Методика оценки инновационного развития регионального сельского хозяйства

Contents

*Agrotechnologies*

- I. N. Besaliev* 1576  
Ecological assessment of spring soft and durum wheat varieties in the zone of southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals
- A. M. Galasheva, Z. E. Ozherelieva* 1586  
Assessment of drought resistance, yield of apple tree varieties selected by VNIISPCK and introduced varieties
- N. I. Mamsirov, L. N. Tkhakushinova* 1601  
The influence of agrotechnology elements on the productivity of sunflower hybrids
- I. I. Rassokhina, S. V. Eregina, A. V. Platonov* 1613  
Effect of experimental preparation based on bacteria *Lactobacillus buchneri* on growth and productivity of oats (*Avena sativa*)
- S. I. Smurov, O. V. Grigorov, S. N. Ermolaev* 1624  
The role of agrometeorological conditions in changing the yield of spring barley in the forest-steppe zone of the Belgorod region

*Biology and biotechnologies*

- G. G. Borisova, M. G. Maleva, M. Darkazanli, A. V. Sobenin, M. Yu. Karpukhin* 1636  
Effect of Zn-solubilizing PGP-rhizobacteria on growth and content of biogenic elements in winter wheat seedlings under microcosm conditions
- M. V. Bytov, D. Yu. Nokhrin, V. D. Zubareva, A. G. Isaeva, O. V. Sokolova* 1648  
Post-GWAS study of mastitis susceptibility in cows of different breeds
- T. V. Voblikova, I. A. Likhanova, Ya. N. Manurikov* 1673  
Determination of wave numbers characterizing the lipid profile of milk using Fourier transform infrared spectroscopy title
- S. L. Vorobyeva, A. S. Tronina, V. M. Yudin, V. V. Ravilov, O. P. Neverova* 1684  
Morphometric indices of honey bees of different breeds in the territory of the Udmurt Republic
- T. S. Smetannikova, V. A. Filippova, E. A. Yyldyrym, I. A. Klyuchnikova, L. A. Ilyina* 1694  
The influence of a biological feed additive on the microbiota, milk productivity and reproduction parameters of Holstein cattle
- T. I. Fomina* 1705  
Seasonal dynamics of photosynthetic pigments in the shoots of the stonecrops (Sedoideae)

*Economy*

- S. Sh. Aslaeva* 1714  
Spatial development of agriculture in the region
- S. V. Kiselev, S. K. Seitov, I. V. Filimonov, V. A. Samsonov* 1725  
The role of federal state information systems in countering the shadow economy in the Russian agriculture
- E. M. Kot, F. V. Makhankov, A. S. Lylov, M. V. Larin* 1734  
The mechanism of development of socio-economic relations in rural areas
- T. Yu. Serebryakova, E. V. Zhuravlev* 1748  
Methodology for assessing the innovative development of regional agriculture



## Экологическая оценка сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в зоне южных черноземов Оренбургского Предуралья

И. Н. Бесалиев ✉

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

✉ E-mail: [orniish\\_tzk@mail.ru](mailto:orniish_tzk@mail.ru)

**Аннотация.** Цель исследования – оценить параметры адаптивности сортов яровой мягкой и яровой твердой пшеницы, возделываемой в Оренбургском Предуралье, в условиях нарастания засушливости климата. **Методы.** Применялись два метода исследований: полевой с посевом сортов в опытах по экологической пластичности и расчетный для анализа полученных результатов согласно методики по агроэкологической адаптивности. Опыты по экологическому изучению сортов яровой пшеницы проводились на базе опытного поля ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН в 2016–2020 и в 2022–2023 гг. Сорта высевались по предшественнику пар черный в 4-кратной повторности с соблюдением технологии возделывания зерновых культур, принятых в зоне исследований. В опытах изучены наиболее распространенные в данном регионе сорта яровой мягкой и яровой твердой пшеницы. **Результаты.** Погодные условия в годы проведения опытов отличались значительной изменчивостью по гидротермическому коэффициенту по месяцам вегетации, но основная характеристика этих условий определялась нарастанием засушливости климата, характерным в последние годы. Нарастание температуры воздуха сопровождалось неравномерностью выпадения осадков или их отсутствием, что отражалось в формировании средней урожайности сортов по годам. Для агроэкологической оценки использована методика, представленная Самарским федеральным исследовательским центром Российской академии наук (САМ ИЦ РАН). Рассчитаны показатели средней урожайности изученных культур, индекс урожайности сортов, индекс условий года, относительное значение индекса урожайности сорта, степень отзывчивости сорта, степень депрессии урожайности сорта, степень агроэкологической оценки адаптированности сортов. По результатам расчета агроэкологической адаптивности проведено ранжирование сортов по группам их экологической приспособленности. Полученные результаты исследований позволяют отметить сорта с высокой степенью адаптированности: это сорта мягкой пшеницы Ульяновская 105, Альбидум 32, Саратовская 70 и Тулайковская золотистая, а также сорта твердой пшеницы Оренбургская 10, Безенчукская нива и Безенчукская 210. **Научная новизна.** Использованная методика расчета и эффективность полученных оценок изученных сортов мягкой и твердой пшеницы позволяют ее оценить как приемлемую для этих целей. Сорта с высокой степенью экологической адаптивности могут представлять интерес как источники доноров устойчивости к неблагоприятным климатическим факторам.

**Ключевые слова:** адаптивность, сорт, яровая мягкая пшеница, яровая твердая пшеница, урожайность, Оренбургское Предуралье

**Благодарности.** Работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2024–2030 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (FNWZ-2022-0014).

**Для цитирования:** Бесалиев И. Н. Экологическая оценка сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в зоне южных черноземов Оренбургского Предуралья // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1576–1585. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1576-1585>.



# Ecological assessment of spring soft and durum wheat varieties in the zone of southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals

I. N. Besaliev✉

Federal Research Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

✉E-mail: orniish\_tzk@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the study is to evaluate the adaptability parameters of spring soft and spring durum wheat varieties cultivated in the Orenburg Cis-Ural region under conditions of increasing climate aridity. **Methods.** Two research methods were used: field with sowing varieties in experiments on ecological plasticity and calculation for analyzing the results obtained according to the methodology for agroecological adaptability. Experiments on the ecological study of spring wheat varieties were carried out on the basis of the experimental field of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences in 2016–2020 and in 2022–2023. The varieties were sown according to the predecessor of the black pairs in four repetitions in compliance with the technology for cultivating grain crops adopted in the research area. The most common varieties of spring soft and spring durum wheat in this region were studied in the experiments. **Results.** Weather conditions during the years of the experiments were characterized by significant variability in terms of the hydrothermal coefficient over the months of the growing season, but the main characteristic of these conditions was determined by the increase in climate aridity, which has been characteristic in recent years. An increase in air temperature was accompanied by uneven precipitation or its absence, which was reflected in the formation of the average yield of varieties over the years. For the agroecological assessment, the methodology presented by the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SAM IC RAS) was used. Indicators of the average yield of the studied crops, the variety yield index, the index of year conditions, the relative value of the variety yield index, the degree of responsiveness of the variety, the degree of depression in the yield of the variety, the degree of agroecological assessment of the adaptability of varieties were calculated. Based on the results of calculating the agroecological adaptability of the variety, the varieties were ranked according to the groups of their environmental adaptability. The obtained research results allow us to note varieties with a high degree of adaptation: these are the soft wheat varieties Ul'yanovskaya 105, Al'bidum 32, Saratovskaya 70 and Tulaykovskaya Zolotistaya, as well as the durum wheat varieties Orenburgskaya 10, Bezenchukskaya Niva and Bezenchukskaya 210. **Scientific novelty** lies in the practical application and effectiveness of the obtained assessments of the studied varieties of soft and durum wheat for high, medium and low degrees of adaptation. The results obtained may be of interest to them as sources of donors of resistance to adverse climatic factors.

**Keywords:** adaptability, variety, spring soft wheat, spring durum wheat, productivity, Orenburg Cis-Urals

**Acknowledgements.** The work was carried out in accordance with the research plan for 2024–2030. Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center BST RAS (FNWZ- 2022-0014).

**For citation:** Besaliev I. N. Ecological assessment of spring soft and durum wheat varieties in the zone of southern chernozems of the Orenburg Cis-Urals. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1576–1585. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1576-1585>. (In Russ.)

## Постановка проблемы (Introduction)

Сорт является одним из основных средств производства, определяющих в значительной степени повышение эффективности отрасли растениеводства. В условиях климатических изменений, особо резко проявляющихся в последние десятилетия, адаптивность сортов, создание засухоустойчивых, высокоурожайных и эффективных в использовании сортов, является наиболее экономичной стратегией [1]. За последние 60 лет антропогенное изменение климата привело к сокращению общего производ-

ства в сельском хозяйстве во всем мире на 21 %, причем более сильные последствия наблюдались в более засушливых регионах [2].

По оценке международного центра улучшения кукурузы и пшеницы [3], климатические факторы объяснили более 70 % межгодовой изменчивости их урожайности. Как оценивают В. Н. Павлова и др. [4], наиболее чувствительными к изменению климата на территории России оказываются основные зернопроизводящие регионы европейской части России – Центральный, Приволжский и Юж-

ный федеральные округа. При этом положительные тренды фактической урожайности за период с 1998 по 2017 годы обусловлены в том числе достижениями отечественной селекции – внедрением высокоурожайных сортов и гибридов.

В работе В. В. Нейфельда, М. Е. Кадомцевой [5] даже рассматривается необходимость внесения Саратовской и Оренбургской областей в перечень субъектов РФ, территории которых относятся к неблагоприятным для ведения сельскохозяйственного производства.

Для удовлетворения прогнозируемого роста спроса зерна пшеницы урожайность данной культуры имеет практический интерес [6].

Внедрение более пластичных сортов надо рассматривать как инновационный фактор экономики для повышения рентабельности и стабилизации рынка семян [7].

В результате изучения сдвигов генетико-статистических характеристик (ГСХ) за 80-летний период в условиях Северного Зауралья установлено [8], что современные интенсивные сорта в настоящее время с урожайностью до 34,3 ц/га (+ 70,0 % к базовой, т. е. урожайности 1940-х годов) отличаются высокой чувствительностью к изменениям условий среды, что подтверждается углом наклона линии регрессии 50–54° в сравнении с углом наклона линии регрессии от 31° до 39°, характерным для начала изучения.

Генетическая обусловленность реакции сортов изучена при посеве их при разных приемах обработки почвы [9], интенсивности начальных ростовых процессов [10], откликах сортов на сменяющиеся погодные факторы в условиях жарких и засушливых лет [11]. Основное внимание при изучении адаптивности сортов уделяется урожайности сортов и линий при разных погодно-климатических условиях возделывания. К числу наиболее распространенных показателей оценки сортов относятся коэффициент регрессии, параметры стабильности, экологической пластичности, генетической гибкости и др., которые в целом позволяют оценить экологическую приспособленность сорта. Используемые нами в работе методические рекомендации с применением новых показателей оценки сортов позволяют оценить их экологическую приспособленность.

#### Методология и методы исследований (Methods)

Для анализа адаптивной реакции сортов яровой мягкой и твердой пшеницы использованы данные экологического испытания на опытном поле отдела технологии зерновых и кормовых культур Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, расположенного в центральной зоне Оренбургской области. Кадастровый номер участка 56:21:1409001:1. Почва опытного участка – чернозем южный карбонатный.

Сорта яровой мягкой и твердой пшеницы ежегодно высевались по предшественнику черный пар в четырехкратной повторности. Агротехника опыта соответствовала принятым в зоне исследований, посев проводился в первый срок. Уборка осуществлялась прямым комбайнированием комбайном Terrion SR2010. В экологическом изучении были сорта селекции НИИСХ Юго-Востока (г. Саратов), Ульяновского НИИСХ, Самарского НИИСХ и сорта местной селекции.

Для изучения агробиологической адаптивности сортов яровой пшеницы были использованы методические рекомендации, разработанные в НИИСС – филиале Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук и опубликованные в статье [12]. По приведенным в статье формулам нами рассчитаны следующие показатели:

- средняя урожайность каждого сорта за годы испытаний;
- средняя урожайность культуры по годам испытаний;
- средняя урожайность всех сортов по опыту;
- индекс урожайности сорта как разница между средней урожайностью сорта по опыту и средней урожайностью каждого сорта в опыте; показатель может иметь как положительные, так и отрицательные значения;
- относительное значение индекса урожайности сорта – отношение разности средней урожайности сортов и средней урожайности по опыту к средней урожайности по опыту, выраженное в процентах;
- индекс условий года – разность между средней урожайностью сортов за год и средней урожайностью сортов в опыте.
- степень отзывчивости сорта на благоприятный год – отношение разности урожайности в благоприятный год и средней урожайности по сорту к средней урожайности по сорту;
- степень депрессии сорта – отношение разности урожайности сорта в неблагоприятный год и средней урожайности в благоприятный год к урожайности в благоприятный год, выраженное в процентах; имеет отрицательное значение;
- степень агроэкологической адаптивности сорта (DAA) определяется путём сложения трёх показателей: относительного значения индекса урожайности, степени отзывчивости на благоприятные условия и степени депрессии.

По результатам расчета DAA проведено ранжирование сортов по группам экологической адаптированности. Выполнен расчет достоверности различий по вариантам и повторениям опыта с использованием методики Б. А. Доспехова [13], который показал превышение  $F_{\text{факт.}}$  над  $F_{\text{теор.}}$  по источнику информации, что отвергло нулевую гипотезу и давало возможность рассчитать наименьшую существенную разность (НСР) между сортами.

Таблица 1

## Гидротермический коэффициент за май – июль в 2016–2023 гг.

Месяцы	Гидротермический коэффициент по годам						
	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2023
За май – июль	0,52	0,39	0,32	0,61	0,38	1,10	0,54
В том числе за: май	0,98	0,60	0,60	0,18	0,60	3,35	0,27
июнь	0,22	0,66	0,19	0,50	0,34	0,30	0,55
июль	0,47	0,06	0,22	1,36	0,28	0,59	0,76

Table 1

## Hydrothermal coefficient for May – July in 2016–2023

Months	Hydrothermal coefficient by year						
	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2023
For May – July	0.52	0.39	0.32	0.61	0.38	1.10	0.54
Including for: May	0.98	0.60	0.60	0.18	0.60	3.35	0.27
June	0.22	0.66	0.19	0.50	0.34	0.30	0.55
July	0.47	0.06	0.22	1.36	0.28	0.59	0.76

Таблица 2

## Урожайность зерна и индексы урожайности сортов пшеницы мягкой яровой в экологическом сортоиспытании за 2016–2020, 2022–2023 гг.

Сорт	Урожайность зерна, т/га							Средняя	Индекс урожайности сорта, т/га
	Годы								
	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2023		
Саратовская 42	1,00	2,63	1,63	0,78	1,29	1,23	1,08	1,38	–1,6
Учитель	0,97	2,23	1,53	0,84	0,92	1,07	0,89	1,21	–3,3
Альбидум 32	1,32	2,79	1,73	0,95	1,46	1,33	1,04	1,52	–0,2
Саратовская 70	1,33	2,77	1,65	1,09	1,56	1,71	1,18	1,61	+0,7
Тулайковская золотистая	1,14	2,70	1,38	1,14	1,49	1,85	1,36	1,58	+0,4
Ульяновская 105	1,36	3,85	1,73	1,42	1,68	2,62	1,70	2,05	+5,1
Оренбургская 23	1,14	2,54	1,39	1,05	1,34	1,85	1,27	1,51	–0,3
Оренбургская юбилейная	1,24	2,32	1,62	1,14	1,23	1,63	1,33	1,50	–0,4
Оренбургская 30	1,12	2,48	1,58	0,95	1,47	1,78	1,31	1,53	–0,1
<b>Средняя</b>	<b>1,18</b>	<b>2,70</b>	<b>1,58</b>	<b>1,04</b>	<b>1,38</b>	<b>1,67</b>	<b>1,24</b>	<b>1,54</b>	–
НСР <sub>05</sub>	0,24	0,28	0,30	0,24	0,28	0,29	0,15	–	–
Индекс условий года, т/га	–0,36	+1,16	+0,04	–0,50	–0,16	+0,13	–0,28	–	–

Table 2

## Grain yield and yield indices of soft spring wheat varieties in ecological variety testing for 2016–2020, 2022–2023

Variety	Grain yield, tons per 1 ha							Average	The yield index of the variety, tons per 1 ha
	Years								
	2016	2017	2018	2019	2020	2022	2023		
Saratovskaya 42	1.00	2.63	1.63	0.78	1.29	1.23	1.08	1.38	–1.6
Uchitel	0.97	2.23	1.53	0.84	0.92	1.07	0.89	1.21	–3.3
Al'bidum 32	1.32	2.79	1.73	0.95	1.46	1.33	1.04	1.52	–0.2
Saratovskaya 70	1.33	2.77	1.65	1.09	1.56	1.71	1.18	1.61	+0.7
Tulaykovskaya zolotistaya	1.14	2.70	1.38	1.14	1.49	1.85	1.36	1.58	+0.4
Ul'yanovskaya 105	1.36	3.85	1.73	1.42	1.68	2.62	1.70	2.05	+5.1
Orenburgskaya 23	1.14	2.54	1.39	1.05	1.34	1.85	1.27	1.51	–0.3
Orenburgskaya Yubileynaya)	1.24	2.32	1.62	1.14	1.23	1.63	1.33	1.50	–0.4
Orenburgskaya 30	1.12	2.48	1.58	0.95	1.47	1.78	1.31	1.53	–0.1
<b>Average</b>	<b>1.18</b>	<b>2.70</b>	<b>1.58</b>	<b>1.04</b>	<b>1.38</b>	<b>1.67</b>	<b>1.24</b>	<b>1.54</b>	–
LCD <sub>05</sub>	0.24	0.28	0.30	0.24	0.28	0.29	0.15	–	–
Index of the conditions of the year, tons per 1 ha	–0.36	+1.16	+0.04	–0.50	–0.16	+0.13	0.28	–	–



**Результаты (Results)**

Погодные условия по годам опытов характеризовались значительной засушливостью (таблица 1). Гидротермический коэффициент как в целом за период вегетации (май – июль), так и по месяцам отдельно характеризовался как очень засушливый (0,4–0,7 по шкале ГТК Г. Т. Селянинова).

Особой засушливостью в годы проведения исследований отличались условия мая 2019 и 2023 годов, условия июня 2016, 2018, 2020 и 2023 годов, условия июля 2017, 2018, 2020 годов. В мае 2023 года выпало рекордное (в четыре раза выше нормы) количество осадков. В 2017 году условия мая и июня оказались наиболее благоприятными для формирования продуктивности яровой пшеницы, при котором сочетание недостаточного количества осадков с низкими значениями температуры воздуха способствовали слабой испаряемости. Но в целом надо отметить, что погодные факторы в годы проведения опытов отличались крайней неблагоприятностью.

Урожайность сортов яровой мягкой пшеницы, а также индексы урожайности сорта и индексы условий года представлены в таблице 2. Средняя уро-

жайность сортов мягкой пшеницы по годам изменялась от 10,4 ц/га (2019 год) до 27,0 ц/га (2017 год).

Индекс условий года показывает значительное преимущество показателей 2017 года (+1,16 т с 1 га, или 7,5 %). Следует дополнительно отметить, что в этом году в фазы от всходов до выхода в трубку отмечались низкие температуры воздуха, что оказалось немаловажным фактором формирования продуктивности. Значительный отрицательный индекс года получен в 2019 году (–0,50 т с 1 га, или 32,5 %), в 2016 году (–0,36 т с 1 га, или 23,4 %) и в 2023 году (–0,28 ц т 1 га, или 18,2 %).

Наивысший положительный индекс урожайности получен по сорту Ульяновская 105 (+5,1 т с 1 га, или 33,1 %), а наиболее отрицательный индекс – у сорта Учитель (–3,3 т с 1 га, или 21,4 %). Следует отметить также низкий индекс урожайности у сорта Саратовская 42 (–1,6 т с 1 га), остальные сорта имели незначительные индексы данного показателя.

Урожайность сортов яровой твёрдой пшеницы в годы опытов с соответствующими индексами представлены в таблице 3.

**Таблица 3**  
**Урожайность зерна и индексы урожайности сортов яровой твердой пшеницы в экологическом сортоиспытании за 2016–2020, 2022–2023 гг.**

Сорт	Урожайность зерна, т/га							Индекс урожайности сорта, т/га
	Годы						Средняя	
	2016	2017	2018	2020	2022	2023		
Оренбургская 10	0,98	3,42	1,46	0,96	0,88	0,76	1,41	0,00
Оренбургская 21	0,93	3,26	1,47	0,87	0,88	0,63	1,34	–0,07
Безенчукская нива	1,37	3,34	1,47	1,07	1,36	0,86	1,58	+0,17
Безенчукская 210	1,14	3,45	1,50	1,38	1,42	0,81	1,62	+0,24
Безенчукская степная	0,97	3,25	1,54	0,99	1,48	0,70	1,49	+0,08
Безенчукская 205	0,93	3,25	1,68	1,00	1,00	0,49	1,39	–0,02
Луч-25	1,00	2,94	1,21	0,94	1,20	0,57	1,31	–0,10
Харьковская 46	0,90	3,01	1,12	0,78	0,74	0,50	1,18	–0,23
<b>Средняя</b>	<b>1,03</b>	<b>3,24</b>	<b>1,43</b>	<b>1,00</b>	<b>1,12</b>	<b>0,66</b>	<b>1,41</b>	–
LSD <sub>05</sub>	0,15	0,24	0,08	0,19	0,23	0,16	–	–
Индекс условий года, т/га	–0,38	+1,83	+0,02	–0,41	–0,29	–0,75	–	–

**Table 3**  
**Grain yield and yield indices of spring durum wheat varieties in ecological variety testing for 2016–2020, 2022–2023**

Variety	Grain yield, tons per 1 ha							The yield index of the variety, tons per 1 ha
	Years						Average	
	2016	2017	2018	2020	2022	2023		
<i>Orenburgskaya 10</i>	0.98	3.42	1.46	0.96	0.88	0.76	1.41	0.00
<i>Orenburgskaya 21</i>	0.93	3.26	1.47	0.87	0.88	0.63	1.34	–0.07
<i>Bezenchukskaya niva</i>	1.37	3.34	1.47	1.07	1.36	0.86	1.58	+0.17
<i>Bezenchukskaya 210</i>	1.14	3.45	1.50	1.38	1.42	0.81	1.62	+0.24
<i>Bezenchukskaya stepnaya</i>	0.97	3.25	1.54	0.99	1.48	0.70	1.49	+0.08
<i>Bezenchukskaya 205</i>	0.93	3.25	1.68	1.00	1.00	0.49	1.39	–0.02
<i>Luch-25</i>	1.00	2.94	1.21	0.94	1.20	0.57	1.31	–0.10
<i>Khar'kovskaya 46</i>	0.90	3.01	1.12	0.78	0.74	0.50	1.18	–0.23
<b>Average</b>	<b>1.03</b>	<b>3.24</b>	<b>1.43</b>	<b>1.00</b>	<b>1.12</b>	<b>0.66</b>	<b>1.41</b>	–
LSD <sub>05</sub>	0.15	0.24	0.08	0.19	0.23	0.16	–	–
<i>Index of the conditions of the year, tons per 1 ha</i>	–0.38	+1.83	+0.02	–0.41	–0.29	–0.75	–	–

## Агроэкологическая адаптивность сортов яровой мягкой пшеницы (DAA) и значения составляющих его показателей (%), ранг и степень адаптированности

Сорт	Составляющие показатели			DAA		Степень адаптированности
	$L_p$ , %	$R_p$ , %	$D_p$ , %	%	Ранг	
Саратовская 42	-10,4	81,1	-70,3	0,4	6	Низкая
Учитель	-21,4	66,2	-62,3	-17,5	9	Низкая
Альбидум 32	-1,3	82,5	-66,0	15,2	4	Средняя
Саратовская 70	+4,6	75,3	-60,6	19,3	2	Средняя
Тулайковская золотистая	+2,6	72,7	-57,8	17,5	3	Средняя
Ульяновская 105	+33,1	116,9	-64,7	85,3	1	Высокая
Оренбургская 23	-1,9	66,9	-58,7	5,3	5	Средняя
Оренбургская юбилейная	-2,6	53,2	-50,9	-0,3	7	Низкая
Оренбургская 30	-0,6	61,7	-61,7	-0,6	8	Низкая

Примечание. Относительное значение  $L_p$ , % – индекс урожайности сорта,  $R_p$ , % – степень отзывчивости сорта,  $D_p$ , % – степень депрессии сорта, DAA – степень агроэкологической адаптивности сорта.

Table 4

## Agroecological adaptability of spring soft wheat (DAA) varieties and the values of its constituent indicators (%), rank and degree of adaptability

Variety	Component indicators			DAA		Degree of adaptability
	$L_p$ , %	$R_p$ , %	$D_i$ , %	%	Rank	
Saratovskaya 42	-10.4	81.1	-70.3	0.4	6	Low
Uchitel'	-21.4	66.2	-62.3	-17.5	9	Low
Al'bidum 32	-1.3	82.5	-66.0	15.2	4	Average
Saratovskaya 70	+4.6	75.3	-60.6	19.3	2	Average
Tulaykovskaya zolotistaya	+2.6	72.7	-57.8	17.5	3	Average
Ul'yankovskaya 105	+33.1	116.9	-64.7	85.3	1	High
Orenburgskaya 23	-1.9	66.9	-58.7	5.3	5	Average
Orenburgskaya yubileynaya	-2.6	53.2	-50.9	-0.3	7	Low
Orenburgskaya 30	-0.6	61.7	-61.7	-0.6	8	Low

Note. The relative value of  $L_p$ , % is the yield index of the variety,  $R_p$ , % is the degree of responsiveness of the variety,  $D_p$ , % is the degree of depression of the variety, DAA is the degree of agroecological adaptability of the variety.

Индекс условий года по сортам твердой пшеницы значительно превысил в 2017 году значения других лет с существенно низким значением в 2023 году. Индекс урожайности у двух сортов (Безенчукская 210 и Безенчукская нива) существенно превысил по данному показателю другие изученные сорта. Наиболее низкий индекс получен по сорту Харьковская 46.

Агроэкологическая адаптивность охарактеризована через показатели: индекс урожайности ( $L_p$ , %), степень отзывчивости ( $R_p$ , %), степень депрессии ( $D_p$ , %) сорта.

У сорта Ульяновская 105 получено самое высокое из изученного набора сортов относительное значение индекса урожайности (+33,1 %); также положительный, но значительно меньший индекс у двух сортов – Саратовская 70 и Тулайковская золотистая: соответственно +4,6 % и +2,6 %. Низкие индексы урожайности у сортов Учитель (-21,4%) и Саратовская 42 (-10,4 %). По степени отзывчивости на благоприятные условия индексы у сортов изменялась от самой высокой (116,9 %) у сорта

Ульяновская 105, средней (81,1 и 82,5 %) у сортов Саратовская 42 и Альбидум 32 и до самой низкой – у сортов Оренбургская 30 (61,7 %) и Оренбургская юбилейная (53,2 %).

По степени депрессии урожайности зерна минимальное значение у сорта Оренбургская юбилейная (50,9 %). У большинства сортов данный показатель укладывается в рамки значений 57,8–66,0 %. Высокая степень депрессивности получена у сорта Саратовская 42 с самой низкой урожайностью за годы опытов среди набора изученных сортов.

Расчет комплексной оценки степени агроэкологической адаптивности приведен через показатель DAA (степень агроэкологической адаптивности сорта). Полученные результаты позволили оценить адаптированность сортов в интервале значений от -17,50 % до 85,3 %. Особо следует показатель сорта Ульяновская 105 со значениями DAA = 83,5 %. В значительной степени этот сорт оказался самым урожайным в 2017 году, более чем на 10 ц/га превысив среднюю урожайность всех сортов. Он показал значительное увеличение урожайности в среднем

за 7 лет опытов над другими изученными сортами. По итоговой оценке степени адаптированности изученных сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Оренбургского Приуралья отмечаем высокую степень адаптированности сорта Ульяновская 105, среднюю у сортов Альбидум 32, Саратовская 70, Тулайковская золотистая и Оренбургская 23. Низкую степень адаптированности показали сорта Саратовская 42, Учитель, Оренбургская юбилейная и Оренбургская 30.

По показателю индекса урожайности у сортов твердой пшеницы самый высокий результат получен у сортов Безенчукская нива и Безенчукская 210 со значительным преимуществом над другими сортами (таблица 5). Существенно низкий индекс урожайности у сорта Харьковская 46.

По степени отзывчивости на благоприятные условия различия между сортами твердой пшеницы менее значительны, чем индекс урожайности, и преимущество отмечено у сорта Оренбургская 10,

наименьший показатель – у сорта Луч-25. Остальные сорта имели практически равные значения степени отзывчивости на благоприятные условия.

Степень депрессии сортов твердой пшеницы укладывался в две группы:

1) с более высокими значениями депрессии (от –80,6 % до –84,9 %): сорта Оренбургская 21, Безенчукская 205, Луч 25 и Харьковская 46;

2) с относительно низкой депрессивностью сортов (–74,3... –78,5 %), в которую входят остальные сорта: Оренбургская 10, Безенчукская 210, Безенчукская степная и Безенчукская нива.

Обобщенный показатель сорта – степень агроэкологической адаптивности (DAA) – выявил высокую степень адаптированности у трех сортов: Оренбургская 10, Безенчукская нива и Безенчукская 210. Средняя степень адаптированности получена по сортам Оренбургская 21, Безенчукская степная и Безенчукская 205. Сорта Луч 25 и Харьковская 46 показали низкую степень адаптированности.

Таблица 5  
Агроэкологическая адаптивность сортов яровой твердой пшеницы (DAA) и значения составляющих его показателей (%), ранг и степень адаптированности

Сорт	Составляющие показатели			DAA		Степень адаптированности
	$L_p$ %	$R_p$ %	$D_p$ %	%	Ранг	
Оренбургская 10	0,0	142,6	–77,8	64,8	2	Высокая
Оренбургская 21	–5,0	136,2	–80,7	50,5	5	Средняя
Безенчукская нива	12,0	124,8	–74,3	62,5	3	Высокая
Безенчукская 210	14,9	129,8	–76,5	68,2	1	Высокая
Безенчукская степная	5,7	124,8	–78,5	52,0	4	Средняя
Безенчукская 205	–1,4	131,9	–84,9	45,6	6	Средняя
Луч-25	–7,1	115,6	–80,6	27,9	8	Низкая
Харьковская 46	–16,3	129,8	–83,4	30,1	7	Низкая

Примечание. Относительное значение  $L_p$  % – индекс урожайности сорта,  $R_p$  % – степень отзывчивости сорта,  $D_p$  % – степень депрессии сорта, DAA – степень агроэкологической адаптивности сорта.

Table 5  
Agroecological adaptability of spring durum wheat (DAA) varieties and the values of its constituent indicators (%), rank and degree of adaptability

Variety	Component indicators			DAA		Degree of adaptability
	$L_p$ %	$R_p$ %	$D_p$ %	%	Rank	
Orenburgskaya 10	0.0	142.6	–77.8	64.8	2	High
Orenburgskaya 21	–5.0	136.2	–80.7	50.5	5	Average
Bezenchukskaya niva	12.0	124.8	–74.3	62.5	3	High
Bezenchukskaya 210	14.9	129.8	–76.5	68.2	1	High
Bezenchukskaya stepnaya	5.7	124.8	–78.5	52.0	4	Average
Bezenchukskaya 205	–1.4	131.9	–8.49	45.6	6	Average
Luch-25	–7.1	115.6	–80.6	27.9	8	Low
Khar'kovskaya 46	–16.3	129.8	–83.4	30.1	7	Low

Note. The relative value of  $L_p$  % is the yield index of the variety,  $R_p$  % is the degree of responsiveness of the variety,  $D_i$  % is the degree of depression of the variety, DAA is the degree of agroecological adaptability of the variety.



**Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

Производство зерна является сейчас и останется на ближайшее будущее основной задачей для решения продовольственной безопасности нашей страны. В связи изменениями климата (особенно в зерносеющих регионах) производители сталкиваются с вопросами адаптации технологий возделывания к условиям недостатка продуктивной влаги в почве при нарастании температурного режима воздуха. Одним из элементов этой технологической цепи является выведение новых сортов и увеличение площадей под сортами, приспособленными к этим экстремальным условиям.

Возделывание экологически адаптивных сортов является одним из основных принципов современного земледелия, так как наиболее приспособленные из них могут соответствовать изменениям климатических факторов [14; 15]. Высокая урожайность сорта не всегда тождественна ее приспособительным характеристикам. Важна оценка реализация их продуктивности при контрастных условиях

среды [16]. В представленных исследованиях для оценки экологической адаптированности сортов рассмотрены новые комплексные показатели, позволившие ответить на поставленные задачи.

Погодные факторы в зоне проведения научно-исследовательской работы по экологической оценке, сортов яровой мягкой и яровой твердой пшеницы отличались наличием контрастных показателей по температуре воздуха, недостатку продуктивных осадков периодов вегетации.

Урожайность возделываемых сортов изменялась от максимальных значений (3,85 т/га по мягкой и 3,45 т/га по твердой пшенице) до минимальных (0,78 т/га по мягкой и 0,50 т/га по твердой пшенице), что подчеркивает экстремальность условий вегетации в зоне.

Полученные результаты исследований позволяют отметить сорта с высокой степенью адаптированности: это сорта мягкой пшеницы Ульяновская 105, Альбидум 32, Саратовская 70 и Тулайковская золотистая, а также сорта твердой пшеницы Оренбургская 10, Безенчукская нива и Безенчукская 210.

**Библиографический список**

1. Bapela T., Shimelis H., Tsilo T. J., Mathew I. Genetic Improvement of Wheat for Drought Tolerance: Progress, Challenges and Opportunities // *Plants*. 2022. Vol. 11, No. 10. Article number 1331. DOI: 10.3390/plants11101331.
2. Ortiz-Bobea A., Ault T. R., Carrillo C. M., Chambers R. G. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth // *Nature Climate Change*. 2021. Vol. 11, No. 4. Pp. 306–312. DOI: 10.1038/s41558-021-01000-1.
3. Xiong W., Reynolds M. P., Crossa J., Schulthess U., Sonder K., Montes C., Addimando N., Singh R. P., Ammar K., Gerard B., Payne T. Increased ranking change in wheat breeding under climate change // *Nature Plants*. 2021. No. 7 (9). Pp. 1207–1212. DOI: 10.1038/s41477-021-00988-w.
4. Павлова В. Н., Каланка П., Караченкова А.А. Продуктивность зерновых культур на территории России за последние десятилетия // *Метеорология и гидрография*. 2020. № 1. С. 78–94.
5. Нейфельд В. В., Кадомцева М. Е. Механизмы адаптации растениеводства регионов ПФО к последствиям глобальных климатических изменений // *Аграрный научный журнал*. 2022. № 4. С. 37–43. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp37-43.
6. Liu H., Mullan D., Zhao S., Zhang Y., Ye J., Wang Y., Zhang A., Zhao X., Liu G., Zhang C., Chan K., Lu Z., Yan G. Genomic regions controlling yield-related traits in spring wheat: a mini review and a case study for rainfed environments in Australia and China // *Genomics*. 2022. No. 114 (2). Article number 110268. DOI: 10.1016/j.ygeno.2022.110268.
7. Яковлева О. Д. Внедрение новых, пластичных сортов как инновационный фактор экономики в условиях изменений климата // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2019. Т. 21, № 6. С. 116–121.
8. 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.
9. Бесалиев И. Н., Мухитов Л. А., Панфилов А. Л., Каравайцев А. Я. Экологическая пластичность сортов твердой пшеницы по показателям качества зерна в Оренбургском Приуралье // *Известия ОГАУ*. 2020. № 4 (84). С. 29–33.
10. Марченкова Л. А., Давыдова Н. В., Павлова О. В., Чавдарь Л. Ф., Орлова Т. Г., Широколава А. В. Изучение особенностей морфофизиологических параметров растений сортов яровой пшеницы на ранних этапах онтогенеза во взаимосвязи с урожайностью и продуктивностью // *Агрофизика*. 2023. № 2. DOI: 10.25695/AGRPH.2023.02.01.
11. Кинчаров А. И., Демина Е. А. Анализ и краткосрочный прогноз изменения климатических условий в адаптивной селекции яровых зерновых // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 1. С. 23–30. DOI: 10.31857/S2500262722010057.

12. Кинчаров А. И., Демина Е. А., Кинчарова М. Н., Таранова Т. Ю., Муллаянова О. С., Чекмасова К. Ю. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 183 (4). С. 39–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47.

13. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. Москва: Агропромиздат, 1985. 531 с.

14. Поползухина Н. А., Паршуткин Ю. Ю., Поползухин П. В., Василевский В. Д., Гайдар А. А. Адаптивный потенциал сортов твердой яровой пшеницы по урожайности зерна в зависимости от предшественника в Южной Лесостепи Западной Сибири // Вестник ОГАУ. 2019. № 4 (36). С. 40–52.

15. Мадякин Е. В., Горянин О. И. Исследования по адаптивности сортов яровой пшеницы в Поволжье // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 1 (61). С. 40–45. DOI: 10.18286/1816-4501-2023-1-40-45.

16. Марченкова Л. А., Давыдова Н. В., Павлова О. В., Чавдарь Л. Ф., Орлова Т. Г. Оценка селекционного материала яровой мягкой пшеницы на устойчивость к искусственно создаваемым стрессовым ситуациям // Вестник аграрной науки. 2021. № 1 (88). С. 26–32. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.1.26.

### Об авторе:

**Ишен Насанович Бесалиев**, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом технологии зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ORCID 0000-0001-9389-1938, AuthorID 274295.

E-mail: orniish\_tzk@mail.ru

### References

1. Bapela T., Shimelis H., Tsilo T. J., Mathew I. Genetic Improvement of Wheat for Drought Tolerance: Progress, Challenges and Opportunities. *Plants*. 2022; 11 (10): 1331. DOI: 10.3390/plants11101331.

2. Ortiz-Bobea A., Ault T. R., Carrillo C. M., Chambers R. G. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change*. 2021; 11 (4): 306–312. DOI: 10.1038/s41558-021-01000-1.

3. Xiong W., Reynolds M. P., Crossa J., Schulthess U., Sonder K., Montes C., Addimando N., Singh R. P., Ammar K., Gerard B., Payne T. Increased ranking change in wheat breeding under climate change. *Nature Plants*. 2021; 7 (9): 1207–1212. DOI: 10.1038/s41477-021-00988-w.

4. Pavlova V. N., Kalanka P., Karachenkova A. A. Productivity of grain crops in Russia over the past decades. *Meteorology and Hydrography*. 2020; 1: 78–94. (In Russ.)

5. Neyfeld V. V., Kadomtseva M. E. Mechanisms of adaptation of crop production in the regions of the Volga Federal District to the consequences of global climate change. *Agrarian Scientific Journal*. 2022; 4: 37–43. DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp37-43. (In Russ.)

6. Liu H., Mullan D., Zhao S., Zhang Y., Ye J., Wang Y., Zhang A., Zhao X., Liu G., Zhang C., Chan K., Lu Z., Yan G. Genomic regions controlling yield-related traits in spring wheat: a mini review and a case study for rainfed environments in Australia and China. *Genomics*. 2022; 14 (2): 110268. DOI: 10.1016/j.ygeno.2022.110268.

7. Yakovleva O. D. Introduction of new, plastic varieties as an innovative factor in the economy in conditions of climate change. *News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2019; 21 (6): 116–121. (In Russ.)

8. Novokhatin V. V., Shelomentseva T. V., Dragavtsev V. A. A new integrated approach to studying the dynamics of increasing adaptability and homeostaticity in soft spring wheat varieties (using the example of a long history of selection in the Northern Trans-Urals). *Agricultural Biology*. 2022; 57 (1): 81–97. (In Russ.)

9. Besaliev I. N., Mukhitov L. A., Panfilov A. L., Karavaytsev A. Ya. Ecological plasticity of durum wheat varieties in terms of grain quality in the Orenburg Urals. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; 4 (84): 29–33. (In Russ.)

10. Marchenkova L. A., Davydova N. V., Pavlova O. V., Chavdar L. F., Orlova T. G., Shirokolava A. V. Study of the characteristics of the morphophysiological parameters of plants of spring wheat varieties at the early stages of ontogenesis in relation to yield and productivity. *Agrophysics*. 2023; 2. DOI: 10.25695/AGRPH.2023.02.01. (In Russ.)

11. Kincharov A. I., Demina E. A. Analysis and short-term forecast of changes in climatic conditions in adaptive selection of spring grain crops. *Russian Agricultural Science*. 2022; 1: 23–30. DOI: 10.31857/S2500262722010057. (In Russ.)

12. Kincharov A. I., Demina E. A., Kincharova M. N., Taranova T. Yu., Mullayanova O. S., Chekmasova K. Yu. Methodology for assessing the agroecological adaptability of genotypes in conditions of global warming. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Selection*. 2022; 183 (4): 39–47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-39-47. (In Russ.)

13. Dosphehov B. A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. 5th ed., revised. Moscow: Agropromizdat, 1985. 531 p. (In Russ.)

14. Popolzukhina N. A., Parshutkin Yu. Yu., Popolzukhin P. V., Vasilevskiy V. D., Gaydar A. A. Adaptive potential of durum spring wheat varieties for grain yield depending on the predecessor in the Southern Forest-Steppe of Western Siberia. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019; 4 (36): 40–52. (In Russ.)

15. Madyakin E. V., Goryanin O. I. Research on the adaptability of spring wheat varieties in the Volga region. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023; 1 (61): 40–45. DOI: 10.18286/1816-4501-2023-1-40-45. (In Russ.)

16. Marchenkova L. A., Davydova N. V., Pavlova O. V., Chavdar L. F., Orlova T. G. Assessment of breeding material of spring soft wheat for resistance to artificially created stress situations. *Bulletin of Agrarian Science*. 2021; 1 (88): 26–32. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2021.1.26. (In Russ.)

**Author's information:**

**Ishen N. Besaliev**, doctor of agricultural sciences, head of the department of technology of grain and fodder crops, Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ORCID 0000-0001-9389-1938, AuthorID 274295. *E-mail: orniish\_tzk@mail.ru*



## Оценка засухоустойчивости, урожайности сортов яблони селекции ВНИИСПК и интродуцированных сортов

А. М. Галашева<sup>✉</sup>, З. Е. Ожерельева

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

<sup>✉</sup>E-mail: [anna-galasheva@mail.ru](mailto:anna-galasheva@mail.ru)

**Аннотация.** Цель исследования – изучение засухоустойчивости и урожайности сортов яблони селекции ВНИИСПК и интродуцированных сортов для выделения наиболее перспективных сортов на среднерослом клоновом подвое 54-118. **Методы.** Для исследований взяли следующие объекты: сорта яблони селекции ВНИИСПК (Вятч, Министр Киселев, Орловское полесье, Орловский партизан, Память Семакину, Здоровье, Рождественское), сорт польской селекции Ligol и американской селекции Honey Crisp на среднерослом клоновом подвое 54-118. С помощью метода искусственного обезвоживания тканей в листьях выявляли засухоустойчивость сортов яблони (в 2-кратной повторности по 5 листьев в каждой). **Результаты.** Анализ погодных условий (в 2019 г., в 2020 г.) показал средний уровень оводненности в тканях листьев у всех сортов (селекции ВНИИСПК, польской, американской селекции) в течение вегетации (май – август). Выделены сорта с высоким уровнем устойчивости листьев после подвядания и способности к быстрому восстановлению оводненности в лабораторных условиях в 2019 г. (Орловский партизан – 129,2 %, Ligol – 127,5 %, Память Семакину – 125,2 %) и в 2020 г. (Рождественское – 134,1 %, Орловский партизан – 126,3 % и Honey Crisp – 125,4 %). В среднем за семь лет роста деревьев в саду наибольшую урожайность дали сорта селекции ВНИИСПК Рождественское – 7,8 т/га, Здоровье – 7,7 т/га и сорт американской селекции Honey Crisp – 5,5 т/га. **Научная новизна.** За годы исследований выявили, что сорта имеют высокий уровень устойчивости листьев после подвядания и способности к быстрому восстановлению оводненности в лабораторных условиях: 118,4–128,5 %, наиболее высокая – у сортов селекции ВНИИСПК Рождественское (128,5 %) и Орловский партизан (127,7 %). С наибольшей урожайностью в среднем за годы изучения (2019–2023 гг.) выделились сорта селекции ВНИИСПК Рождественское и Здоровье.

**Ключевые слова:** засухоустойчивость, сорта, яблоня, оводненность листьев, урожайность

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России за счет средств субсидии на выполнение государственного задания FGZS-2022-0008. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Галашева А. М., Ожерельева З. Е. Оценка засухоустойчивости, урожайности сортов яблони селекции ВНИИСПК и интродуцированных сортов // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1586–1600. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1586-1600>.

**Дата поступления статьи:** 22.01.2024, **дата рецензирования:** 26.07.2024, **дата принятия:** 02.10.2024.

## Assessment of drought resistance, yield of apple tree varieties selected by VNIISPK and introduced varieties

A. M. Galasheva<sup>✉</sup>, Z. E. Ozherelieva

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK), Zhilina village, Orel region, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: anna-galasheva@mail.ru

**Abstract.** The purpose of the research is the study of drought resistance and yield of apple tree varieties bred by VNIISPK and introduced bred varieties to identify the most promising varieties on medium-sized clonal rootstock 54-118. **Methods.** The following objects were taken for research: apple tree varieties bred by VNIISPK (Rozhdestvenskoe, Pamyat' Semakinu, Ministr Kiselev, Orlovskoe Poles'ye, Vyatic, Orlovskiy Partizan, Zdorov'ye), a variety of the Polish selection Ligol and an American selection Honey Crisp on a medium-growing clonal rootstock 54-118. The drought resistance of apple tree varieties was determined using the method of artificial dehydration of leaf tissue (in 2 repetitions of 5 leaves each). **Results.** Analysis of weather conditions (in 2019, in 2020) showed the average level of water content in leaf tissues of varieties (VNIISPK selection and Polish, American selection) during the growing season (May – August). Varieties with a high level of leaf resistance after wilting and the ability to quickly restore water content in laboratory conditions were identified in 2019 (Orlovskiy Partizan – 129.2 %, Ligol – 127.5 %, Pamyat' Semakinu – 125.2 %) and in 2020 (Rozhdestvenskoe – 134.1 %, Orlovskiy Partizan – 126.3 % and Honey Crisp – 125.4 %). On average, over seven years of tree growth in the garden, the highest yields were given by the VNIISPK varieties Rozhdestvenskoe – 7.8 t/ha, Zdorov'ye – 7.7 t/ha and the American variety Honey Crisp – 5.5 t/ha. **Scientific novelty.** Over the years of research, on average, it has been revealed that varieties have a high level of leaf resistance after wilting and the ability to quickly restore water content in laboratory conditions – 118.4–128.5 %, the highest in varieties selected by VNIISPK Rozhdestvenskoe (128.5 %) and Orlovskiy Partizan (127.7 %). The varieties selected by VNIISPK Rozhdestvenskoe and Zdorov'ye stood out with the highest average yield over the years of study (2019–2023).

**Keywords:** drought resistance, cultivars, apple, leaf hydration, productivity

**Acknowledgments.** The study was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under a subsidy for the implementation of State Task FGZS-2022-0008. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Galasheva A. M., Ozherelieva Z. E. Assessment of drought resistance, yield of apple tree varieties selected by VNIISPK and introduced varieties. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1586–1600. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1586-1600>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 22.01.2024, **date of review:** 26.07.2024, **date of acceptance:** 02.10.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Засуха оказывает воздействие на морфологию, физиологию и биохимию растений [1–3]. Климатические условия в последние десятилетия изменились, часто зимы стали теплые или с температурными колебаниями. Весной и летом наблюдается засуха практически на всей Европейской части России (в том числе в Северо-Западном, Центральном регионах) [4].

По многолетним данным погодных условий Орловской области выявили, что были засухи в июне и июле [5].

Вода играет важную роль в жизнедеятельности и является составной частью всех органов растений. Листья, древесина, кора, плоды состоят на 50–85 % из воды. Больше всего воды в плодах и

меньше в старой древесине. С водой перемещаются в растениях питательные вещества и продукты ассимиляции. Вода участвует в сложных биохимических и физических процессах растений, регулирует их тепловой режим, поддерживает в тканях тургор, в результате чего растения вегетируют и плодоносят. Содержание воды в листьях является одним из основных показателей, влияющим на урожайность, ростовые особенности и развитие растений в засушливых и полусушливых районах, где часто подвергаются периодам засухи [6; 7]. Высокая температура воздуха, недостаток влаги в почве существенно влияют на товарные качества плодов и плодоношение [8; 9].

В стрессовых условиях снижается оводненность тканей у растений. В растении происходит

снижение подвижности воды и активности метаболизма, но проявляется высокая устойчивость к экстремальным климатическим условиям, увеличивается водоудерживающая способность тканей [10].

Оводненность тканей в листьях, водоудерживающая способность, водный дефицит, восстановление оводненности – важные показатели водного режима. Основательно определяют способность растений выдерживать засушливые погодные условия [11; 12].

Урожайность – один из основных показателей в характеристике сорта. Абиотические и биотические факторы среды произрастания (колебания температуры, зимние морозы, весенние заморозки, засуха, иссушающие ветры, повреждения болезнями и вредителями и т. д.) очень сильно влияют на формирование урожая [13].

Сортов яблони российской и зарубежной селекции много, только в настоящее время «Биоресурсная коллекция» ВНИИСПК насчитывает 779 сортообразцов яблони (сортов и гибридных форм) из 25 стран. «Биоресурсная коллекция» состоит из 642 сортов яблони (Россия – 410, Латвия – 41, Беларусь – 31, Украина – 26, США – 23, Швеция – 17, Канада – 14, Германия – 13, Финляндия – 13, Польша – 8, Казахстан – 6, Узбекистан – 6, Литва – 5, Чехия – 5, Франция – 3, Италия – 3, Молдавия – 3, Румыния – 2, Эстония – 2, Великобритания – 2, Нидерланды – 1, Австралия – 1, Корея – 1, Швейцария – 1, Япония – 1) и из 137 гибридных форм (Россия – 124, Беларусь – 10, Украина – 2, Литва – 1). Из 410 российских сортов яблони, 92 сорта принадлежит селекции академика РАН Е. Н. Седова, из них которых 64 сорта входят в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (2023 г.):

– **зимние:** Пепин орловский, Славянин, Ивановское, Александр Бойко, Орловская Есения, Память Семакину, Бежин луг, Орлик, Болотовское, Низкорослое, Вавиловское, Кармен, Василиса, Старт, Веняминовское, Праздничное, Ветеран, Морозовское, Восторг, Гирианда, Поэзия, День победы, Зарянка, Здоровье, Орловская заря, Имрус, Память Исаева, Кандиль орловский, Патриот, Куликовское, Курнаковское, Марго, Тургеневское, Приокское, Афродита, Министр Киселев, Олимпийское, Орловский партизан, Память Хитрово, Свежесть, Память воину, Орловский пионер, Рождественское, Синап орловский, Строевское, Орловское полесье, Талисман, Юбилей Москвы;

– **осенние:** Солнышко, Орловское полосатое, Орфей;

– **летние:** Союз, Юнона, Августа, Раннее алое, Желанное, Масловское, Орлинка, Дарена, Орловим, Радость Надежды, Юбиляр, Осиповское, Яблочный Спас.

Для каждого региона России выбрать адаптированные сорта яблони, которые будут скороплодными, иметь ежегодное плодоношение и давать плоды хорошего товарного качества в настоящее время является актуально.

Подвоев много, важно подобрать подвой для сорта. В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (2023 г.) входят 55 клоновых подвоев: 54-118, 70-20-20, 70-20-21, 71-7-22, 75-1-62, 76-3-6, 83-1-15, К104, К109, Урал 6, ММ106, М9, Урал 8, Парадиска Будаговского, Малыш Будаговского, Волга 3, Урал 4, Урал 5, Волга 8, Волга 12, Волга 18, Урал 1, СК1, СК2, Урал 10, СК3, СК4, СК5, СК7, Урал 2, Урал 3, Урал 7, Урал 11, Урал 14, Урал 56 и др. В Центрально-Черноземном регионе широко распространены сады на среднерослом клоновом подвое 54-118.

Выбор подходящего сорта и подвоя является одним из важных решений для создания интенсивного сада для разных экологических регионов [14].

Цель – дать сравнительную оценку засухоустойчивости и урожайности сортов селекции ВНИИСПК, польской и американской селекции яблони на клоновом (среднерослом) подвое 54-118.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Научные исследования проводились в садах интенсивного типа ФГБНУ ВНИИСПК и в лаборатории физиологии устойчивости плодовых растений (2019–2023 гг.). Для исследований взяты следующие объекты: зимние сорта селекции ВНИИСПК (Орловский партизан, Рождественское, Орловское полесье, Память Семакину, Министр Киселев, Вятич, Здоровье), сорт польской селекции (Ligol) и сорт американской селекции (Honey Crisp) на клоновом (среднерослом) подвое 54-118. Год посадки сада – 2016, схема посадки 5 × 2,5 м.

Подвой среднерослый клоновый – 54-118. Получен В. И. Будаговским от естественного опыления Парадиски Будаговского, привитой в крону подвоя № 13-14. Используется для получения среднерослых деревьев, которые начинают плодоносить на 4–5-й год, засухоустойчив. Древесина подвоя прочная. Под нагрузкой урожая не наклоняются деревья. Корневая система хорошо разветвленная, прочно закрепляется в почве. Отмечена хорошая совместимость с сортами.

Сорта селекции ВНИИСПК:

**Орловский партизан.** Включен в 2010 году в Госреестр по Центрально-Черноземному региону. Зимний, триплоидный. Авторы: Е. Н. Седов, З. М. Серова, Г. А. Седышева, Е. А. Долматов). (Орлик × 13-6-106 (сеянец Суворовца) (4×). Деревья имеют округлую крону, достаточно густую. Деревья быстрорастущие. Кора на штамбе и основных ветвях гладкая, бурая. Цвет побегов темно-коричневый. Побеги толстые, прямые, сильно опушенные. Почки опушенные, крупные, прижа-



тые. Листья зеленые, с сизоватым оттенком, матовые, крупные, морщинистые, широкояйцевидные, коротко заостренные, с винтообразно скрученной верхушкой, с грубой нервацией. Внешний вид – 4,5 балла, масса плодов – 199 г, среднеуплощенные, одномерные, конические, скошенные. Семена недоразвитые, щуплые или нет вообще. Кожица плодов блестящая, гладкая. Плоды зеленые, с румянцем и с полосами свекольного цвета. Подкожные точки светлые, малочисленные. Вкус плодов – 4,4 балла. Мякоть плодов зеленоватая, плотная, сочная. Биохимический состав плодов: аскорбиновой кислоты (4,1 мг / 100 г), содержание сахаров (11,77 %), титруемых кислот (0,51 %). Плоды хранятся до конца января. Сорт высокоурожайный. За годы исследования 2006–2010 отмечено средний урожай 24 кг/дерева или 24 т/га (посадка 5 × 2 м) (рис. 1).

**Министр Киселев.** Принят в Госреестр по Центрально-Черноземному региону в 2017 году. Зимний триплоидный сорт, (Чистотел × Уэлси тетраплоидный). Авторы: Е. Н. Седов, З. М. Серова, Г. А. Седышева. Деревья имеют округлую крону, средней густоты. Деревья крупные. Основные ветви кривые, редкие, отходят от ствола под прямым углом. Кора гладкая, серая. Цвет побегов коричневый. Побеги сильно опушенные, коленчатые, средней толщины, дугообразно изогнутые, округлые в сечении. Листья темно-зеленые, морщинистые, блестящие, с грубой нервацией, среднего размера, широкие, округлые, коротко заостренные, с винтообразно скрученной верхушкой. Пластинка листа слабоопушенная, плоская, изогнута вниз. Черешок листа средней длины и толщины, опушенный. Плод средней одномерности, вес – 170 г. Плоды приплюснутые, конические, широкоребристые, правильной формы. Кожица плодов гладкая, блестящая. Основная окраска зеленая, имеется размытый румянец малинового цвета. Семена коричневые, среднего размера, узкие. Мякоть плодов зеленоватая, сочная,

средней плотности, мелкозернистая. Вкус – 4,4 балла (кисло-сладкий). Биохимический состав плодов: содержание растворимых сухих веществ – 14,2 %, аскорбиновой кислоты – 3,4 мг / 100 г, сахаров – 13,11 %, Р-активных веществ – 387 мг / 100 г, органических кислот – 0,59 %. У сорта Министр Киселев урожайность на 50 % выше контрольного сорта Синап орловский. Плоды созревают к 15 сентября, в холодильной камере хранятся до середины марта. Тип плодоношения смешанный.

Исследовательскую работу проводили по общепринятым методикам [15]. Определяли устойчивость сортов яблони к засухе с помощью метода искусственного обезвоживания. Отбирали по 5 листьев в каждой повторности, проводили в двукратной повторности. Высушивание листьев проводили с помощью камеры Еспес PSL-2КРН (Япония). Листья (четвертый – пятый от верхушки побега) отбирали в утренние часы равномерно со всех сторон кроны в двух повторностях. Погода была жаркая и сухая. Листья каждого сорта укладывали в полиэтиленовые пакеты. Потери воды в тканях листьев сортов яблони определяли на момент завершения процесса завядания (через 4 часа). Через 4 часа завядания определили способность к восстановлению оводненности тканей в листьях. Дальше листья взвешивали на электронных весах. Листья ставили в стеклянные стаканчики с водой для насыщения на 12 часов. Для определения абсолютного сухого веса высушивание листьев проводили в специальных бюксах из металла при температуре 105 °С до постоянной массы.



Рис. 1. Сорт яблони селекции ВНИИСПК Орловский партизан

Fig. 1. Apple cultivar selected by VNIISPK Orlovskiy Partizan



Рис. 2. Сорт яблони селекции ВНИИСПК Министр Киселев

Fig. 2. Apple cultivar selected by VNIISPK Ministr Kiselev

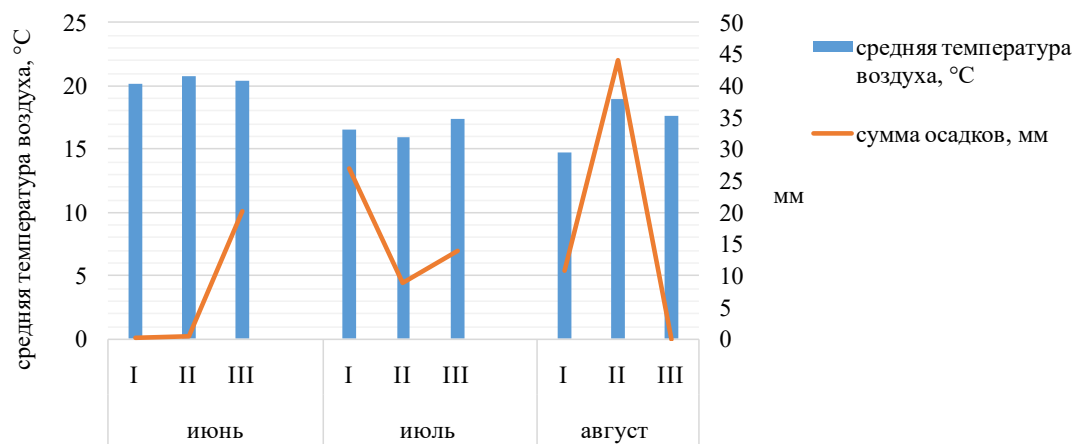


Рис. 3. Средняя температура воздуха и сумма осадков за вегетационный период 2019 г.

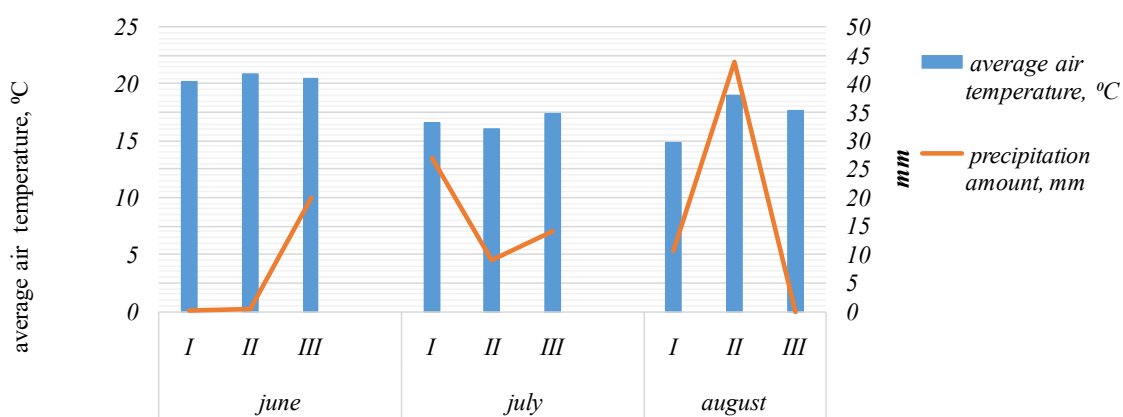


Fig. 3. Average air temperature and precipitation for the growing season in 2019

Определяли гидротермический коэффициент (ГТК) по Селянинову. ГТК – показатель силы засухи. Его вычисляют, зная сумму осадков за вегетационный период и сумму среднесуточных, активных температур. ГТК – характеристика условного баланса влаги за определенный период (май – август) в виде отношения приходной его части (осадки) к расходной (испарение).

Градации ГТК:

- 1,0-1,4 – влажные условия;
- более 1,4 – очень влажные условия;
- менее 1,0 – слабозасушливые условия;
- 1,0–0,7 – засушливые условия;
- 0,7–0,4 – очень засушливые условия;
- меньше 0,4 – сухие условия [16].

Изучение урожайности сортов яблони выполняли по «Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» [17]. Учетная делянка – 10 деревьев, повторность – трехкратная.

Полученные данные обрабатывали с помощью программы MS Excel, использовали дисперсионный анализ [18].

### Результаты (Results)

У деревьев яблони в засушливых климатических условиях происходит сбрасывание завязи, снижается закладка плодовых почек, прекращается

рост, резко уменьшаются урожай и товарные качества плодов [19; 20]. В конце XX – начале XXI века отмечено повышение температуры воздуха, которое влияет на гидротермические условия периода вегетации [21; 22].

Летние месяцы (июнь, июль, август) в 2019 году были засушливые. В июне средняя температура воздуха была +20,5 °C, ГТК = 0,34 (сухие условия), сумма осадков за месяц составила 20,7 мм, максимальная температура воздуха была +31,5 °C, средняя температура воздуха составила 20,8 °C (рис. 3). Изучение показало, что оводненность тканей в листьях у сортов яблони была на среднем уровне: от 61,7 % у сорта селекции ВНИИСПК Орловское полесье до 67,0 % у сорта американской селекции Honey Crisp. В 2019 году июле ГТК составил 0,95, показатель оводненности в тканях листьев у всех сортов незначительно снизился на 0,5–9,3 %. В августе 2019 года выпадение осадков составило в среднем 54,7 мм, ГТК составил 1,03. Показатель оводненности листьев в августе понизился у всех изучаемых сортов: от 0,3 % у сорта Ligol до 21,6 % у сорта яблони селекции ВНИИСПК Память Семякину. Существенных различий между сортами не выявили (рис. 4).

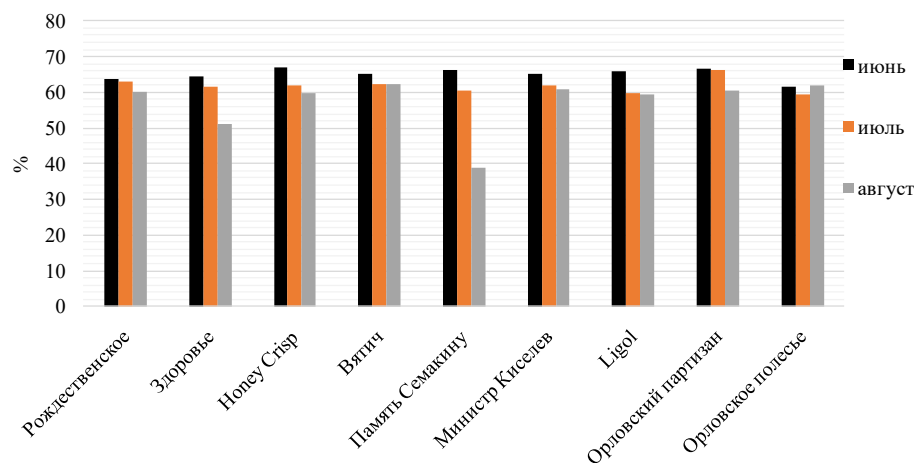


Рис. 4. Оводненность листьев в течение вегетации 2019 г. (июнь – август,  $HCP_{05} = F\phi < Fm$ )

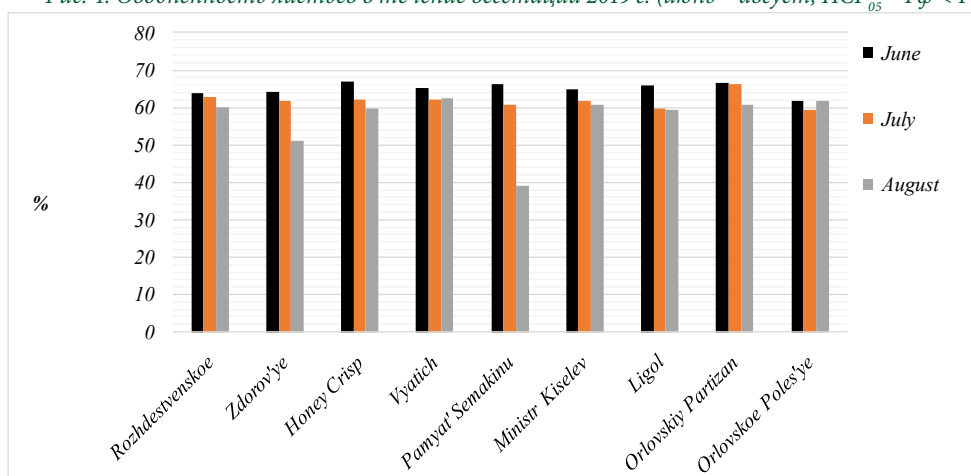


Fig. 4. Leaf hydration during the 2019 growing season (June – August,  $LSD_{05} = F\phi < Ft$ )

В 2020 году климатические условия в июне были засушливые, максимальная температура воздуха составила 32,0 °С, средняя температура воздуха – 19,9 °С, сумма осадков – 46,4 мм (рис. 5), ГТК = 0,78. В июне 2020 года высокая оводненность в молодых листьях была у сортов селекции ВНИИСПК Здоровье – 71,1 %, Министр Киселев – 69,9 %, Орловский партизан 69,8 % и у сорта польской селекции Ligol – 70,6 % (рис. 6). Максимальная температура в июле достигала до 34,5 °С. Средняя температура июля была 19,6 °С, сумма осадков составила 111,6 мм, ГТК = 1,84 (избыточное увлажнение).

В июле 2020 года у сорта селекции ВНИИСПК Вятчи показатель оводненности в листьях составил 69,3 %. У других изучаемых сортов произошло снижение (существенных различий не было). В августе ГТК = 0,46 (недостаточное увлажнение), средняя температура воздуха была 18,2 °С, сумма осадков составила 26,0 мм. Оводненность в листьях имела существенные различия у сортов Honey Crisp (63,3 %) и Здоровье (60,8 %). В августе у зимних сортов яблони идет активный процесс формирования и созревания плодов. (рис. 6).

За два года изучения при таких погодных условиях отмечен средний показатель оводненности тканей листьев у всех исследуемых сортов.

Водный дефицит – когда растительные клетки испытывают недостаток воды. Для устойчивых форм растений при оценке водного режима листа в момент взятия образцов водный дефицит должен быть 10–20 %. Для неустойчивых форм – более 30 %. У растений, устойчивых к засухе, – 35–40 % [5].

Июнь 2019 года был сухим (ГТК = 0,34). Наименьший показатель водного дефицита в полевых условиях был отмечен у сорта яблони Память Семякину (3,8 %), наибольший показатель водного дефицита – у сортов селекции ВНИИСПК Рождественское (8,9 %) и Вятчи (8,8 %). В июле 2019 года погодные условия были засушливые (ГТК = 0,92), водный дефицит повысился у сортов Орловский партизан (5,2 %), Ligol (6,6 %), Память Семякину (6,3 %), Министр Киселев (6,3 %), Орловское полестье (10,0 %). В августе 2019 года гидротермический коэффициент составил 1,03, наибольший показатель водного дефицита в листьях отмечен у сортов Орловский партизан (12,3 %), Министр Киселев (9,5 %), Honey Crisp (9,2 %) (рис. 7).

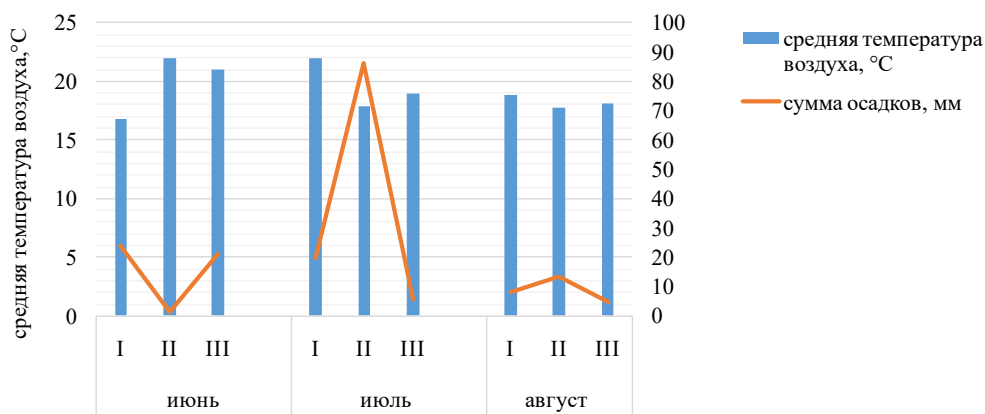


Рис. 5. Средняя температура воздуха и сумма осадков за вегетационный период 2020 г.

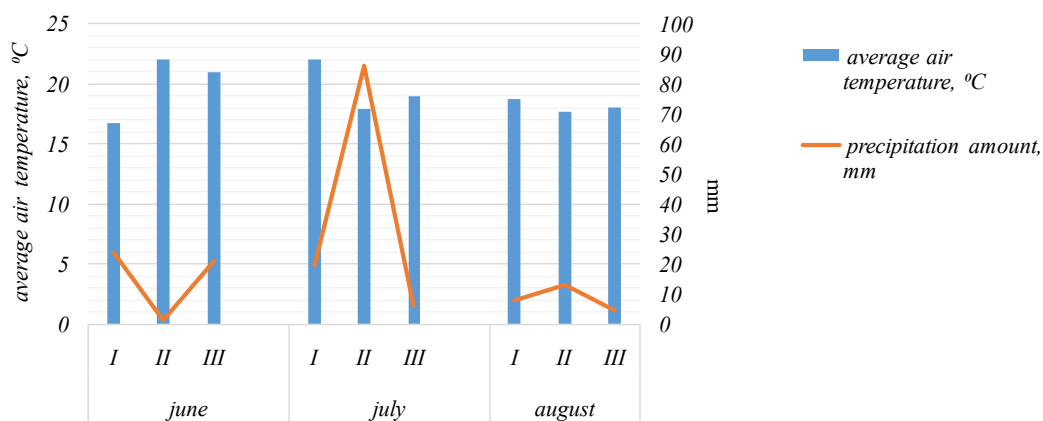


Fig. 5. Average air temperature and precipitation for the growing season in 2020

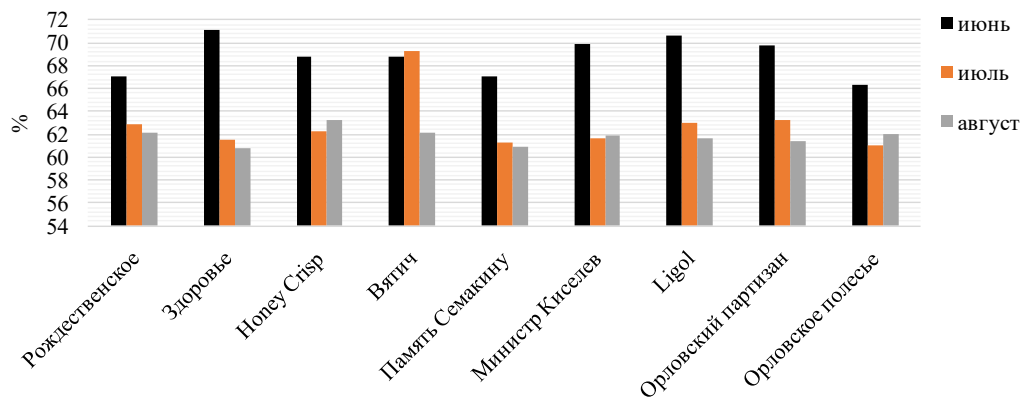


Рис. 6. Оводненность листьев в течение вегетации 2020 года (июнь:  $HCP_{05} = 3,7$ , июль:  $F_f < F_t$ , август:  $HCP_{05} = 0,8$ )

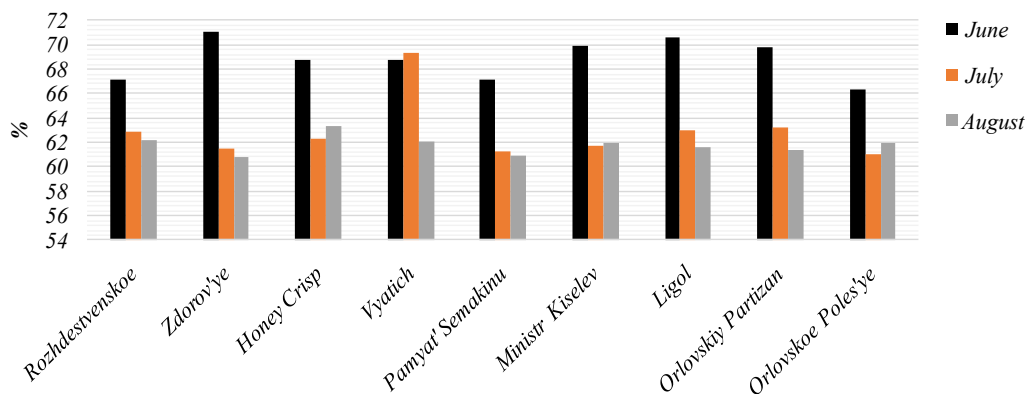


Fig. 6. Leaf hydration during the 2020 growing season (June:  $LSD_{05} = 3.7$ ; July  $F_f < F_t$ , August:  $LSD_{05} = 0.8$ )



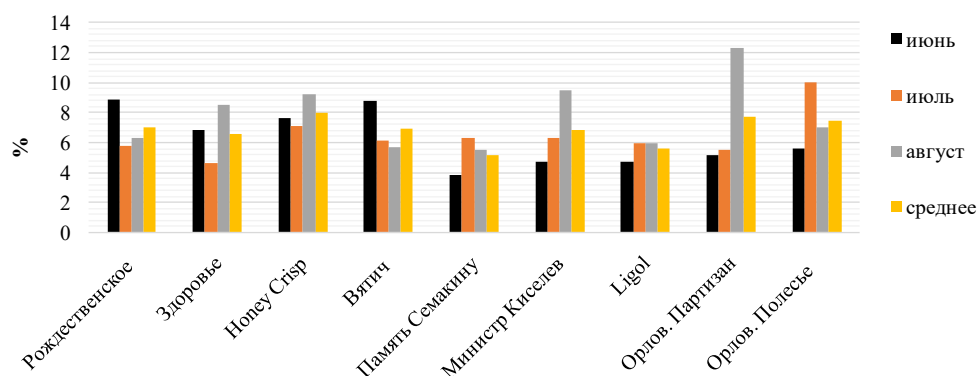


Рис. 7. Водный дефицит у листьев сортов яблони в саду в июле – августе 2019 года, % ( $LSD_{05} F\phi < Fm$ )

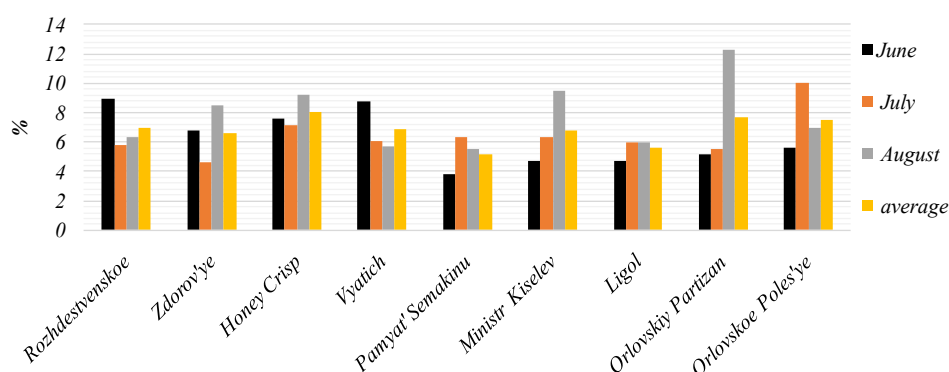


Fig. 7. Water deficiency of leaves of apple cultivars in the garden during the June – August 2019, % ( $LSD_{05} F\phi < Fm$ )

Среди изучаемых сортов в 2020 году в июне при ГТК = 0,78 (засушливые условия) отмечен наибольший показатель водного дефицита в листьях сортов: Министр Киселев – 9,2 %, Здоровье – 9,4 %, Орловское полесье – 10,8 %, Вятич – 12,3 %, Орловский партизан – 15,6 %. Гидротермический коэффициент в июле 2020 был равен 1,84 (избыточное увлажнение), водный дефицит повысился у сортов Память Семакину (9,1 %) и Honey Crisp (8,9 %). У остальных сортов понизился. В августе 2020 года погодные условия были сухие, ГТК составил 0,46, водный дефицит листьев у всех изучаемых сортов понизился по сравнению с июлем. У сорта яблони Орловский партизан водный дефицит листьев повысился и составил 10,2 %, что существенно выше, чем у других сортов (рис. 8).

Водный дефицит тканей листьев сортов яблони можно изучить и в лабораторных условиях, это более ускоренный метод для выделения наиболее засухоустойчивых сортов. В июне 2019 года в лабораторных условиях водный дефицит тканей листьев составил от 17,2 % (Вятич) до 28,3 % (Орловское полесье). В июле 2019 года у сорта американкой селекции Honey Crisp понизился водный дефицит (20,6 %), у остальных сортов повысился. В августе 2019 года выявили повышение водного дефицита тканей листьев у сортов от 36,1 % (Ligol) до 54,1 % (Здоровье), кроме сорта Орловское полесье – 37,5 % (рис. 9). В августе у деревьев происходит основное созревание плодов, идет процесс поступления воды из листьев в плоды.

В 2020 году в июне у изучаемых сортов водный дефицит тканей листьев после моделирования засухи (в лабораторных условиях) был низкий. Водный дефицит листьев был существенно больше у сортов Honey Crisp (31,2 %), Орловский партизан (29,8 %), Орловское полесье (27,0 %), Вятич (26,3 %), Здоровье (26,3 %), чем и других изучаемых сортов. В июле 2020 года у изучаемых сортов показатель водного дефицита в листьях повысился, значительно повысился у сорта Здоровье (на 31,0 %). В августе 2020 года после моделирования засухи водный дефицит в листьях у большинства сортов увеличился: Ligol – 44,2 %, Орловское полесье – 37,1 %, Орловский партизан – 36,4 %, Honey Crisp – 36,5 % (рис. 10). Исследования показали, что по среднему показателю водного дефицита листьев существенных различий между сортами нет.

Исследования оводненности листьев в лабораторных условиях (моделирование засухи) показали, что в среднем за вегетационный период 2019 года существенных различий между сортами не было, наибольший показатель – у сортов Орловский партизан (129,2 %) и Ligol (127,5 %). Наименьший показатель оводненности листьев в лабораторных условиях получен у сортов Орловское полесье (114,5 %) и Здоровье (114,6 %).

В 2020 году наибольший показатель оводненности тканей листьев после моделирования засухи был у сорта Рождественское (134,1 %), наименьший – у сорта Ligol (109,5 %) (рис. 11).

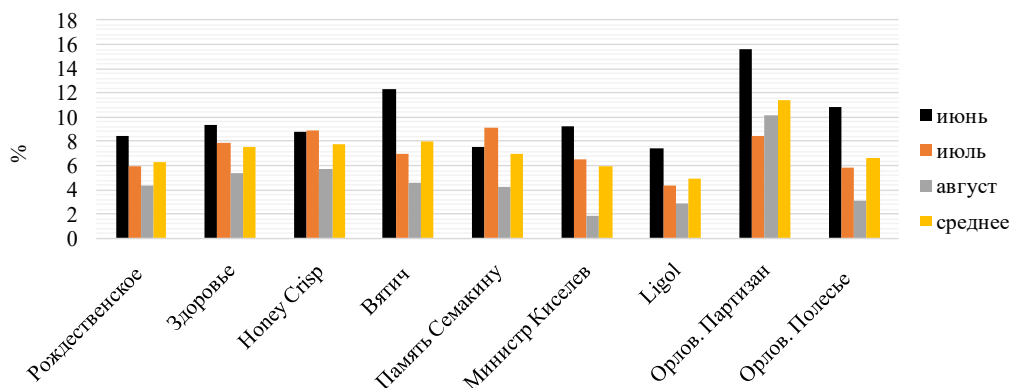


Рис. 8. Водный дефицит у листьев сортов яблони в саду в июле – августе 2020 года, % ( $HCP_{05}, F\phi < Fm$ )

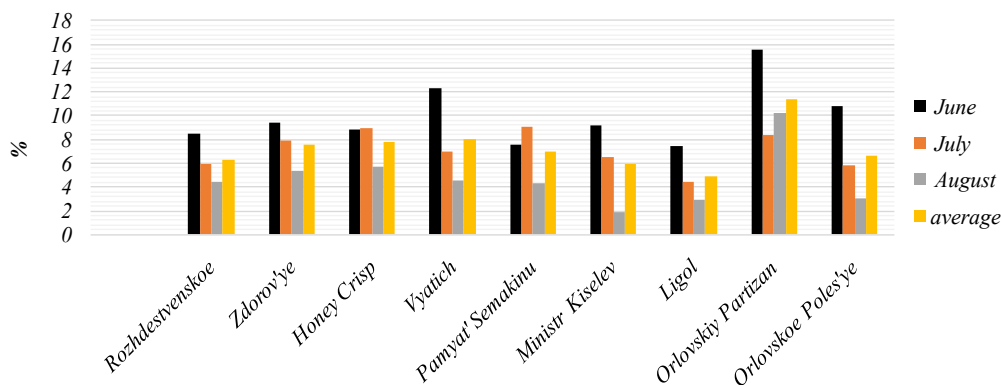


Fig. 8. Water deficiency of leaves of apple cultivars in the garden during the June – August 2020, % (June, July:  $LSD_{05}, F\phi < Ft$ ; August:  $LSD_{05} = 2,7$ )

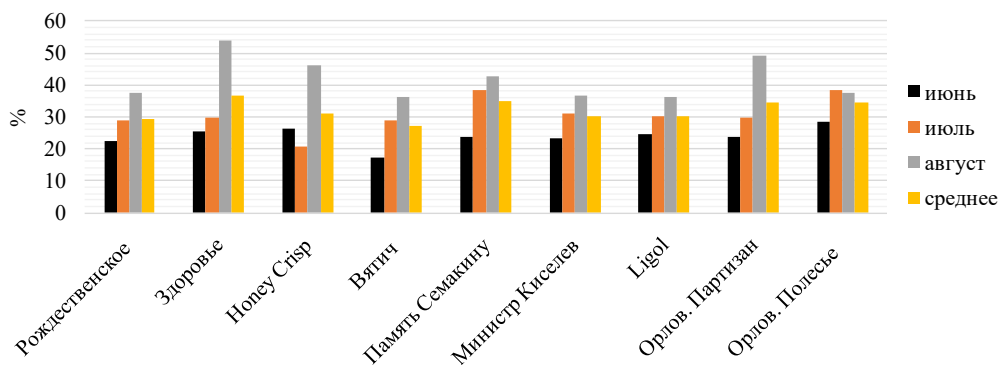


Рис. 9. Определение водного дефицита листьев сортов яблони после моделирования засухи, 2019, % ( $HCP_{05}, F\phi < Fm$ )

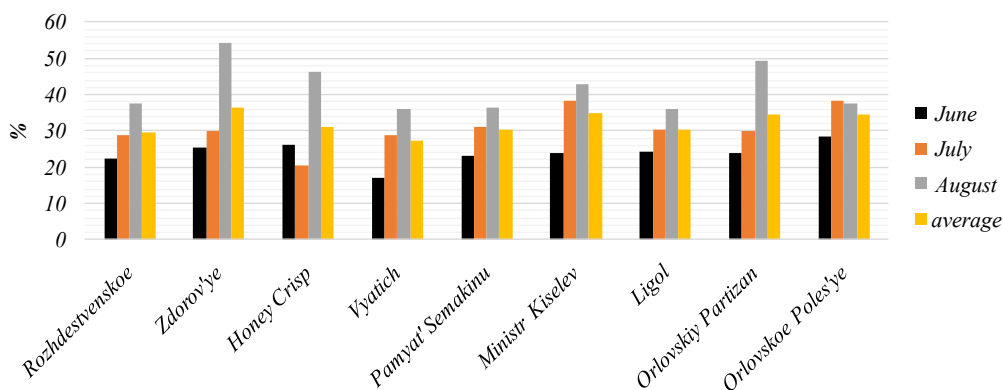


Fig. 9. Determination of water deficiency in leaves of apple tree varieties after drought, 2019, % ( $LSD_{05}, F\phi < Ft$ )

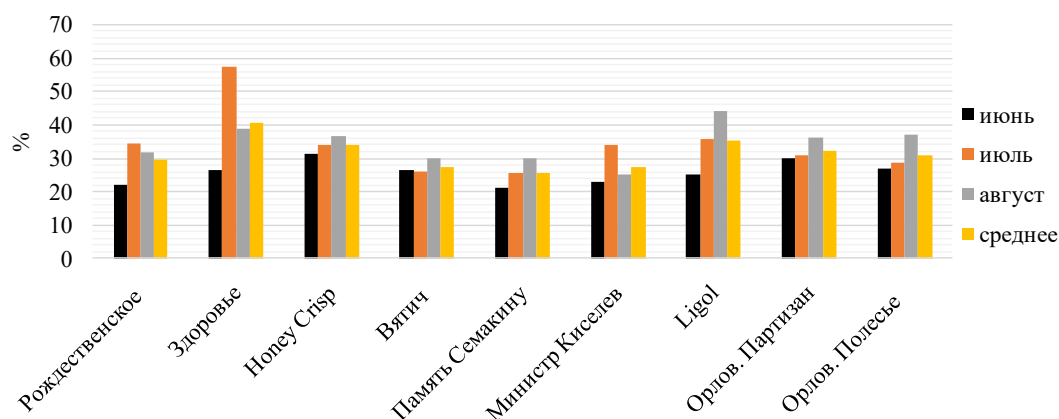


Рис. 10. Определение водного дефицита листьев сортов яблони после проведения засухи, 2020, % ( $HCP_{05}$ ,  $F\phi < Fm$ )

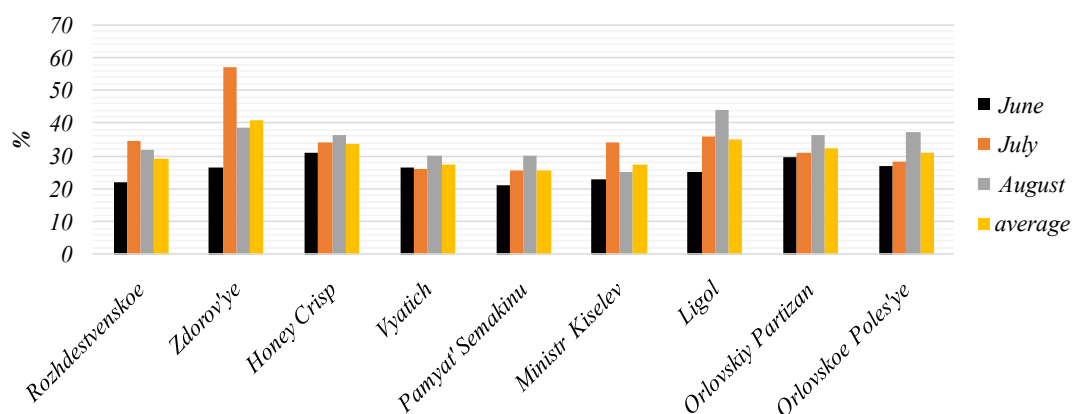


Fig. 10. Determination of water deficiency in leaves of apple tree varieties after drought, 2020, % ( $LSD_{05}$ ,  $F\phi < Fm$ )



Рис. 11. Сорт яблони селекции ВНИИСПК Рождественское

Fig. 11. Apple cultivar Rozhdestvenskoe selected by VNIISPK

В лабораторных условиях выявили (в среднем за два года), что у исследуемых сортов высокий уровень способности восстановления оводненности тканей в листьях после засухи и последующего насыщения их водой (118,4–128,5 %). Наименьший показатель был у сорта польской селекции Ligol (118,4 %). У сорта американской селекции Honey Crisp он составил 121,3 % (рис. 12).

У сортов селекции ВНИИСПК Рождественское и Орловский партизан выявили в лабораторных условиях наиболее высокий уровень способности восстановления оводненности тканей в листьях после засухи и последующего насыщения их водой: 128,5 % и 127,7 % соответственно (рис. 13).

Важно подобрать сорта адаптированные, скороплодные, с ежегодным плодоношением и с плодами с высокими товарными качествами. В 2019 году было отмечено единичное цветение у сортов Рождественское, Здоровье, Орловский партизан, Министр Киселев, Ligol. Сорта вступили в плодоношение на четвертый год роста деревьев в саду. В 2020 году наибольшая урожайность была у сорта селекции ВНИИСПК Здоровье (4,1 кг с дерева) и у американского сорта Honey Crisp (3,7 кг с дерева). В 7-летнем возрасте (2023 год) наибольшая урожайность была у сортов селекции ВНИИСПК Здоровье (27,5 кг с дерева) и Рождественское (22,1 кг с дерева). Наименьшая урожайность была у сорта Орловский партизан (1,8 кг с дерева) (таблица 1).

Таблица 1  
Урожайность сортов яблони 2019–2023 гг. (посадка – осень 2016 г.), кг/деревца

Сорт	2019	2020	2021	2022	2023	Среднее
Рождественское	0	0,4	14,6	11,6	22,1	9,7
Здоровье	0	4,1	6,5	9,9	27,5	9,6
Honey Crisp	0	3,7	1,4	19,0	10,3	6,9
Вятич	0,8	1,2	8,0	10,6	6,2	5,4
Память Семякину	0	0	2,9	12,0	10,4	5,1
Министр Киселев	0	0,5	6,7	6,3	7,8	4,3
Ligol	0	0,9	2,4	8,3	5,1	3,3
Орловский партизан	0	0,2	2,8	4,6	1,8	1,9
Орловское полесье	0	0	1,4	1,9	2,5	1,2
HCP <sub>05</sub>						5,6
HCP <sub>01</sub>						7,6
HCP <sub>001</sub>						10,1

Table 1  
Average yield of apple varieties 2019–2023 (autumn planting, 2016), kg/tree

Сорт	2019	2020	2021	2022	2023	Среднее
Rozhdestvenskoe	0	0.4	14.6	11.6	22.1	9.7
Zdorov'ye	0	4.1	6.5	9.9	27.5	9.6
Honey Crisp	0	3.7	1.4	19.0	10.3	6.9
Vyatich	0.8	1.2	8.0	10.6	6.2	5.4
Pamyat' Semakinu	0	0	2.9	12.0	10.4	5.1
Ministr Kiselev	0	0.5	6.7	6.3	7.8	4.3
Ligol	0	0.9	2.4	8.3	5.1	3.3
Orlovskiy Partizan	0	0.2	2.8	4.6	1.8	1.9
Orlovskoe Poles'ye	0	0	1.4	1.9	2.5	1.2
HCP <sub>05</sub>						5.6
HCP <sub>01</sub>						7.6
HCP <sub>001</sub>						10.1



Рис. 12. Сорт яблони американской селекции Honey Crisp

Fig. 12. Apple cultivar of American breeding Honey Crisp

Урожайность в среднем за годы изучения была существенно выше у сортов селекции ВНИИСПК Рождественское (9,7 кг с дерева, или 7,8 т/га), Здоровье (9,6 кг с дерева, или 7,7 т/га) и у сорта американской селекции Honey Crisp (6,9 кг с дерева, или 5,5 т/га), чем у остальных изучаемых сортов. У сорта польской селекции Ligol урожайность в среднем составила 3,3 кг с дерева, или 2,6 т/га (рис. 14).

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

За два года исследований в таких погодных условиях, какие были в 2019 и в 2020 годах, отмечен средний уровень оводненности тканей в листьях у сортов яблони (польской, американской селекции и селекции ВНИИСПК) в течение вегетационного периода. Сорта яблони после проведения засухи (в лабораторных условиях в 2019, 2020 годах) имели средний уровень водного дефицита листьев. Наиболее высокий уровень способности восстановления оводненности тканей листьев после засухи и последующего насыщения их водой в лабораторных условиях был у сортов селекции ВНИИСПК Рождественское (128,5 %) и Орловский партизан (127,7 %). Из интродуцированных сортов выделялся американский сорт Honey Crisp (121,3 %).



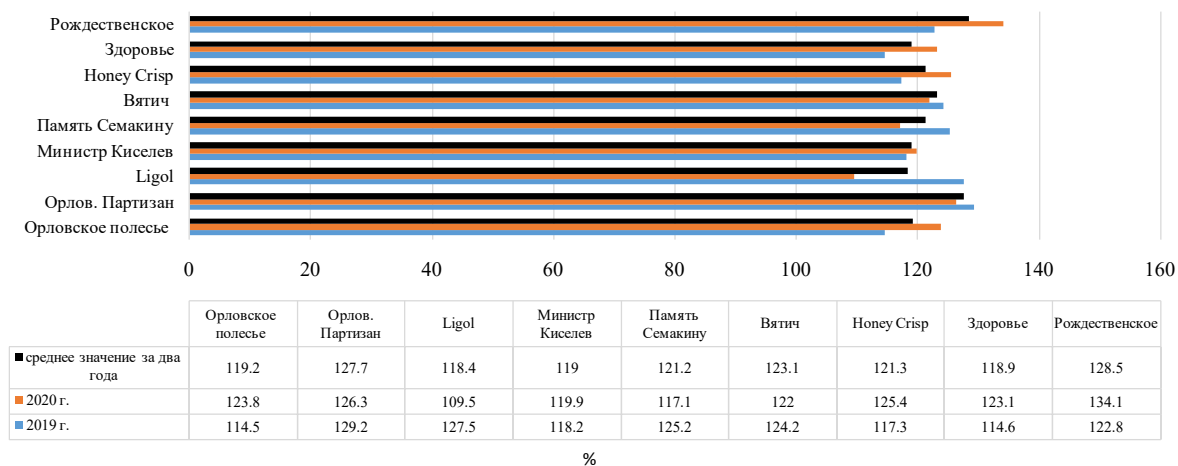


Рис. 13. Восстановление оводненности тканей листьев сортов яблоки после моделирования засухи, % (HCP<sub>05</sub> Fф < Fm)

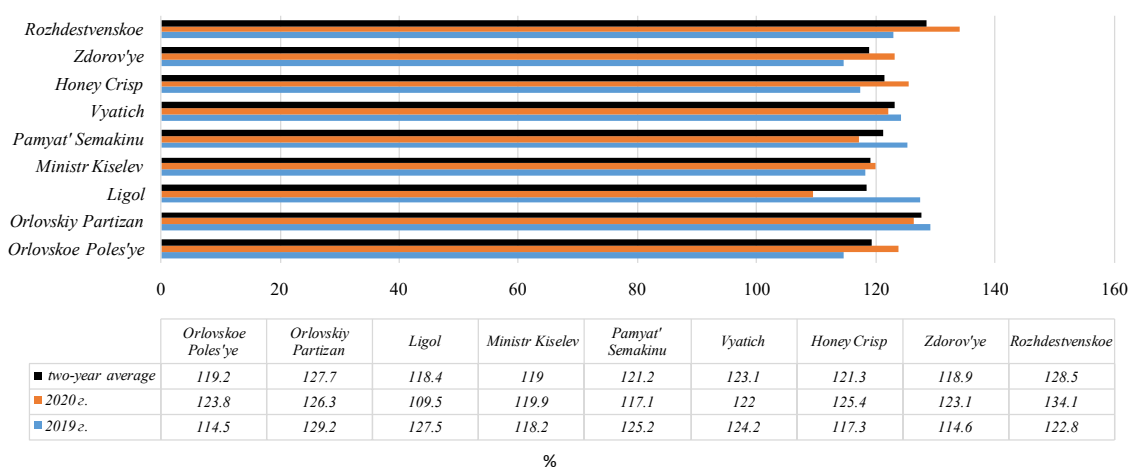


Fig. 13. Restoration of leaf tissues hydration after modeling drought, % (LSD05 Ff < Ft)

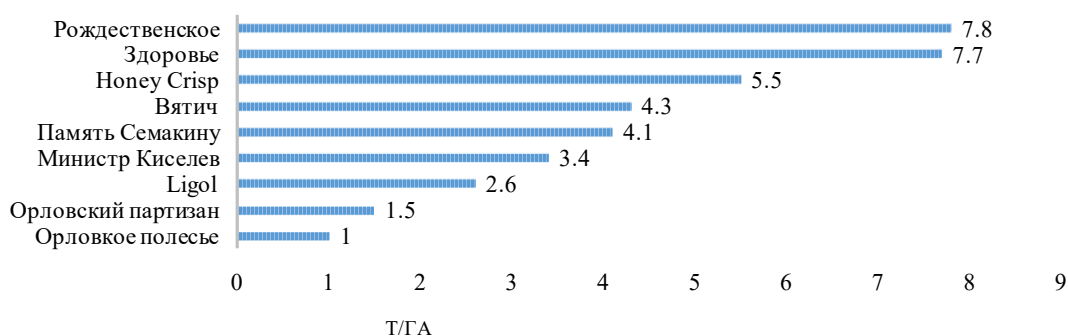


Рис. 14. Средняя урожайность сортов яблоки 2019–2023 гг. (посадка – осень 2016 г.)

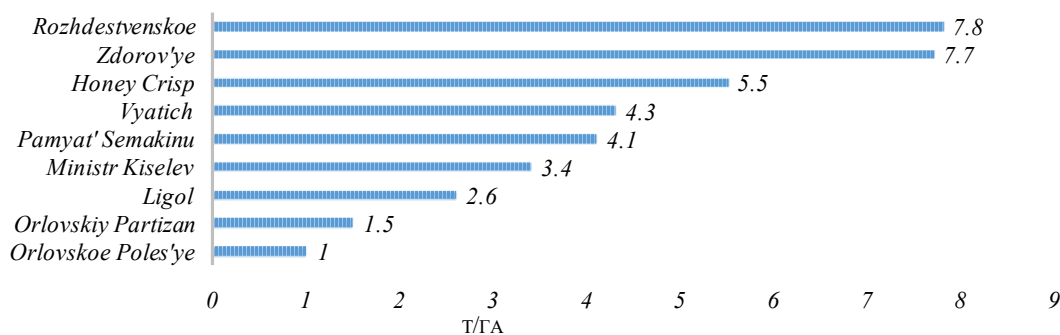


Fig. 14. Average yield of apple varieties 2019–2023 (autumn planting, 2016)

Анализ исследований в среднем за 2019–2023 годы показал наибольшую урожайность у сортов селекции ВНИИСПК Рождественское (7,8 т/га),

Здоровье (7,7 т/га) и у сорта американской селекции Honey Crisp (5,5 т/га), по сравнению с другими сортами селекции ВНИИСПК.

### Библиографический список

1. Березина Т. В., Савин Е. З. Засухоустойчивость плодовых культур *Malus Mill.* и *Pyrus l.* в степной зоне Заволжско-уральского региона // Вопросы степеведения. 2020. Вып. 16, № 1. С. 61–69. DOI: 10.24411/9999-006A-2020-10007.
2. Сотник А. И., Чакалов Т. С. Изучение засухоустойчивости клоновых подвоев яблони в предгорной зоне Крыма // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2022. Т. 24, № 1. С. 26–29. DOI: 10.35547/IM.2022.53.17.004.
3. Shi C. Y., Liu L., Li Q. L., Wei Z. F., Gao D. T. Comparison of drought resistance of rootstocks 'M9-T337' and 'M26' grafted with 'Huashuo' apple // Horticulture, Environment, and Biotechnology. 2022. No. 63. Pp. 299–310. DOI: 10.1007/s13580-021-00398-z.
4. Ожерельева З. Е., Галашева А. М., Красова Н. Г. Изучение устойчивости яблони в условиях теплового шока // Современное садоводство. 2018. № 2 (26). DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10201.
5. Галашева А. М., Королев Е. Ю., Ожерельева З. Е. Урожайность и устойчивость к условиям засухи сортов яблони на полукарликовом подвое 54-118 // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2020. Т. 7, № 1-2. С. 34–39. DOI: 10.24411/2500-0454-2020-11209.
6. Ненько Н. И., Киселева Г. К., Ульяновская Е. В., Караваева А. В., Схаляхо Т. В. Водный обмен и пигментный состав листьев яблони в связи с засухой // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 69 (3). С. 123–137. DOI: 10.30679/2219-5335-2021-3-69-123-137.
7. Bai T. Li, Song C., Song S., Jiao J., Liu Y., Dong Z., Zheng X. Contrasting drought tolerance in two apple cultivars associated with difference in leaf morphology and anatomy // American Journal of Plant Sciences. 2019. No. 10 (5). Pp. 709–722. DOI: 10.4236/ajps.2019.105051.
8. Wang Z., Li G., Sun H., Ma L., Guo Y., Zhao Z., Mei L. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves // Biology Open. 2018. No. 7 (11). DOI: 10.1242/bio.035279.
9. Меншутина Т. В., Костенко М. Г. Оценка пригодности возделывания летних сортов яблони по интенсивной технологии в аридной зоне // Вестник КрасГАУ. 2023. № 9. С. 84–89. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-9-84-89.
10. Panfilova O., Kahramanoğlu I., Ondrasek G., Okatan V., Ryago N., Tsoy M., Golyaeva O., Knyazev S. Creation and Use of Highly Adaptive Productive and Technological Red Currant Genotypes to Improve the Assortment and Introduction into Different Ecological and Geographical Zones // Plants. 2022. No. 11 (802). DOI: 10.3390/plants11060802
11. Hayat F., Iqbal S., Coulibaly D., Razzaq M. K., Nawaz M. A., Jiang W., et al. An insight into dwarfing mechanism: contribution of scion-rootstock interactions toward fruit crop improvement // Fruit Research. 2021. Vol. 1. Article number 3. DOI: 10.48130/FruRes-2021-0003.
12. Савельев Н. И., Юшков А. Н., Савельева Н. Н., Земисов А. С., Чивилев В. В., Кириллов Р. Е., Акимов М. Ю., Гладышева М. Б., Кружков Ал. В., Конюхова А. А., Чмир Р. А., Богданов Р. Е., Кружков Ан. В. Генетический потенциал устойчивости плодовых культур к абиотическим стрессорам. Мичуринск: ФНЦ им. И. В. Мичурина, 2010. 212 с.
13. Krasova N. G., Ozherelieva Z. E., Galasheva A. M., Lupin M. V. Production and biological assessment of VNIISPК cultivars of various ploidy for the zone of temperate continental climate // Plants. 2022. Vol. 11, No. 20. Article number 2770. DOI: 10.3390/plants11202770.
14. Bhusal N., Han S. G., Yoon T. M. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus × domestica Borkh.*) // Scientia Horticulturae. 2019. No. 246. Pp. 535–543. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.11.021.
15. Прудников П. С., Ожерельева З. Е. Физиолого-биохимические методы диагностики устойчивости плодовых культур к засухе и гипертермии: методические рекомендации. Орел: ВНИИСПК, 2019. 46 с.
16. Ханин В. Ф., Ханина Н. П. Зависимость содержания Р-активных веществ и витамина С в ягодах черной смородины в зависимости от гидротермического режима вегетации // Бюллетень научной информации Центральной генетической лаборатории имени И. В. Мичурина. 1990. № 49. С. 42–48.
17. Седов Е. Н., Красова Н. Г., Жданов В. В., Долматов Е. А., Можар Н. В. Семечковые культуры (яблоня, груша, айва) // Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: ВНИИСПК, 1999. С. 253–300.

18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Книга по требованию, 2013. 349 с.
19. Mineata Iu., Golache Iu. E., Sirbu S., Slabu C., Perju I., Ostaci S., Jitareanu C. D. Study of the water regime in some sweet cherry cultivars under north-eastern Romanian conditions // *Scientific Papers. Series B. Horticulture*. 2023. Vol. 67, No. 1. Pp. 117–122.
20. Зацепина И. В. Засухоустойчивость и жаростойкость форм груши и айвы // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2022. № 76 (4). С. 14–25. DOI: 10.30679/2219-5335-2022-4-76-14-25.
21. Łysiak G. P., Szot I. The use of temperature based indices for estimation of fruit production conditions and risks in temperate climates // *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 5. Article number 960. DOI: 10.3390/agriculture13050960
22. Ожерельева З. Е., Красова Н. Г., Галашева А. М. Жаростойкость сортов яблони // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2020. № 65 (5). С. 179–192. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-5-65-179-192

#### Об авторах:

**Анна Мироновна Галашева**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая отделом селекции, сортоизучения и сортовой агротехники семечковых культур, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0001-8795-9991, AuthorID 607708. *E-mail: anna-galsheva@mail.ru*

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

#### References

1. Berezina T. V., Savin E. Z. Drought resistance of fruit crops *Malus* Mill. and *Pyrus* L. in the steppe zone of the Volga-Ural region. *Questions of Steppe Studies*. 2020. No.16 (1): 61–69. DOI: 10.24411/9999-006A-2020-10007. (In Russ.)
2. Sotnik A. I., Chakalov T. S. Study of drought tolerance of clonal rootstocks of apple trees in the foothills of the Crimea. *Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2022; 24. 1 (119): 26–29. DOI: 10.35547/IM.2022.53.17.004. (In Russ.)
3. Shi C. Y., Liu L., Li Q. L., Wei Z. F., Gao D. T. Comparison of drought resistance of rootstocks 'M9-T337' and 'M26' grafted with 'Huashuo' apple. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2022; 63: 299–310. DOI: 10.1007/s13580-021-00398-z.
4. Ozherelieva Z. E., Galasheva A. M., Krasova N. G. The study of apple resistance under conditions of heat shock. *Contemporary Horticulture*. 2018; 2 (26). DOI: 10.24411/2312-6701-2018-10201. (In Russ.)
5. Galasheva A. M., Korolev E. Yu., Ozherelieva Z. E. Productivity and resistance to drought conditions of apple varieties on semi-dwarf rootstock 54-118. *Breeding and Variety Breeding of Garden Crops*. 2020; 7 (1-2): 34–39. DOI: 10.24411/2500-0454-2020-11209. (In Russ.)
6. Nen'ko N. I., Kiseleva G. K., Ul'yanovskaya E. V., Karavaeva A. V., Skhalyakho T. V. Water exchange and pigment composition of apple leaves in connection with drought. *Fruit Production and Viticulture of the South of Russia*. 2021; 69 (3): 123–137. DOI: 10.30679/2219-5335-2021-3-69-123-137). (In Russ.)
7. Bai T. Li, Song C., Song S., Jiao J., Liu Y., Dong Z., Zheng X. Contrasting drought tolerance in two apple cultivars associated with difference in leaf morphology and anatomy. *American Journal of Plant Sciences*. 2019; 10 (5): 709–722. DOI: 10.4236/ajps.2019.105051.
8. Wang Z., Li G., Sun H., Ma L., Guo Y., Zhao Z., Mei L. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biology Open*. 2018; 7 (11). DOI: 10.1242/bio.035279.
9. Menshutyna T. V., Kostenko M. G. Assessment of suitability for cultivation of summer varieties of apple by intensive technology in the arid zone. *Vestnik KrasGAU*. 2023; 9 (198): 84–89. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-9-84-89. (In Russ.)
10. Panfilova O., Kahramanoğlu I., Ondrasek G., Okatan V., Ryago N., Tsoy M., Golyaeva O., Knyazev S. Creation and Use of Highly Adaptive Productive and Technological Red Currant Genotypes to Improve the Assortment and Introduction into Different Ecological and Geographical Zones. *Plants*. 2022; 11 (802). DOI: 10.3390/plants11060802.
11. Hayat F., Iqbal S., Coulibaly D., Razzaq M. K., Nawaz M. A., Jiang W., et al. An insight into dwarfing mechanism: contribution of scion-rootstock interactions toward fruit crop improvement. *Fruit Research*. 2021; 1: 3. DOI: 10.48130/FruRes-2021-0003.

12. Savel'yev N. I., Yushkov A. N., Savel'yeva N. N., Zemisov A. S., Chivilev V. V., Kirillov R. E., Akimov M. Yu., Gladysheva M. B., Kruzhev A. V., Konyukhova A. A., Chmir R. A., Bogdanov R. E., Kruzhev An. B. *Genetic potential of fruit crops resistance to abiotic stressors*. Michurinsk: FNC im. I. V. Michurina, 2010. 212 p. (In Russ.)
13. Krasova N. G., Ozherelieva Z. E., Galasheva A. M., Lupin M. V. Production and biological assessment of VNIISPK cultivars of various ploidy for the zone of temperate continental climate. *Plants*. 2022; 11 (20): 2770. DOI: 10.3390/plants11202770. (In Russ.)
14. Bhusal N., Han S. G., Yoon T. M. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus × domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*. 2019; 246: 535–543. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.11.021
15. Prudnikov P. S., Ozherelieva Z. E. Physiological and biochemical methods of diagnosing resistance of fruit crops to drought and hyperthermia. Methodical recommendations. Orel: VNIISPK, 2019. 46 p. (In Russ.)
16. Khanin V. F., Khanina N. P. Dependence of the content of P-active substances and vitamin C in black currant berries depending on the hydrothermal regime of vegetation. *Bulletin of Scientific Information of the Central Genetic Laboratory named after I. V. Michurin*. 1990; 49: 42–48. (In Russ.)
17. Sedov E. N., Krasova N. G., Zhdanov V. V., Dolmatov E. A., Mozhar N. V. Pome crops (apple, pear, quince). In: *Program and methodology of variety studies of fruit, berry and nut crops*. Orel: VNIISPK, 1999. Pp. 253–300. (In Russ.)
18. Dospekhov B. A. *Methodology of field experience: with the basics of statistical processing of research results*. Moscow: Book on Demand, 2013. 349 p. (In Russ.)
19. Mineata Iu., Golache Iu. E., Sirbu S., Slabu C., Perju I., Ostaci S., Jitareanu C. D. Study of the water regime in some sweet cherry cultivars under north-eastern Romanian conditions. *Scientific Papers. Series B. Horticulture*. 2023; 67 (1): 117–122.
20. Zatssepina I. V. Drought resistance and heat resistance of pear and quince forms. *Fruit Growing and Viticulture of the South of Russia*. 2022; 76 (4): 14–25. DOI: 10.30679/2219-5335-2022-4-76-14-25. (In Russ.)
21. Łysiak G. P., Szot I. The use of temperature based indices for estimation of fruit production conditions and risks in temperate climates. *Agriculture*. 2023; 13 (5): 960. DOI: 10.3390/agriculture13050960.
22. Ozherelieva Z. E., Krasova N. G., Galasheva A. M. Heat resistance of apple tree varieties. *Fruit Growing and Viticulture of the South of Russia*. 2020; 65 (5): 179–192. DOI: 10.30679/2219-5335-2020-5-65-179-192. (In Russ.)

#### Authors' information:

**Anna M. Galasheva**, candidate of agricultural sciences, leading researcher, head of the laboratory of apple variety studies and varietal agrotechnics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK), Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0001-8795-9991, AuthorID 607708. *E-mail: anna-galasheva@mail.ru*

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



## Влияние элементов агротехнологии на продуктивность гибридов подсолнечника

Н. И. Мамсиров<sup>✉</sup>, Л. Н. Тхакушинова

Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: nur.urup@mail.ru

**Аннотация.** В сельскохозяйственном производстве Республики Адыгея по среднесезонным данным урожайность семян подсолнечника составляет около 1,0–1,2 т/га, при этом она не превышает в отдельных хозяйствах 0,7–0,9 т/га. **Цель работы** заключалась в определении продуктивности и качественных показателей семян новых перспективных гибридов подсолнечника в условиях Республики Адыгея в зависимости от элементов агротехнологии. **Научная новизна** результатов, полученных в ходе эксперимента, состоит в том, что впервые на выщелоченных черноземах республики проведены исследования с новыми гибридами подсолнечника и усовершенствованы некоторые элементы технологии их возделывания. **Методы исследования** соответствуют методике полевого опыта Б. А. Доспехова. **Результаты.** В статье приводятся результаты опытов, определяющих эффективность использования в агротехнологиях азотно-фосфорных удобрений на фоне отвальной вспашки на глубину 25–27 см и глубокого рыхления (35–40 см). В результате исследований установлено, что максимальный уровень урожайности (в среднем 3,0 т/га) достигнут по всем изучаемым гибридам именно на фоне отвальной вспашки почвы на глубину 25–27 см. В ходе исследований установлено, что масличность семян гибридов зависела от удобрений и способа обработки почвы. Наибольшей потенциальной масличностью обладает гибрид Спринт, где на фоне отвальной вспашки ее значение зафиксировано на уровне 49,4 %, а на фоне глубокого рыхления – 45,3 %. В среднем по опыту на вариантах основной обработки почвы масличность семян была на уровне 48,3 % (отвальная вспашка) и 44,4 % (глубокое рыхление).

**Ключевые слова:** подсолнечник, гибрид, удобрения, некорневая подкормка, обработка почвы, отвальная вспашка, глубокое рыхление, урожайность, маслосемена, масличность

**Для цитирования:** Мамсиров Н. И., Тхакушинова Л. Н. Влияние элементов агротехнологии на продуктивность гибридов подсолнечника // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1601–1612. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1601-1612>.

**Дата поступления статьи:** 11.09.2024, **дата рецензирования:** 18.10.2024, **дата принятия:** 30.10.2024.

## The influence of agrotechnology elements on the productivity of sunflower hybrids

N. I. Mamsirov<sup>✉</sup>, L. N. Tkhakushinova

Maykop State Technological University, Maykop, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: nur.urup@mail.ru

**Abstract.** In the agricultural production of the Republic of Adygea, according to long-term average data, the yield of sunflower seeds is about 1.0–1.2 t/ha, while it does not exceed 0.7–0.9 t/ha in individual farms. **The purpose** of the work was to determine the productivity and quality indicators of seeds of new promising sunflower hybrids in the conditions of the Republic of Adygea, depending on the elements of agrotechnology. **The scientific novelty** of the results obtained during the experiment is that for the first time, studies with new sunflower hybrids were conducted on the leached chernozems of the republic and some elements of their cultivation technology were improved. The research methods correspond to the field experience methodology by B. A. Dospekhov. **Results.** The article presents the results of experiments determining the effectiveness of the use of nitrogen-phosphorus fertilizers in agricultural technologies against the background of dump plowing to a depth of 25–27 cm and deep

loosening of 35–40 cm. As a result of the research, it was found that the maximum yield level (average 3.0 t/ha) was achieved for all studied hybrids, namely, against the background of dump plowing of the soil to a depth of 25–27 cm. In the course of research, it was found that the oil content of hybrid seeds depended on fertilizers and the method of tillage. The Sprint hybrid has the greatest potential oil content, where its value is fixed at 49.4 % against the background of dump plowing, and 45.3 % against the background of deep loosening. On average, according to experience, in the variants of basic tillage, the oil content of seeds was at the level of 48.3 % (dump plowing) and 44.4 % (deep loosening).

**Keywords:** sunflower, hybrid, fertilizers, foliar fertilization, tillage, dump plowing, deep loosening, yield, oil seeds, oil content

**For citation:** Mamsirov N. I., Tkhakushinova L. N. The influence of agrotechnology elements on the productivity of sunflower hybrids. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1601–1612. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1601-1612>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 11.09.2024, **date of review:** 18.10.2024, **date of acceptance:** 30.10.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Подсолнечник – основная масличная культура Республики Адыгея, выращивается на более чем 20 000 га [1]. Если сравнивать культуру подсолнечника с другими полевыми культурами в части общего сбора масла, то он не имеет себе равных и дает наибольшее количество единицы продукции с 1 га посевной площади (1,0–1,7 т/га) [2].

В структуре посевных площадей республики это растение в последнее время занимает 15 % пашни, а в некоторых хозяйствах – 32 %. Однако, чтобы получить быструю экономическую выгоду, многие фермеры стали расширять площади выращивания подсолнечника и стали сеять его каждые 3–4 года по его одноименному предшественнику, что приводило к поражению 50 % и более посевов опасными болезнями (склеротиниоз, ложная мучнистая роса) [3].

Подсолнечник – самое требовательное сельскохозяйственное растение с точки зрения севооборота [4; 5]. Несоблюдение или частое игнорирование условий чередования подсолнечника в научно обоснованном севообороте, незначительное внесение минеральных удобрений, полное отсутствие органических удобрений в хозяйствах и сильное поражение растений вышеуказанными болезнями привели к крайне низкой урожайности маслосемян с значительной потерей их качества, которая сильно колебалась от года к году [6; 7].

Корневая система подсолнечника имеет способность к быстрому росту (доходит до глубины 2–3 м), благодаря чему это растение более независимо от каких-либо запасов продуктивной влаги и состояния обрабатываемого почвенного слоя [8]. В отличие от многих других культур благодаря этой биологической особенности подсолнечник рационально может использовать как питательные вещества, которые он с легкостью получает из верхнего почвенного слоя, так и необходимую влагу более глубоких слоев для своего роста и развития [9].

В отличие от многих элементов технологии возделывания подсолнечника, способов и приемов почвообработка всегда играла незаменимую роль в земледелии и растениеводстве, так как является универсальным рычагом воздействия на многие химические, физические и биологические ее свойства, что в конечном счете, предопределяет формирование потенциально высокой урожайности полевых культур [3; 10]. При правильно построенной системе обработки почвы создаются благоприятные условия для накопления почвенной влаги, усиления микробиологических процессов и жизнедеятельности почвенной биоты [2]. Основная задача любой обработки почвы – обеспечение чистоты посевов культурных растений от сорняков и, что немало важно, равномерной заделки семенного материала и заданной густоты стояния растений [11; 12].

Некоторые исследователи [1; 8] в своих работах отмечают, что в опытах на участках, свободных от сорняков, основная обработка почвы без оборачивания верхнего слоя не приводила к снижению урожайности семян подсолнечника. В тех случаях, когда на фоне поверхностной обработки она проводилась после предыдущих обработок с оборотом пласта на глубину 8–10 см, урожайность семян подсолнечника и последующей озимой пшеницы не только не снижается, но даже демонстрирует определенную тенденцию к увеличению показателя [2]. Грамотно сочетая плоскорезную обработку почвы на глубину 20–22 см и безотвальное рыхление почвы на глубину 38–40 см, можно добиться также высокой продуктивности подсолнечника [4]. Однако рыхление почвы уступает отвальной вспашке на глубину 25–27 см по урожайности маслосемян до 10 % и общему сбору масла с единицы площади до 15 %. В то же время отвальная пахота превосходит по показателям плоскорезную обработку на 12 и 13 % соответственно.

Подсолнечник в сравнении с другими сельскохозяйственными культурами предъявляет также по-

вышенные требования и к пищевому режиму почвы [13]. Так, оптимальным сочетанием для внесения в качестве основного минерального удобрения под зябь считается азотно-фосфорное в соотношении 1 : 1 или 1 : 1,5. Наиболее эффективной для подсолнечника в целом считается норма  $N_{40}P_{60}$ , которая способна обеспечивать прибавку урожая семян в среднем на 0,21–0,35 т/га [1; 7].

Целью исследования является установление зависимости урожайности и масличности семян новых перспективных гибридов подсолнечника от элементов агротехнологии его возделывания (способ основной обработки почвы, доза минерального удобрения и некорневой подкормки) в условиях предгорной зоны Республики Адыгея.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Полевой эксперимент проводился на черноземах выщелоченных тяжелосуглинистых АО «Заря» Шовгеновского района Республики Адыгея в период 2019–2021 гг. Лабораторные исследования проводились на базе Майкопского государственного технологического университета в лабораториях «Современные агротехнологии и мониторинг плодородия почв» и «Агротехнологии Полярис-Адыгея».

Методология эксперимента была основана на анализе данных, полученных в ходе полевых и лабораторных опытов по рассматриваемой проблеме.

Научная новизна результатов опыта состоит в том, что впервые в условиях Республики Адыгея на выщелоченных черноземах проведены исследования с новыми гибридами подсолнечника Спринт, Горстар, Ирэн и Арис селекции ФГБГУ ФНЦ «ВНИИМК им. В. С. Пустовойта» и изучены их продуктивность и качественные показатели маслосемян в зависимости от применяемых способов основной обработки почвы, доз минеральных удобрений и, некорневых подкормок.

Для достижения поставленной цели проведен трехфакторный опыт:

1. Фактор А (гибрид) – Спринт, Горстар, Ирэн и Арис (селекция ФГБГУ ФНЦ «ВНИИМК им. В. С. Пустовойта»).

2. Фактор В (способ основной обработки почвы) – отвальная вспашка на глубину 25–27 см; глубокое рыхление на глубину 35–40 см.

3 Фактор С (доза удобрения) – контроль, без удобрений; «Биостим масличный» 1,0 л/га и «Ультрамаг Бор» 0,5 л/га (некорневая подкормка);  $N_{30}P_{30}$  локально при посеве;  $N_{30}P_{30}$  локально при посеве + «Биостим масличный» 1,0 л/га и «Ультрамаг Бор» 0,5 л/га (некорневая подкормка).

Норма высева, принятая в эксперименте, составила 60 тыс. шт/га. Почва на опытном участке представлена выщелоченным тяжелосуглинистым черноземом. По гранулометрическому составу черноземы выщелоченные относятся к илисто-пылеватым легким глинам и тяжелым суглинкам.

Содержание физической глины (частиц < 0,01 мм) у первых колеблется по профилю от 65,5 до 72,2 %, у вторых – от 53,8 до 59,14 %. Из фракций преобладает пылеватая (0,05–0,001 мм), на втором месте ил (< 0,001 мм).

Содержание гумуса – 4,6–5,2 %, общего азота – 0,22–0,24 %. Реакция почвенного раствора – рН = 6,8...7,0. Плотность пахотного слоя – 1,27 г/см<sup>3</sup>. Агротехника в эксперименте соответствовала рекомендациям по зональной технологии возделывания подсолнечника [6]. Для борьбы с сорняками использовали баковую смесь гербицидов «Ацетал Про», КЭ (2,5 л/га) + «Бриг», КС (3,0 л/га).

В эксперименте использовалась общепринятая методика Б. А. Доспехова [14]. За годы исследований в период роста и развития подсолнечника погодные условия существенно отличались, что повлияло на показатели гидротермического коэффициента. За данный период он варьировался в пределах 0,26–0,57, что характеризует периоды вегетации как сухие или засушливые (в период вегетации подсолнечника в 2019 году выпало 407 мм осадков, в 2020 году – 455 мм, а в 2021 году – 603 мм).

#### Результаты (Results)

В современной земледелии основная обработка почвы является одним из важнейших элементов технологии возделывания подсолнечника, суть которой заключается в обеспечении накопления и сохранения продуктивной влаги в почве, уничтожении сорной растительности на полях и обеспечении заделки пожнивных остатков предшествующих культур и вносимых минеральных удобрений на заданную глубину [4].

В опыте наблюдалась значительная разница в массе и структуре сорняков. Определение видового состава сорных растений является необходимым условием для разработки эффективных мер борьбы с ними [15]. Их уничтожение особо актуально с целью повышения конкурентоспособности подсолнечника [8]. Соотношение биологических групп сорных растений в посевах исследуемых гибридов подсолнечника приводится на рис. 1.

В посевах подсолнечника отмечалось большее распространение однолетних сорных растений в виде ежовника *Echinochloa crus-galli* (L.) Roem. et Schult, горчицы полевой *Sinapis arvensis* (L.), щирицы запрокинутой *Amaranthus albus* (L.), щетинника мутовчатого *Setaria verticillata* (L.) Beauv, щетинника зеленого *Setaria viridis* (L.) Beauv и сизого *Setaria glauca* (L.) Beauv. Также в агроценозе культуры подсолнечника зафиксированы растения белены черной *Hioscyamus niger* (L.) и паслена клюковидного *Solanum rostratum* Dun. Из многолетних сорняков в посевах встречались: бодяк полевой *Cirsium setosum* M.B., вьюнок полевой *Convolvulus arvensis* (L.), клоповник крупковидный *Lepidium draba* (L.), молочай лозный *Euphorbia virgata* Valdst

*et Kit*, солодка щетинистая *Glycyrrhiza echinata* (L.) и голая *Glycyrrhiza glabra* (L.), сурепка обыкновенная *Barbarea vulgaris* R.Br., латук татарский, или осот голубой *Lactuca tatarica* (L.) C.A.Mey, а также осот полевой (желтый) *Sonchus arvensis* (L.).

Различные способы обработки почвы и фоны минерального питания предопределили различия в условиях выращивания подсолнечника на опытных вариантах и отразились на средней урожайности семян (таблица 1).

В условиях опыта 2021 год характеризовался достаточным увлажнением, за период вегетации выпало 603 мм осадков, что способствовало хорошему накоплению влаги в почве и, как следствие, формированию высокого урожая семян всех изучаемых гибридов подсолнечника.

Из приведенных данных следует, что наибольшая урожайность семян подсолнечника – в среднем 3,0 т/га для всех гибридов – была сформирована на фоне отвальной вспашки почвы на глубину 25–27 см независимо от фона минерального питания. При глубоком рыхлении почвы этот же показатель у гибридов был ниже на 12,7 % и составил в среднем 2,62 т/га. При отвальной вспашке на фоне  $N_{30}P_{30}$  + НП максимальный уровень урожайности семян под-

солнечника наблюдался у гибрида Ирэн – 3,32 т/га, что на 11,0 % выше контрольного варианта, или на 0,33 т/га. На варианте отвальной основной обработки почвы урожайность в среднем по гибридам в условиях опыта составила: 2,84 т/га у гибрида Спринт, 2,96 т/га у гибрида Горстар, 3,15 т/га у гибрида Ирэн и 3,06 т/га у гибрида Арис. Наиболее отзывчивыми на минеральное питание и некорневую подкормку оказались гибриды Ирэн и Арис, где средняя урожайность составила 3,13 и 3,17 т/га соответственно.

На фоне глубокого рыхления почвы урожайность всех исследуемых гибридов подсолнечника оказалась ниже, чем по отвальной обработке почвы, на 5,66 % по гибриду Спринт, на 5,11 % по гибриду Горстар, на 7,62 % по гибриду Ирэн и на 7,52 % по гибриду Арис. Соответствующее снижение урожайности отмечается также и по вариантам минерального питания растений: в среднем по гибридам на 6,33 %.

Отсюда следует, что снижение продуктивных показателей культуры подсолнечника являлось характерной тенденцией, связанной с уменьшением интенсификации способов основных обработок почвы и уровня минерального питания растений.

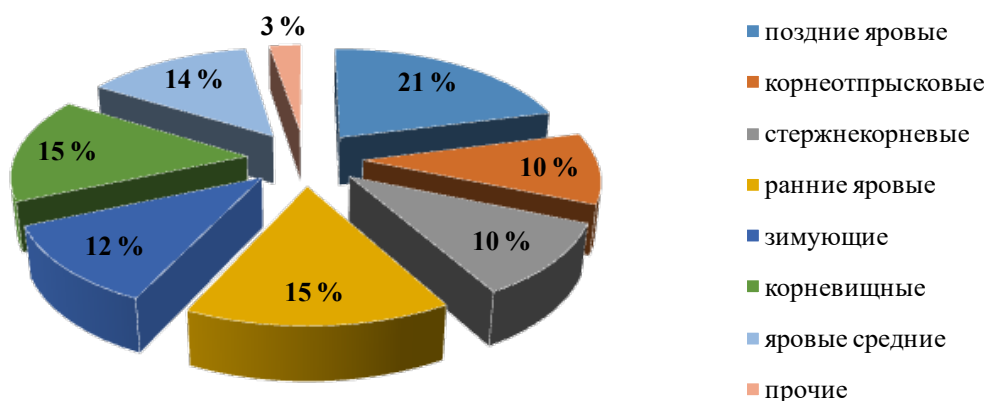


Рис. 1. Соотношение биологических групп сорных растений в посевах подсолнечника (2019–2021 гг.)

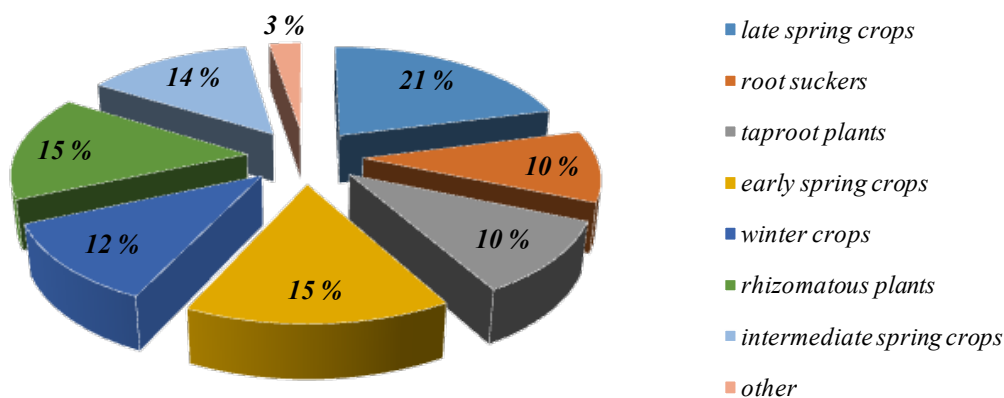


Fig. 1. The ratio of biological groups of weeds in sunflower crops (2019–2021 гг.)



## Влияние способов обработки почвы и удобрений на урожайность семян новых гибридов подсолнечника, т/га (2019–2021 гг.)

Обработка почвы	Гибрид	Удобрения	Урожайность, т/га				Среднее по:		
			2019	2020	2021	Средняя	обработке почв	гибридам	удобрению
Отвальная вспашка	Спринт	Контроль	2,31	2,67	3,03	2,67	3,00	2,84	2,83
		НП*	2,35	2,72	3,15	2,74			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	2,57	2,96	3,30	2,94			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	2,64	3,02	3,39	3,02			
	Горстар	Контроль	2,45	2,81	3,22	2,83		2,96	2,88
		НП*	2,46	2,84	3,25	2,85			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	2,65	3,08	3,60	3,11			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	2,62	3,00	3,55	3,06			
	Ирэн	Контроль	2,53	3,03	3,40	2,99		3,15	3,13
		НП*	2,55	3,05	3,46	3,02			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	2,70	3,41	3,65	3,25			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	2,81	3,44	3,72	3,32			
	Арис	Контроль	2,43	2,81	3,24	2,83		3,06	3,17
		НП*	2,48	2,93	3,32	2,91			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	2,77	3,19	3,67	3,21			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	2,86	3,27	3,69	3,27			
Глубокое рыхление	Спринт	Контроль	2,08	2,41	2,63	2,37	2,62	2,68	2,66
		НП*	2,10	2,45	2,72	2,42			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	2,30	2,66	2,93	2,63			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	2,33	2,70	2,96	2,66			
	Горстар	Контроль	2,23	2,58	2,80	2,54		2,81	2,71
		НП*	2,23	2,60	2,84	2,56			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	2,43	2,79	3,10	2,77			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	2,40	2,80	3,09	2,76			
	Ирэн	Контроль	2,25	2,61	2,84	2,57		2,91	2,91
		НП*	2,31	2,69	2,91	2,64			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	2,39	2,73	2,99	2,70			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	2,47	2,79	3,11	2,79			
	Арис	Контроль	2,16	2,48	2,73	2,46		2,83	2,96
		НП*	2,20	2,55	2,76	2,50			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	2,36	2,75	2,96	2,69			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	2,43	2,84	3,08	2,78			
НСР <sub>05</sub> для частных средних			0,12	0,16	0,18	0,12			
НСР <sub>05</sub> – обработка почвы			0,03	0,04	0,04	0,03			
НСР <sub>05</sub> – гибрид			0,04	0,06	0,06	0,04			
НСР <sub>05</sub> – удобрение			0,04	0,06	0,06	0,04			

Примечание. \* НП – некорневая подкормка: «Биостим масличный» 1,0 л/га + «Ультрамаг Бор» 0,5 л/га.

**Table 1**  
*Influence of soil cultivation methods and fertilizers on the seed yield of new sunflower hybrids, t/ha (2019–2021)*

Агротехнологии

Tillage	Hybrid	Fertilizers	Productivity, t/ha				For average:		
			2019	Soil treatment	Soil treatment	Soil treatment	soil treatment	hybrids	fertilizer average
Moldboard plowing	Sprint	Control	2.31	2.67	3.03	2.67	3.00	2.84	2.83
		FF*	2.35	2.72	3.15	2.74			
		$N_{30}P_{30}$	2.57	2.96	3.30	2.94			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	2.64	3.02	3.39	3.02			
	Gorstar	Control	2.45	2.81	3.22	2.83		2.96	2.88
		FF*	2.46	2.84	3.25	2.85			
		$N_{30}P_{30}$	2.65	3.08	3.60	3.11			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	2.62	3.00	3.55	3.06			
	Iren	Control	2.53	3.03	3.40	2.99		3.15	3.13
		FF*	2.55	3.05	3.46	3.02			
		$N_{30}P_{30}$	2.70	3.41	3.65	3.25			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	2.81	3.44	3.72	3.32			
	Aris	Control	2.43	2.81	3.24	2.83		3.06	3.17
		FF*	2.48	2.93	3.32	2.91			
		$N_{30}P_{30}$	2.77	3.19	3.67	3.21			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	2.86	3.27	3.69	3.27			
Deep loosening	Sprint	Control	2.08	2.41	2.63	2.37	2.62	2.68	2.66
		FF*	2.10	2.45	2.72	2.42			
		$N_{30}P_{30}$	2.30	2.66	2.93	2.63			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	2.33	2.70	2.96	2.66			
	Gorstar	Control	2.23	2.58	2.80	2.54		2.81	2.71
		FF*	2.23	2.60	2.84	2.56			
		$N_{30}P_{30}$	2.43	2.79	3.10	2.77			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	2.40	2.80	3.09	2.76			
	Iren	Control	2.25	2.61	2.84	2.57		2.91	2.91
		FF*	2.31	2.69	2.91	2.64			
		$N_{30}P_{30}$	2.39	2.73	2.99	2.70			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	2.47	2.79	3.11	2.79			
	Aris	Control	2.16	2.48	2.73	2.46		2.83	2.96
		FF*	2.20	2.55	2.76	2.50			
		$N_{30}P_{30}$	2.36	2.75	2.96	2.69			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	2.43	2.84	3.08	2.78			
LSD <sub>05</sub> for private secondary			0.12	0.16	0.18	0.12			
LSD <sub>05</sub> – soil treatment			0.03	0.04	0.04	0.03			
LSD <sub>05</sub> – hybrid			0.04	0.06	0.06	0.04			
LSD <sub>05</sub> – fertilizer			0.04	0.06	0.06	0.04			

Note. \* FF – Foliar Feeding: “Biostim maslichnyy” 1.0 l/ha + “Ul’tramag Bor”, 0.5 l/ha.

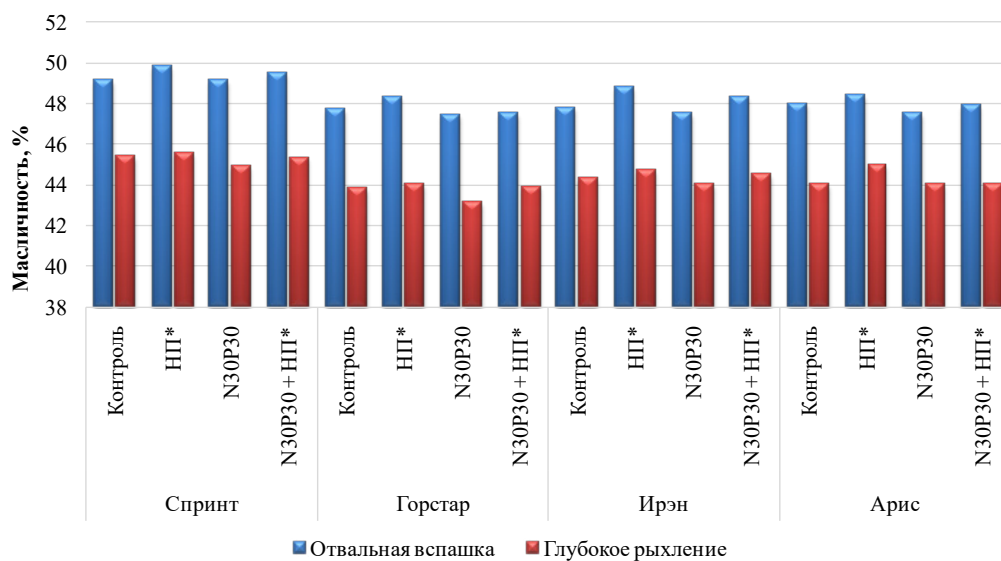


Рис. 2. Масличность семян новых гибридов подсолнечника, % (средняя за 2019–2021 гг. \* НП – некорневая подкормка)

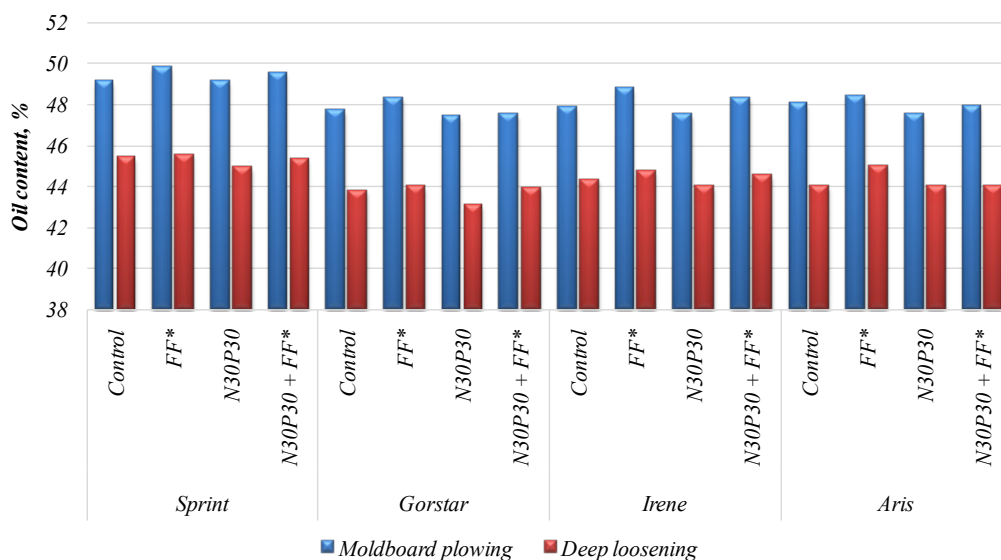


Fig. 2. Oil content of seeds of new sunflower hybrids, % (average for 2019–2021; \* FF – Foliar Feeding)

Одним из главных показателей семян подсолнечника является содержание в них жира, а общий выход масла показывает эффективность его выращивания. Очевидна прямая зависимость выхода масла от величины урожайности гибридов подсолнечника. В проведенных исследованиях установлено, что масличность семян гибридов подсолнечника варьировала в среднем от 47,7 до 49,4 % по отвальной вспашке и от 43,7 до 45,3 % на фоне глубокого рыхления почвы (рис. 2).

Данные диаграммы свидетельствуют об отрицательном действии глубокого рыхления почвы на масличность семян исследуемых гибридов в сравнении с отвальной вспашкой, где этот показатель составил в среднем 48,3 %, а на фоне рыхления – 44,4 % (разница в 3,9 %).

В условиях данного опыта за 2019–2021 гг. наибольшей масличностью обладал гибрид Спринт,

где в среднем она составляла по отвальной обработке 49,4 %, по глубокому рыхлению почвы – 45,3 % (таблица 2).

В засушливом 2019 году масличность всех гибридов была выше, чем в остальные годы. Однако также отличался гибрид Спринт, и на фоне некорневой подкормки («Биостим масличный» 1,0 л/га + «Ультрамаг Бор» 0,5 л/га) масличность достигала 51,3 %. Наблюдается закономерность, что с увеличением урожайности снижается масличность семян исследуемых гибридов подсолнечника. К примеру, на контрольном варианте по наиболее продуктивному гибриду Ирэн в 2019 году урожайность составила 2,31 т/га при масличности семян 50,8 %, в 2020 году при урожайности 2,67 т/га масличность семян составила 49,3 %, а в 2021 году урожайность гибрида составила 3,03 т/га при масличности семян 47,2 %.

Таблица 2

Влияние способов обработки почвы и удобрений на масличность семян новых гибридов подсолнечника, % (2019–2021 гг.)

Агротехнологии

Обработка почвы	Гибрид	Удобрения	Масличность, %				Среднее по:		
			2019	2020	2021	средняя	обработке почв	гибридам	удобрению
Отвальная вспашка	Спринт	Контроль	50,8	49,3	47,2	49,1	48,3	49,4	48,1
		НП*	51,3	50,1	48,0	49,8			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	50,7	49,3	47,3	49,1			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	51,0	49,8	47,7	49,5			
	Горстар	Контроль	49,0	48,0	46,0	47,7		47,7	48,8
		НП*	49,5	48,7	46,7	48,3			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	48,8	47,6	45,7	47,4			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	49,2	47,7	45,7	47,5			
	Ирэн	Контроль	49,4	47,9	46,0	47,8		48,1	47,9
		НП*	50,1	49,1	47,1	48,8			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	49,2	47,6	45,6	47,5			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	49,7	48,6	46,6	48,3			
	Арис	Контроль	49,2	48,3	46,4	48,0		48,0	48,3
		НП*	50,1	48,6	46,6	48,4			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	49,1	47,7	45,8	47,5			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	49,6	48,1	46,1	47,9			
Глубокое рыхление	Спринт	Контроль	46,7	45,7	43,9	45,4	44,4	45,3	46,2
		НП*	47,2	45,6	43,7	45,5			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	46,5	45,1	43,2	44,9			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	46,8	45,5	43,6	45,3			
	Горстар	Контроль	44,9	44,1	42,3	43,8		43,7	46,8
		НП*	45,3	44,3	42,5	44,0			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	44,5	43,3	41,5	43,1			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	45,1	44,1	42,4	43,9			
	Ирэн	Контроль	45,5	44,6	42,8	44,3		44,4	45,9
		НП*	46,1	44,9	43,1	44,7			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	45,2	44,3	42,5	44,0			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	45,7	44,8	43,0	44,5			
	Арис	Контроль	45,4	44,1	42,4	44,0		44,2	46,4
		НП*	46,3	45,2	43,4	45,0			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub>	45,2	44,3	42,4	44,0			
		N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> + НП*	45,7	44,1	42,3	44,0			
НСР <sub>05</sub> для частных средних			0,6	1,1	1,3	0,3			
НСР <sub>05</sub> – обработка почвы			0,2	0,3	0,3	0,1			
НСР <sub>05</sub> – гибрид			0,2	0,4	0,4	0,1			
НСР <sub>05</sub> – удобрение			0,2	0,4	0,4	0,1			

Примечание. \* НП – некорневая подкормка: «Биостим масличный» 1,0 л/га + «Ультрамаг Бор» 0,5 л/га.



Table 2

Influence of soil cultivation methods and fertilizers on the oil content of seeds of new sunflower hybrids, t/ha (2019–2021)

Tillage	Hybrid	Fertilizers	Oil content, %				For average:		
			2019	2020	2021	average	soil treatment	hybrids	fertilizer average
Moldboard plowing	Sprint	Control	50.8	49.3	47.2	49.1	48.3	49.4	48.1
		FF*	51.3	50.1	48.0	49.8			
		$N_{30}P_{30}$	50.7	49.3	47.3	49.1			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	51.0	49.8	47.7	49.5			
	Gorstar	Control	49.0	48.0	46.0	47.7		47.7	48.8
		FF*	49.5	48.7	46.7	48.3			
		$N_{30}P_{30}$	48.8	47.6	45.7	47.4			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	49.2	47.7	45.7	47.5			
	Iren	Control	49.4	47.9	46.0	47.8		48.1	47.9
		FF*	50.1	49.1	47.1	48.8			
		$N_{30}P_{30}$	49.2	47.6	45.6	47.5			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	49.7	48.6	46.6	48.3			
	Aris	Control	49.2	48.3	46.4	48.0		48.0	48.3
		FF*	50.1	48.6	46.6	48.4			
		$N_{30}P_{30}$	49.1	47.7	45.8	47.5			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	49.6	48.1	46.1	47.9			
Deep loosening	Sprint	Control	46.7	45.7	43.9	45.4	44.4	45.3	46.2
		FF*	47.2	45.6	43.7	45.5			
		$N_{30}P_{30}$	46.5	45.1	43.2	44.9			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	46.8	45.5	43.6	45.3			
	Gorstar	Control	44.9	44.1	42.3	43.8		43.7	46.8
		FF*	45.3	44.3	42.5	44.0			
		$N_{30}P_{30}$	44.5	43.3	41.5	43.1			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	45.1	44.1	42.4	43.9			
	Iren	Control	45.5	44.6	42.8	44.3		44.4	45.9
		FF*	46.1	44.9	43.1	44.7			
		$N_{30}P_{30}$	45.2	44.3	42.5	44.0			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	45.7	44.8	43.0	44.5			
	Aris	Control	45.4	44.1	42.4	44.0		44.2	46.4
		FF*	46.3	45.2	43.4	45.0			
		$N_{30}P_{30}$	45.2	44.3	42.4	44.0			
		$N_{30}P_{30} + FF^*$	45.7	44.1	42.3	44.0			
LSD <sub>05</sub> for private secondary			0.6	1.1	1.3	0.3			
LSD <sub>05</sub> – soil treatment			0.2	0.3	0.3	0.1			
LSD <sub>05</sub> – hybrid			0.2	0.4	0.4	0.1			
LSD <sub>05</sub> – fertilizer			0.2	0.4	0.4	0.1			

Note. \* FF – Foliar Feeding: Biostim maslichnyy” 1.0 l/ha + “Ultramag Bor”, 0.5 l/ha.

**Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

На основании проведенных в 2019–2021 годах на выщелоченных черноземах Республики Адыгеи исследований по оценке влияния элементов технологии на продуктивность гибридов подсолнечника выявлены определенные закономерности, знание которых позволит получать высокие урожаи культуры с хорошим качеством товарной продукции. Установлено, что отвальная вспашка, создавая благоприятные условия для роста и развития растений подсолнечника путем накопления влаги в почве и снижая степень засоренности посевов, обеспечивает получение высокого урожая изучаемых гибридов: 2,84 т/га – Спринт, 2,96 т/га – Горстар, 3,15 т/га – Ирэн и 3,06 т/га – Арис, что больше, чем

при глубоком рыхлении, на 0,32–0,47 т/га, а также повышая масличность семян по сравнению с глубоким рыхлением на 3,7–4,1 % до 49,4 % у гибрида Спринт, 47,7 % – Горстар, 48,1 % – Ирэн и 48,0% – Арис. При увеличении уровня интенсификации производства подсолнечника за счет применения удобрений (некорневая подкормка: «Биостим масличный» 1,0 л/га + «Ультрамаг Бор» 0,5 л/га,  $N_{30}P_{30}$ ,  $N_{30}P_{30}$  + некорневая подкормка) позволило увеличить урожайность изучаемых гибридов на фоне отвальной обработки почвы от 0,05 до 0,34 т/га, на фоне глубокого рыхления – от 0,05 до 0,27 т/га без потери качества продукции.

**Библиографический список**

1. Мамсиров Н. И., Хатков К. Х., Тхакушинова Л. Н. Совершенствование агротехнологии производства высококачественных семян подсолнечника // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 6. С. 150–158. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-6-150-158.
2. Kostenkova E., Bushnev A., Pashtetsky V. Scientific justification of technological practices of confectionery sunflower cultivation // Proceedings of the International scientific and practical conference “Topical issues of biology, breeding, technology and processing of agricultural crops” (CIBTA2022) (to the 110th anniversary of V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops). 2023. Vol. 2777. Article number 020025. DOI: 10.1063/5.0141801.
3. Децына А. А., Хатнянский В. И., Илларионова И. В., Арасланова Н. М., Саукова С. Л., Ивевбор М. В. Мониторинг болезней на сортах подсолнечника селекции ВНИИМК // Масличные культуры. 2021. № 1 (185). С. 67–72. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-1-185-67-72.
4. Нецадим Н. Н., Квашин А. А., Малтабар М. А., Старушка А. В., Коваль А. В. Применение различных агроприемов при выращивании подсолнечника в Краснодарском крае // Тенденции развития науки и образования. 2020. № 59-1. С. 59–63. DOI: 10.18411/lj-03-2020-12.
5. Савенков В. П., Дедов А. В., Хрюкин Н. Н., Епифанцева А. М. Влагообеспеченность почвы в зависимости от систем основной обработки в первой ротации севооборота с масличными культурами // Масличные культуры. 2020. № 1 (181). С. 49–56. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-49-56.
6. Бочковой А. Д., Камардин В. А., Назаров Д. А. Совершенствование методов оценки посевных качеств семян подсолнечника в связи с изменением климата (обзор) // Масличные культуры. 2020. № 2 (182). С. 121–127. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-121-127.
7. Тишков Н. М., Еремин Г. И. Эффективность применения жидких комплексных удобрений под подсолнечник на черноземах Краснодарского края // Масличные культуры. 2020. №2 (182). С. 51–61. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-51-61.
8. Dos Santos E. G., Hiroko I. M., Dias Guimaraes A. C., Queiroz Bastos J. S., de la Cruz R. A., Mendes K. F. Influence of Chemical Control on the Floristic Composition of Weeds in the Initial and Pre-Harvest Development Stages of the Sunflower Crop. Agrochemicals. 2023. Vol. 2 (2) Pp. 193–202. DOI: 10.3390/agrochemicals2020014.
9. Бушнева А. С., Демуринов Я. Н., Орехов Г. И., Борисенко О. М., Подлесный С. П., Толмачева Н. Н. Формирование продуктивности экспериментальных вертикальнолистных гибридов подсолнечника селекции ВНИИМК при различной площади питания растений // Масличные культуры. 2020. № 1 (181). С. 57–69. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-57-69.
10. Нецадим Н. Н., Квашин А. А., Малтабар М. А., Коваль А. В., Старушка А. В., Шевель С. А. Урожайность гибридов масличного подсолнечника при различных агротехнологиях в условиях центральной зоны Кубани // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 100. С. 158–165. DOI: 10.21515/1999-1703-100-158-165.
11. Тишков Н. М., Шкарупа М. В. Влияние густоты стояния растений на урожайность и структуру урожая материнских форм гибридов подсолнечника // Масличные культуры. 2020. № 1 (181). С. 70–78. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-70-78.
12. Yuldasheva Z., Bushnev A., Ergasheva N. Effect of plant density on sunflower yield under irrigated conditions in Uzbekistan // Proceedings of the International scientific and practical conference “Topical issues of biology, breeding, technology and processing of agricultural crops” (CIBTA2022) (to the 110th anniversary

sary of V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops). 2023. Vol. 2777. Article number 020078. DOI: 10.1063/5.0140611.

13. Бушнев А. С., Гриднев А. К., Орехов Г. И., Курилова Д. А. Влияние агротехнических приемов на улучшение посевных качеств семян F1 гибрида подсолнечника Факел на участке гибридизации (сообщение 1) // Масличные культуры. 2021. № 3 (187). С. 19–28. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-3-187-19-28.

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

15. Stefanic E., Rasic S., Lucic P., Zimmer D., Mijic A., Antunovic S., Japundzic-Palenkic B., Lukacevic M., Zima D., Stefanic I. The critical period of weed control influences sunflower (*Helianthus annuus* L.) yield, yield components but not oil content // *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No. 8. Article number 2008. DOI: 10.3390/agronomy13082008.

#### Об авторах:

**Нурбий Ильясович Мамсиров**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологии производства сельскохозяйственной продукции, Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия; ORCID 0000-0003-4581-5505, AuthorID 377074. E-mail: nur.urup@mail.ru

**Людмила Нурбиевна Тхакушинова**, аспирант, преподаватель кафедры технологии производства сельскохозяйственной продукции, Майкопский государственный технологический университет, Майкоп, Россия; ORCID 0000-0000-0000-0000, AuthorID 1097314. E-mail: milathakusinova@gmail.com

#### References

1. Mamsirov N. I., Improvement of agrotechnology of production of high-quality sunflower seeds. *New Technologies*. 2021; 17 (6): 150–158. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-6-150-158. (In Russ.)

2. Kostenkova E., Bushnev A., Pashtetsky V. Scientific justification of technological practices of confectionery sunflower cultivation. *Proceedings of the International scientific and practical conference "Topical issues of biology, breeding, technology and processing of agricultural crops" (CIBTA2022) (to the 110th anniversary of V. S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops)*. 2023; 2777: 020025. DOI: 10.1063/5.0141801.

3. Detsyna A. A., Khatnyanskiy V. I., Illarionova I. V., Araslanova N. M., Saukova S. L., Ivebor M. V. Monitoring of diseases in crops of sunflower varieties bred at VNIIMK. *Oil Crops*. 2021; 1 (185): 67–72. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-1-185-67-72. (In Russ.)

4. Neshchadim N. N., Kvashin A. A., Maltabar M. A., Starushka A. V., Koval' A. V. Application of various agricultural techniques in sunflower cultivation in Krasnodar Krai. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2020; 59-1: 59–63. DOI: 10.18411/lj-03-2020-12. (In Russ.)

5. Savenkov V. P., Dedov A. V., Khryukin N. N., Epifantseva A. M. Soil water availability depending on primary soil treatment in crop rotation with oil crops. *Oil Crops*. 2020; 1 (181): 49–56. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-49-56. (In Russ.)

6. Bochkovoy A. D., Kamardin V. A., Nazarov D. A. Perfection of estimation methods of sowing qualities of sunflower seed depending on climate changes (review). *Oil Crops*. 2020; 2 (182): 121–127. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-121-127. (In Russ.)

7. Tishkov N. M., Eremin G. I. Efficiency of application of liquid complex fertilizers under sunflower on black soil of the Krasnodar region. *Oil Crops*. 2020; 2 (182): 51–61. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-2-182-51-61. (In Russ.)

8. Dos Santos E. G., Hiroko I. M., Dias Guimaraes A. C., Queiroz Bastos J. S., de la Cruz R. A., Mendes K. F. Influence of Chemical Control on the Floristic Composition of Weeds in the Initial and Pre-Harvest Development Stages of the Sunflower Crop. *Agrochemicals*. 2023; 2 (2): 193–202. DOI: 10.3390/agrochemicals2020014.

9. Bushnev A. S., Demurin Ya. N., Orekhov G. I., Borisenko O. M., Podlesnyy S. P., Tolmacheva N. N. The formation of the productivity of experimental erectoid leaf hybrids of sunflower bred at VNIIMK under different areas of plant nutrition. *Oil Crops*. 2020; 1 (181): 57–69. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-57-69. (In Russ.)

10. Neshchadim N. N., Kvashin A. A., Maltabar M. A., Koval' A. V., Starushka A. V., Shevel' S. A. Yield of oil sunflower hybrids under different agrotechnologies in conditions of the Kuban Central zone. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2022; 100: 158–165. DOI: 10.21515/1999-1703-100-158-165. (In Russ.)

11. Tishkov N. M., Shkarupa M. V. Influence of plant population on yield and yield structure of maternal forms of sunflower hybrids. *Oil Crops*. 2020; № 1 (181): 70–78. DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-70-78. (In Russ.)

12. Yuldasheva Z., Bushnev A., Ergasheva N. Effect of plant density on sunflower yield under irrigated conditions in Uzbekistan. *Proceedings of the International scientific and practical conference "Topical issues of bio-*

ogy, breeding, technology and processing of agricultural crops" (CIBTA2022) (to the 110th anniversary of V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops). 2023; 2777: 020078. DOI: 10.1063/5.0140611.

13. Bushnev A. S., Gridnev A. K., Orekhov G. I., Kurilova D. A. Impact of agrotechnical methods on improvement of sowing qualities of F1 seeds of sunflower hybrid Fakel on hybridization plot (report I). *Oil Crops*. 2021; 3 (187): 19–28. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-3-187-19-28. (In Russ.)

14. Dospekhov B. A. Methods of field experiment with the basics of statistical processing of research results. 5th edition, supplemented and revised. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russ.)

15. Stefanic E., Rasic S., Lucic P., Zimmer D., Mijic A., Antunovic S., Japundzic-Palenkic B., Lukacevic M., Zima D., Stefanic I. The critical period of weed control influences sunflower (*Helianthus annuus* L.) yield, yield components but not oil content. *Agronomy*. 2023; 13 (8): 2008. DOI: 10.3390/agronomy13082008.

**Authors' information:**

**Nurbiy I. Mamsirov**, doctor of agricultural sciences, associate professor, head of the department of agricultural production technology, Maykop State Technological University, Maykop, Russia; ORCID 0000-0003-4581-5505, AuthorID 377074. *E-mail: nur.urup@mail.ru*

**Lyudmila N. Tkhakushinova**, postgraduate, lecturer at the department of agricultural production technology, Maykop State Technological University, Maykop, Russia; ORCID 0009-0008-5930-9359, AuthorID 1097314. *E-mail: milathakusinova@gmail.com*



## Действие экспериментального препарата, созданного на основе бактерий *Lactobacillus buchneri*, на рост и продуктивность овса посевного

И. И. Рассохина<sup>1</sup>, С. В. Ерегина<sup>1</sup>, А. В. Платонов<sup>1,2</sup> ✉

<sup>1</sup> Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия

<sup>2</sup> Вологодский институт права и экономики ФСИН России, Вологда, Россия

✉ E-mail: [platonov70@yandex.ru](mailto:platonov70@yandex.ru)

**Аннотация.** Цель исследования – продемонстрировать возможность внедрения экспериментального микробиологического препарата, основой которого являются живые молочно-кислые бактерии *Lactobacillus buchneri* (концентрация клеток не менее  $10^8$  КОЕ/мл), в практику растениеводства и кормопроизводства для увеличения морфофизиологических и продуктивных параметров овса посевного сорта Лев в почвенно-климатических условиях Северо-Запада России. **Методы.** Научно-исследовательская работа осуществлялась в вегетационные периоды 2020–2022 гг. в рамках постановки мелкоделяночных полевых экспериментов на опытном поле Вологодского научного центра РАН. Внесение биопрепарата проводилось двукратно: предпосевная инокуляция семян в течение двух часов в рабочем растворе препарата (1 мл/л) и опрыскивание по филлосфере на стадии кущения овса раствором препарата (1 л/га). Оценка морфофизиологических параметров овса осуществлялась на разных фазах вегетации: подсчитывали количество побегов и листьев растений, измеряли сырую и сухую массу, а также содержание фотосинтетических пигментов в листьях путем спектрофотометрического анализа. В конце вегетации проводили учет зерновой продуктивности овса. **Научная новизна.** Впервые в условиях Вологодской области, которая является модельным регионом Северо-Запада России, продемонстрирована возможность использования экспериментального препарата, основа которого – молочно-кислые бактерии *L. buchneri*, для активации ростовых и увеличения продуктивных показателей овса. **Результаты.** Использование анализируемого препарата способствовало активации ростовых процессов овса, на что указывают большие морфометрические параметры опытных растений относительно контроля: в работе отмечено превосходство по сырой и сухой массе опытных растений в фазу выметывания на 18–37 % и на 16–48 % соответственно. Кроме того, показано, что по содержанию фотосинтетических пигментов в листьях опытные растения опережают контроль на 11–21 %. Зерновая продуктивность опытных растений овса превзошла контроль на 13–29 %. В целом препарат показал лучшую эффективность действия в сезоны с более влажными и теплыми условиями (2020 и 2022 гг.).

**Ключевые слова:** *Lactobacillus*, овес, *Avena sativa*, рост, зерновая продуктивность, хлорофилл

**Для цитирования:** Рассохина И. И., Ерегина С. В., Платонов А. В. Действие экспериментального препарата, созданного на основе бактерий *Lactobacillus buchneri* на рост и продуктивность овса посевного // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1613–1623. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1613-1623>.

**Дата поступления статьи:** 17.04.2024, **дата рецензирования:** 10.09.2024, **дата принятия:** 27.09.2024.

## Effect of experimental preparation based on bacteria *Lactobacillus buchneri* on growth and productivity of oats (*Avena sativa*)

I. I. Rassokhina<sup>1</sup>, S. V. Ereghina<sup>1</sup>, A. V. Platonov<sup>1, 2</sup> ✉

<sup>1</sup> Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia

<sup>2</sup> Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penal Service of Russia, Vologda, Russia

✉ E-mail: platonov70@yandex.ru

**Abstract.** The purpose of the research was to study the effect of the experimental preparation based on live bacteria *Lactobacillus buchneri* on the parameters of sown oats in soil and climatic conditions of the North-West Russia. The objectives of the work were to evaluate the effect of the experimental preparation on the growth parameters of plants, as well as grain yield of the crop. **Methods.** The experiment was carried out in the framework of microplot field trial in 2020–2022 in Vologda Research Center of RAS. The object of the study was sown oats of Lev variety. Before sowing, seeds of the experimental variant were inoculated in the working solution of the experimental preparation at a concentration of 1 ml of the preparation per 1 liter of water for 2 hours; the content of live bacteria of the original strain was at least  $1 \times 10^8$  CFU in 1 ml of the preparation. Secondary application of bacteria was carried out on vegetative organs of plants in tillering phase (in concentration of 1 liter of preparation per ha). **Scientific novelty.** The study of the preparation based on bacteria *Lactobacillus buchneri* on sown oats was carried out for the first time. **Results.** The application of the experimental preparation promoted the activation of growth processes of oats, as evidenced by slightly higher weight indices of experimental plants relative to the control. The research results show the increase of crude and dry weight of experimental plants relative to control plants in the heading phase by 18–37 % and by 16–48 % respectively, as well as the increase of photosynthetic pigments content in leaves of experimental plants relative to control by 11–21 %. Grain productivity of experimental oat plants exceeded the control by 13–29 %. In general, the preparation revealed better efficiency of action in seasons with wetter and warmer conditions (2020 and 2022).

**Keywords:** *Lactobacillus*, oats, *Avena sativa*, growth, grain productivity, chlorophyll

**For citation:** Rassokhina I. I., Ereghina S. V., Platonov A. V. Effect of experimental preparation based on bacteria *Lactobacillus buchneri* on growth and productivity of oats (*Avena sativa*). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1613–1623. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1613-1623>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 17.04.2024, **date of review:** 10.09.2024, **date of acceptance:** 27.09.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Одним из приоритетных направлений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента РФ от 28.02.2024 № 145) является увеличение посевных площадей, где агропроизводство обеспечивает получение экологически чистой сельскохозяйственной продукции, что согласуется и со Стратегией развития производства органической продукции до 2030 года (распоряжение Правительства Российской Федерации от 04.07.2023 № 1788-р). При этом вопрос повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, особенно в Нечерноземной зоне России, где агроклиматические условия не позволяют культурам полностью реализовать свой генетически запрограммированный потенциал, является довольно актуальным.

Использование микробиологических препаратов, отвечая требованиям экологизации производства, способно активизировать рост и повысить

продуктивность сельскохозяйственных культур. Однако ассортимент биологических препаратов, используемых в практике в настоящее время, крайне мал [1], а, например, доля сельскохозяйственных организаций Европейского Севера России, где применяются биологические методы защиты растений, составляет всего 9,4 % [2].

Бактерии являются естественными производителями более 300 химических соединений, среди которых обнаружены ИУК, цианистый водород, 2,4-ДАФГ, сидерофоры, пирролнитрин, феназины, глюконовая кислота, липопептиды и прочие [3–5]. Существует множество исследований, которые подтверждают способность представителей родов *Bacillus* и *Pseudomonas*, относящихся к PGPR-организмам, подавлять рост фитопатогенов и стимулировать рост хозяйственно значимых культур. Например, в исследованиях О. В. Сырмолот и Н. С. Кочева показано ростостимулирующее действие опытных образцов препаратов, основа ко-

торых – штаммы *Bacillus subtilis* BZR 336g и BZR 517, а также *Pseudomonas* sp. BZR 245-F. Отмечается, что действие штаммов в разных комбинациях, с одной стороны, сдерживает развитие корневой гнили и снижает заболеваемость на 8,5–17,4 %, с другой – увеличивает высоту растений на 3,0–11,6 м, количество листьев на 4,1–4,9 % и клубеньков сои на 9,8–38,4 %, массу семян на 10,2–33,4 % и урожайность культуры на 7,7–38,5 % [6].

Интерес к изучению бактерий, вызывающих молочнокислое брожение, в сельском хозяйстве в первую очередь связан с их участием в заготовке объемистых кормов [7–8]. Так, применение био консервантов, основа которых – живые молочнокислые бактерии, необходимо при заготовке кормов из трудноsilосуемых трав. Использование жидких заквасок, созданных из микроорганизмов, способных к молочнокислому брожению, при silосовании может повысить сохранность питательных веществ кормов в течение всего периода хранения. Основным механизмом обеспечения сохранности кормов – нормализация процесса брожения, снижение уровня кислотности и подавление роста нежелательной микрофлоры в биомассе [9].

При этом их возможная роль в стимулировании роста и развитии сельскохозяйственных культур практически не изучена. Высокая конкурентоспособность молочнокислых бактерий, обеспечивает им преимущество в эффективном взаимодействии с ризосферой растений и позволяет успешно существовать в почве. Так, показано, что представители рода *Lactobacillus* способны нивелировать действие стрессоров и патогенов на растительные культуры [10–12], а также ускорять достижение более поздних фаз вегетации в более ранние сроки и активировать рост культур [12]. Безусловно, подавление развития фитопатогенов и стимуляция роста растений молочнокислыми бактериями объясняется их способностями к синтезу ряда органических кислот [13; 14], например, валериановой и масляной, а также синтезом фитогормонов группы ауксина [15], что оказывает влияние на клеточный метаболизм, развитие, накопление сухого вещества и скорость ростовых процессов [16].

Овес посевной (*Avena sativa* L.) занимает второе по значимости положение среди зерновых культур Вологодской области. С относительной долей возделывания в пределах 18–22 % (от зерновых культур) овес становится неотъемлемой составляющей сельскохозяйственного комплекса области. Интерес к овсу в контексте Нечерноземной зоны России, с ее переменчивым климатом, преимущественно обусловлен устойчивостью данного растения к различным почвенным и агроклиматическим условиям. Основное назначение овса на территории области – кормовая культура для КРС, при этом зерно широко применяют в качестве концентрированного

корма для животных, а также используют как сырье для производства комбикормов. Высокая питательная ценность зерна овса обусловлена высоким содержанием легко усвояемых протеинов (12–13 %), углеводистых соединений (40–45 %), а также зерно содержит в своем составе до 5 % липидов [17]. Кроме того, овес входит в состав двух- и трехкомпонентных однолетних травосмесей для заготовки высокоэнергетических объемистых кормов.

Цель исследования – продемонстрировать возможность внедрения экспериментального препарата, основа которого – живые молочнокислые бактерии *Lactobacillus buchneri*, в практике растениеводства и кормопроизводства для увеличения морфофизиологических и продуктивных параметров овса посевного в почвенно-климатических условиях Северо-Запада России.

Задачи исследования:

- оценить влияние изучаемого препарата на весовые и метрические параметры овса, а также содержание в его листьях фотосинтетических пигментов;
- провести оценку структуры урожая и зерновой продуктивности овса при внесении изучаемого препарата.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Экспериментальный микробный препарат, используемый в работе, создан коллегами из российской научно-производственной компании ООО «Биотроф» на основе живых молочнокислых бактерий *Lactobacillus buchneri* в концентрации клеток не менее  $10^8$  КОЕ/мл. При производстве препарата культивирование микроорганизмов осуществлялось на среде с 2-процентной свекловичной патокой и минеральными солями, где источником азота являлся нитрат натрия.

Научно-исследовательская работа осуществлялась на поле Вологодского научного центра Российской академии наук в 2020–2022 гг., в качестве тест-культуры был выбран овес посевной (*Avena sativa* L.) сорта Лев. Используемый в исследованиях сорт допущен к применению в Северо-Западном регионе Российской Федерации, что являлось основным критерием выбора. Почвы опытного участка являлись осушенными, а также имели дерново-подзолистую структуру и среднесуглинистый состав. Результаты химического анализа почвы представлены в таблице 1. Анализируя значения оцениваемых показателей почвы, можно отметить, что уровень плодородия опытного участка по азоту довольно низкий.

Посев семян осуществлялся в соответствии с принятыми в агрономии нормами высева (500 семян на  $1 \text{ м}^2$ ) в трехкратной повторности на делянки площадью  $2 \text{ м}^2$ . Внесение биопрепарата осуществлялось дважды: предпосевная инокуляция семян два часа в растворе препарата в концентрации

1 мл/л и опрыскивание вегетативных органов в стадию кушения раствором препарата в концентрации 1 л/га (расход раствора – 300 л/га). Для приготовления раствора препарата использовали водопроводную воду. Внесение иных средств, в т. ч. химических, при проведении опыта не осуществлялось.

В исследовании весовых и метрических параметров овса посевного на различных стадиях вегетации проводился комплексный анализ, включающий измерение сырой и сухой массы растений, подсчет числа листьев и побегов кушения. Оценка содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов и каротиноидов) в листьях растений осуществлялась на этапах кушения и выметывания с применением

спектрофотометрического метода анализа, при извлечении пигментов использовался 85-процентный раствор ацетона. В заключительной фазе вегетации отбирали сноповый материал, далее в лабораторных условиях осуществляли оценку структуры урожая: продуктивную кустистость, массу 1000 зерновок и общую зерновую продуктивность культуры.

Все лабораторные исследования и камеральную обработку полученных данных проводились в Вологодском научном центре Российской академии наук. Статистический анализ результатов осуществляли, используя пакет анализа данных программы MS Excel 2010, где показатель доверительной вероятности – 0,95.

Таблица 1  
Результаты химического анализа почвы опытного поля

Показатель	Значение
Массовая доля влаги, %	5,9 ± 0,4
Азот нитратный, мг/кг	11,5 ± 2,3
Азот аммиачный, мг/кг	1,6 ± 0,2
Массовая доля подвижного калия, мг/кг	143,5 ± 21,5
Массовая доля подвижного фосфора, мг/кг	179,0 ± 35,8
pH солевой вытяжки, ед.	5,2 ± 0,1

Примечание. Составлено по результатам химического анализа почвы в ФГБУ Государственный центр агрохимической службы «Вологодский».

Table 1  
Results of chemical analysis of the soil of the experimental field

Indicator	Value
Mass fraction of moisture, %	5.9 ± 0.4
Nitrate nitrogen, mg/kg	11.5 ± 2.3
Ammonia nitrogen, mg/kg	1.6 ± 0.2
Mass fraction of mobile potassium, mg/kg	143.5 ± 21.5
Mass fraction of mobile phosphorus, mg/kg	179.0 ± 35.8
pH of salt extract, units	5.2 ± 0.1

Note. Compiled according to results of chemical analysis of federal state budgetary institution state center of agrochemical service "Vologodskiy".

Таблица 2  
Погодные условия вегетационного периода по годам исследований

Период	2020		2021		2022		Норма	
	T, °C	Количество осадков, мм	T, °C	Количество осадков, мм	T, °C	Количество осадков, мм	T, °C	Количество осадков, мм
Май	9,0	137,0	12,1	65,0	8,0	65,0	11,0	41,4
Июнь	16,0	61,0	19,1	31,0	16,0	61,0	14,5	59,6
Июль	17,0	142,0	19,1	27,0	19,2	81,0	17,9	66,3
Август	14,1	71,0	16,0	139,0	19,3	27,0	15,2	70,5
Вегетативный период	14,0	411,0	16,6	262,0	15,6	234,0	14,7	237,8

Примечание. T – температура. Норма рассчитывалась на основании средних показателей за период 2000–2019 гг.

Table 2  
Weather conditions of the growing season by year of research

Period	2020		2021		2022		Long-term norm	
	T, °C	Precipitation, mm	T, °C	Precipitation, mm	T, °C	Precipitation, mm	T, °C	Precipitation, mm
May	9.0	137.0	12.1	65.0	8.0	65.0	11.0	41.4
June	16.0	61.0	19.1	31.0	16.0	61.0	14.5	59.6
July	17.0	142.0	19.1	27.0	19.2	81.0	17.9	66.3
August	14.1	71.0	16.0	139.0	19.3	27.0	15.2	70.5
Growing season	14.0	411.0	16.6	262.0	15.6	234.0	14.7	237.8

Note. T – temperature. The long-term norm was calculated based on average indicators for the period 2000–2019.



**Результаты (Results)**

Количество осадков и температурный режим оказывают существенное влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур. В Нечерноземной зоне России погодные условия переменчивы, что часто является лимитирующим фактором для получения высокого урожая. В 2020–2022 гг. погодные условия существенно отличались как между собой, так и от усредненных показателей вегетационных периодов 2000–2019 гг. (таблица 2). Например, в мае 2020 года температура значительно отставала от расчетной нормы, различия достигали 2 °С. При этом чрезмерное увлажнение привело к отсрочке сроков посева на более поздние даты, что негативно сказалось на прорастании семян и развитии проростков. Дефицитное увлажнение при высоких температурах в период интенсивного накопления вегетативной массы растений (июнь – июль) – основной ограничивающий фактор вегетационного периода 2021 года. Вегетационный же период 2022 года в сравнении с другими годами оказался наиболее благоприятным для роста и развития овса.

Итак, в целом период вегетации 2020 года можно охарактеризовать как сырой и умеренно теплый с прохладным маем, 2021 года – жаркий и сухой с сырым августом, 2022 года – умеренно теплый и влажный с холодным маем и сухим августом.

В начале вегетации овса общая кустистость варианта с внесением экспериментального препарата имела тенденцию к превосходству над контролем на 8–21 %, по количеству листьев – на 2–4 %, по сырой массе – на 2–8 %, по сухой массе – на 1–9 % (таблица 3). Учитывая, что май 2020 и 2022 годов был сырым и холодным, ожидаемо, что растения в начале вегетации 2021 года оказались лучше развиты (больше масса и количество листьев).

В фазу выметывания наблюдается достоверное превосходство растений опытных вариантов над контрольными (таблица 4). Так, при внесении экспериментального биопрепарата в 2020 году сухая масса превзошла контрольные значения на 16 %, в 2021 году – на 18 %, в 2022 году – на 48 %, показатели сырой массы в опытных вариантах были больше контроля на 18–37 %.

Таблица 3

**Ростовые параметры овса в фазу начала кущения**

Вариант опыта	Общая кустистость, шт.	Количество листьев, шт.	Сырая масса растения, г	Сухая масса растения, г
<b>2020 год</b>				
Контроль	1,4 ± 0,10	5,3 ± 0,2	0,74 ± 0,01	0,138 ± 0,002
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,7 ± 0,20	5,5 ± 0,2	0,80 ± 0,04*	0,151 ± 0,008*
<b>2021 год</b>				
Контроль	1,4 ± 0,20	6,3 ± 0,3	1,26 ± 0,10	0,220 ± 0,016
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,6 ± 0,15	6,5 ± 0,4	1,36 ± 0,08	0,232 ± 0,014
<b>2022 год</b>				
Контроль	1,2 ± 0,10	4,4 ± 0,2	0,57 ± 0,04	0,109 ± 0,008
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,3 ± 0,05	4,5 ± 0,2	0,58 ± 0,05	0,110 ± 0,008

Примечание. \* Разница по сравнению с контролем статистически достоверна при  $P \geq 0,95$ .

Table 3

**Growth parameters of oats at the beginning of tillering phase**

Experimental variant	Total bushiness, pcs.	Number of leaves, pcs.	Wet weight of the plant, g	Dry weight of the plant, g
<b>2020 year</b>				
Control	1.4 ± 0.10	5.3 ± 0.2	0.74 ± 0.01	0.138 ± 0.002
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.7 ± 0.20	5.5 ± 0.2	0.80 ± 0.04*	0.151 ± 0.008*
<b>2021 year</b>				
Control	1.4 ± 0.20	6.3 ± 0.3	1.26 ± 0.10	0.220 ± 0.016
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.6 ± 0.15	6.5 ± 0.4	1.36 ± 0.08	0.232 ± 0.014
<b>2022 year</b>				
Control	1.2 ± 0.10	4.4 ± 0.2	0.57 ± 0.04	0.109 ± 0.008
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.3 ± 0.05	4.5 ± 0.2	0.58 ± 0.05	0.110 ± 0.008

Note. \* The difference compared to the control is statistically significant at  $P \geq 0.95$ .

Таблица 4

Ростовые параметры овса в фазу выметывания

Вариант опыта	Общая кустистость, шт.	Количество листьев, шт.	Сырая масса растения, г	Сухая масса растения, г
<b>2020 год</b>				
Контроль	2,3 ± 0,25	8,1 ± 1,1	4,29 ± 0,36	0,924 ± 0,115
<i>Lactobacillus buchneri</i>	3,1 ± 0,20*	11,3 ± 0,7*	5,06 ± 0,37*	1,069 ± 0,185
<b>2021 год</b>				
Контроль	1,5 ± 0,05	6,1 ± 0,5	4,23 ± 0,33	1,715 ± 0,142
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,8 ± 0,10	6,3 ± 0,6	5,55 ± 0,40*	2,025 ± 0,107*
<b>2022 год</b>				
Контроль	1,3 ± 0,10	6,7 ± 0,2	4,80 ± 0,28	1,472 ± 0,106
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1,4 ± 0,05	6,9 ± 0,3	6,56 ± 0,38*	2,180 ± 0,130*

Примечание. \* Разница по сравнению с контролем статистически достоверна при  $P \geq 0,95$ .

Table 4

Growth parameters of oats during the earing phase

Experimental variant	Total bushiness, pcs.	Number of leaves, pcs.	Wet weight of the plant, g	Dry weight of the plant, g
<b>2020 year</b>				
Control	2.3 ± 0.25	8.1 ± 1.1	4.29 ± 0.36	0.924 ± 0.115
<i>Lactobacillus buchneri</i>	3.1 ± 0.20*	11.3 ± 0.7*	5.06 ± 0.37*	1.069 ± 0.185
<b>2021 year</b>				
Control	1.5 ± 0.05	6.1 ± 0.5	4.23 ± 0.33	1.715 ± 0.142
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.8 ± 0.10	6.3 ± 0.6	5.55 ± 0.40*	2.025 ± 0.107*
<b>2022 year</b>				
Control	1.3 ± 0.10	6.7 ± 0.2	4.80 ± 0.28	1.472 ± 0.106
<i>Lactobacillus buchneri</i>	1.4 ± 0.05	6.9 ± 0.3	6.56 ± 0.38*	2.180 ± 0.130*

Note: \* The difference compared to the control is statistically significant at  $P \geq 0.95$ .

На стадии цветения вышеописанные различия по весовым и метрическим показателям растений сохраняются (рис. 1). Так, превосходство опытных растений над контрольными по сухой массе, которая является наиболее значимым ростовым показателем, в вегетационный период 2020 года достигает 59 %.

Эффективность накопления сухого вещества в растительном организме, бесспорно, связана с продуктивностью фотосинтеза, успех которого во многом зависит от содержания, соотношения и активности фотосинтетических пигментов. В таблице 5 продемонстрированы результаты оценки содержания в листьях овса хлорофиллов и каротиноидов.

Видно, что показатели содержания пигментов у растений опытных групп больше, чем в контроле. Так, разница по содержанию хлорофилла *a* в листьях составляет 11–19 %, хлорофилла *b* – 19–21 %, суммы хлорофиллов – 13–19 %, каротиноидов – до 20 % (таблица 5).

Данные таблицы 6 свидетельствуют о том, что зерновая продуктивность культуры различалась по годам исследований, на что, вероятно, оказали влияние погодные условия. Так, урожайность овса в опыте 2021 года ощутимо отставала от опытов 2020 и 2022 годов. При обобщении результатов всех исследований становится очевидно положительное действие экспериментального препарата,

который создан на основе молочнокислых бактерий *L. buchneri*, на урожайность овса: зерновая продуктивность в опыте 2020 года превзошла контроль на 29 %, в опыте 2021 года – на 13 %, в опыте 2022 года – на 18 %. Вероятно, засушливые условия оказались менее благоприятными и для жизнедеятельности *L. buchneri*, эффективность от внесения которых оказалась выше в условиях влажных вегетационных периодов.

Отметим, что бактерии *Lactobacillus buchneri* оказывали положительное действие на рост и продуктивность ячменя, клеверотимофеечной травосмеси, а также горохоовсяной травосмеси. Так, за три года собственных исследований в условиях мелколесного эксперимента показано увеличение зерновой продуктивности ячменя при использовании данного изучаемого биопрепарата на 8–26 %, а в условиях производственного полевого опыта – на 14 % [18]. Кроме того, имеются данные о положительном влиянии данного экспериментального препарата на рост сорго сахарного [19].

**Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

Стимуляция морфофизиологических функций посредством внешнего воздействия на растительные организмы может оказать существенное влияние на показатели их конечной хозяйственной продуктивности.

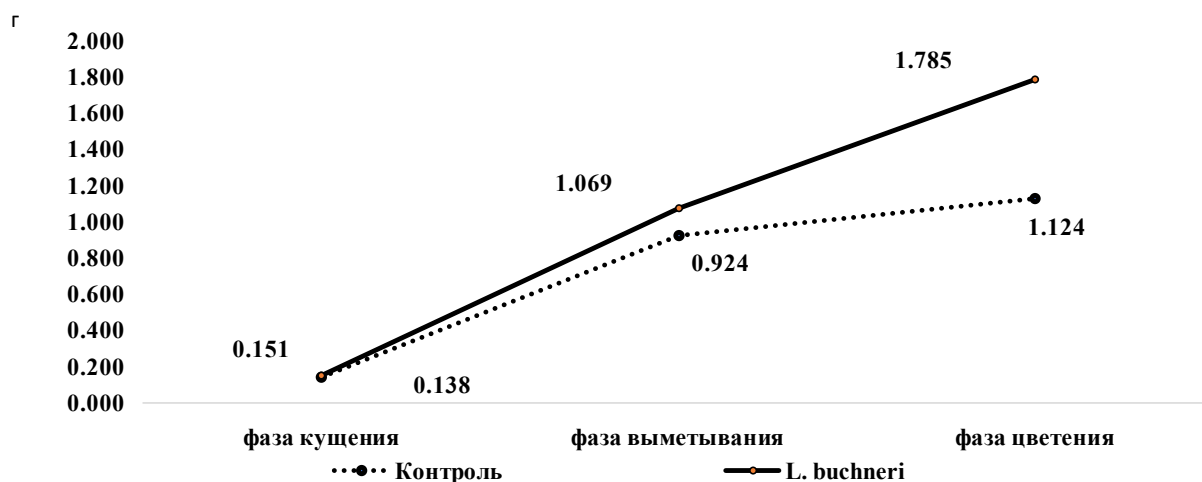


Рис. 1. Динамика накопления сухой массы (г) опытными и контрольными растениями в опыте 2020 года

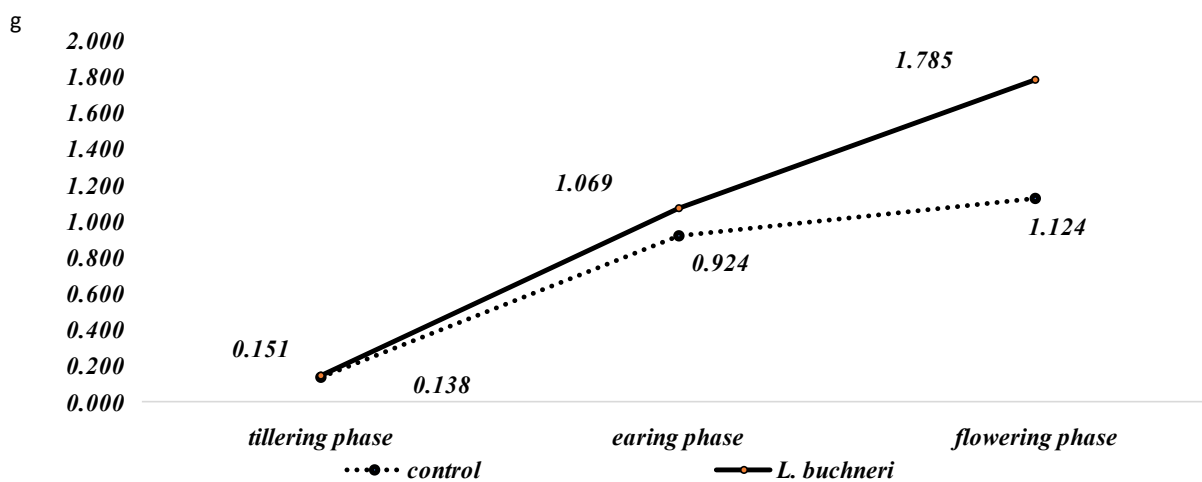


Fig. 1. Dynamics of accumulation of dry mass (g) by experimental and control plants in the 2020

Таблица 5  
Содержание фотосинтетических пигментов в листьях овса посевного в опыте 2021 года

Показатель, мг/г сырого вещества	Фаза кущения		Фаза выметывания	
	Контроль	<i>Lactobacillus buchneri</i>	Контроль	<i>Lactobacillus buchneri</i>
Хлорофилл <i>a</i>	0,598 ± 0,018	0,666 ± 0,071	0,627 ± 0,038	0,745 ± 0,023*
Хлорофилл <i>b</i>	0,220 ± 0,022	0,261 ± 0,028	0,202 ± 0,010	0,244 ± 0,007*
Сумма хлорофиллов ( <i>a + b</i> )	1,051 ± 0,043	1,187 ± 0,127	0,827 ± 0,048	0,987 ± 0,030*
Каротиноиды	0,479 ± 0,012	0,539 ± 0,055	0,392 ± 0,014	0,471 ± 0,020*

Примечание. \* Разница по сравнению с контролем статистически достоверна при  $P \geq 0,95$ .Table 5  
Content of photosynthetic pigments in the leaves of oat in the 2021 year

Indicator, mg/g wet substance	Tillering phase		Earing phase	
	Control	<i>Lactobacillus buchneri</i>	Control	<i>Lactobacillus buchneri</i>
Chlorophyll <i>a</i>	0.598 ± 0.018	0.666 ± 0.071	0.627 ± 0.038	0.745 ± 0.023*
Chlorophyll <i>b</i>	0.220 ± 0.022	0.261 ± 0.028	0.202 ± 0.010	0.244 ± 0.007*
Sum of chlorophylls ( <i>a + b</i> )	1.051 ± 0.043	1.187 ± 0.127	0.827 ± 0.048	0.987 ± 0.030*
Carotenoids	0.479 ± 0.012	0.539 ± 0.055	0.392 ± 0.014	0.471 ± 0.020*

Note. \* The difference compared to the control is statistically significant at  $P \geq 0,95$ .

Таблица 6  
Зерновая продуктивность овса

Год	Вариант опыта	Масса зерна, ц/га	Продуктивная кустистость, шт.	Масса 1000 зерновок, г
2020	Контроль	15,7 ± 1,6	1,1 ± 0,05	34,0 ± 1,8
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	20,3 ± 1,7*	1,3 ± 0,05*	34,9 ± 1,8
2021	Контроль	12,8 ± 1,2	1,0 ± 0,05	32,8 ± 0,3
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	14,5 ± 1,1	1,1 ± 0,05	32,9 ± 0,4
2022	Контроль	19,6 ± 0,2	1,0 ± 0,05	33,1 ± 1,8
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	23,2 ± 2,1*	1,2 ± 0,05	34,4 ± 1,9

Примечание. \* Разница по сравнению с контролем статистически достоверна при  $P \geq 0,95$ .

Table 6  
Grain productivity of oats

Year	Experimental variant	Grain weight, c/ha	Productive tillering capacity, pcs.	Weight of 1000 grains, g
2020	Control	15.7 ± 1.6	1.1 ± 0.05	34.0 ± 1.8
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	20.3 ± 1.7*	1.3 ± 0.05*	34.9 ± 1.8
2021	Control	12.8 ± 1.2	1.0 ± 0.05	32.8 ± 0.3
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	14.5 ± 1.1	1.1 ± 0.05	32.9 ± 0.4
2022	Control	19.6 ± 0.2	1.0 ± 0.05	33.1 ± 1.8
	<i>Lactobacillus buchneri</i>	23.2 ± 2.1*	1.2 ± 0.05	34.4 ± 1.9

Note. \* The difference compared to the control is statistically significant at  $P \geq 0.95$ .

В работах зарубежных и отечественных авторов неоднократно отмечалась возможность с помощью бактериальных препаратов повышать урожайность хозяйственно значимых культур, именно поэтому биопрепараты часто рассматривают в качестве альтернативы химическим средствам интенсификации агропроизводства. Важное преимущество таких средств – их безопасность для агроценозов по сравнению с минеральными удобрениями и химическими пестицидами, которые способны накапливаться в почве и продуктах питания. Почвы, на которых используются препараты с PGPR-бактериями, требуют существенно меньшего использования минеральных и органических удобрений, что способствует общей экологизации сельскохозяйственного производства, а также сохранению устойчивых систем земледелия [5; 20; 21].

В рамках нашего исследования внесение экспериментального препарата, основа которого – *Lactobacillus buchneri*, привело к стимуляции ростовых процессов овса в почвенно-климатических условиях Вологодской области, которая представляет модельный участок Северо-Запада России. Это подтверждается увеличенными значениями сырой и сухой массы растений из экспериментальной группы по сравнению с контрольным вариантом на протяжении всего сезона вегетации. Например, превосходство опытных растений над контролем по сырой массе может демонстрировать влияние биопрепаратов на процессы поглощения воды, а по су-

хой массе – изменения работы фотосинтетического аппарата. При этом метаболиты бактерий способны как оказывать влияние на активность фотосинтетических единиц, так и увеличивать содержание фотосинтетических пигментов.

Бесспорно, основной функцией хлорофилла является его участие в фотохимическом синтезе органического вещества, в нашем случае наблюдалось увеличение концентрации хлорофилла в листьях опытных растений на 11–21 %. Это позволяет предполагать более продуктивный фотосинтез, который и приводит к большему накоплению массы опытных растений относительно контроля. При этом любые изменения физиологических процессов растений откликаются и на зерновой продуктивности [22], что хорошо согласуется с результатами нашего исследования. Зерновая урожайность при действии экспериментального биопрепарата, основа которого – молочнокислые бактерии, возросла на 13–29 %.

Таким образом, проведенное исследование указывает на потенциальную перспективу использования экспериментального препарата, основанного на живых бактериях *L. buchneri*, в сельскохозяйственной практике в условиях Северо-Запада России. Исследования и практическое внедрение подобных биопрепаратов могут повысить эффективность сельскохозяйственного производства в регионе, способствуя улучшению урожайности и качества сельскохозяйственной продукции.

#### Библиографический список

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2023. Часть 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/>



departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-dep-rast-gos-ysl-agrohim-arh-2023-god/?ysclid=m4qrdfp9jr7449538 (дата обращения: 15.03.2024).

2. Иванов В. А. Стратегия развития сельского хозяйства Европейского Севера России. Сыктывкар: Принт, 2023. 140 с.

3. Nathurusinghe S. H. K., Azizoglu U., Shin, J. -H. Holistic approaches to plant stress alleviation: a comprehensive review of the role of organic compounds and beneficial bacteria in promoting growth and health // *Plants*. 2024. Vol. 13. Article number 695. DOI: 10.3390/plants13050695.

4. Chandrasekaran M., Paramasivan M., Sahayarayan J. J. Microbial volatile organic compounds: an alternative for chemical fertilizers in sustainable agriculture development // *Microorganisms*. 2023. Vol. 11. Article number 42. DOI: 10.3390/microorganisms11010042.

5. Максимов И. В., Сингх Б. П., Черепанова Е. В., Бурханова Г. Ф., Хайруллин Р. М. Перспективы применения бактерий – продуктов липопептидов для защиты растений (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020. № 56 (1). С. 19–34. DOI: 10.31857/S0555109920010134.

6. Сырмолот О. В., Кочева Н. С. Оценка влияния бактерий родов *Bacillus* и *Pseudomonas* на продуктивность сои // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2019. № 10-2. DOI: 10.23670/IRJ.2019.88.10.029.

7. Puntillo M., Gaggiotti M., Oteiza J. M., Binetti A., Massera, A., Vinderola G. Potential of lactic acid bacteria isolated from different forages as silage inoculants for improving fermentation quality and aerobic stability // *Frontiers in microbiology*. 2020. Vol. 11. Article number 586716. DOI: 10.3389/fmicb.2020.586716.

8. Bakare A. G., Zindove T. J., Bhavna A., Devi A., Takayawa S. L., Sharma A. C., Iji P. A. *Lactobacillus buchneri* and molasses can alter the physicochemical properties of cassava leaf silage // *Heliyon*. 2023. Vol. 9 (11). Article number e22141. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.

9. Dutilloy E., Oni F. E., Esmaeel Q., Clément C., Barka E. A. Plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases // *Journal of fungi (Basel)*. 2022. Vol. 8 (6). Article number 632. DOI: 10.3390/jof8060632.

10. Биконя С. Н., Бражник Е. А., Лаптев Г. Ю., Молотков В. В., Черватенков Д. Ю. Оценка качества кормов, заготовленных с биоконсервантом // *Молочное и мясное скотоводство*. 2023. № 1. С. 27–30. DOI: 10.33943/MMS.2023.84.50.006.

11. Filannino P., De Angelis M., Di Cagno R., Gozzi G., Riciputi Y., Gobbetti M. How *Lactobacillus plantarum* shapes its transcriptome in response to contrasting habitats // *Environmental Microbiology*. 2018. Vol. 20, Iss. 10. Pp. 3700–3716. DOI: 10.1111/1462-2920.14372.

12. Limanska N., Ivanytsia T., Basiul O., Krylova K., Biscola V., Chobert J. M., Ivanytsia V. O., Haertle T. Effect of *Lactobacillus plantarum* on germination and growth of tomato seedlings // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013. Vol. № 35. Pp. 1587–1595. DOI: 10.1007/s11738-012-1200-y.

13. Данилова Т. А., Аджиева А. А., Данилина Г. А., Поляков Н. Б., Соловьев А. И., Жуховицкий В. Г. Антимикробное действие супернатанта *Lactobacillus plantarum* на патогенные микроорганизмы // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2019. № 167. С. 709–712. DOI: 10.1007/s10517-019-04615-9.

14. Чичерин И. Ю., Погорельский И. П., Лундовских И. А., Малов А. А., Шабалина М. Р., Дармов И. В. Динамика содержания лактобацилл, микробных метаболитов и антибактериальной активности растущих культур *Lactobacillus plantarum* 8P-A3 // *Журнал инфектологии*. 2014. Т. 5, № 3. С. 50–55. DOI: 10.22625/2072-6732-2013-5-3-50-55.

15. Gummalla S., Broadbent J. R. Tryptophan catabolism by *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus helveticus* cheese flavor adjuncts // *Journal of Dairy Science*. 1999. Vol. 82, No. 10. Pp. 2070–2077. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75448-2.

16. Ujvári G., Capo L., Grassi A., Cristani C., Pagliarani I., Turrini A., Blandino M., Giovannetti M., Agnolucci M. Agronomic strategies to enhance the early vigor and yield of maize. Part I: the role of seed applied biostimulant, hybrid and starter fertilization on rhizosphere bacteria profile and diversity // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Article number 1240310. DOI: 10.3389/fpls.2023.1240310.

17. Еремин Д. И., Моисеева М. Н. Актуальность выращивания овса в России // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 6. С. 58–61.

18. Рассохина И. И., Платонов А. В. Влияние микробиологического препарата, созданного на основе *Lactobacillus buchneri*, на рост и урожайность ячменя в условиях Вологодской области // *Зерновое хозяйство России*. 2023. Т. 15, № 5. С. 63–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-63-69.

19. Сухарева Л. В. Действие биопрепаратов на ростовые параметры *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 1. С. 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-12-21.

20. Веселова С. В., Бурханова Г. Ф., Румянцев С. Д., Благова Д. К., Максимов И. В. Бактерии рода *Bacillus* в регуляции устойчивости пшеницы к обыкновенной злаковой тле *Schizaphis graminum* Rond // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т. 55, № 1. С. 56–63. DOI: 10.1134/S0555109919010185.

21. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterna, M. New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina // Biological Control. 2020. Vol. 141. Article number 104152. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104152.

22. Yasir T. A., Wasaya A., Hussain M., Ijaz M., Farooq M., Farooq O., Nawaz A., Hu Y.-G. Evaluation of physiological markers for assessing drought tolerance and yield potential in bread wheat // Physiology and Molecular Biology of Plants. 2019. Vol. 25. Pp. 1163–1174. DOI: 10.1007/s12298-019-00694-0.

#### Об авторах:

**Ирина Игоревна Рассохина**, научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия; ORCID 0000-0002-6129-6912, AuthorID 1021026. E-mail: rasskhinairina@mail.ru

**Светлана Викторовна Ерегина**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия; ORCID 0000-0001-8136-4663, AuthorID 848792. E-mail: ereginasv@mail.ru

**Андрей Викторович Платонов**, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия; доцент, Вологодский институт права и экономики ФСИН России, Вологда, Россия; ORCID 0000-0002-1110-7116, AuthorID 793557. E-mail: platonov70@yandex.ru

#### References

1. State catalog of pesticides and agrochemicals authorized for use on the territory of the Russian Federation. 2023. Part 1 [Internet] [cited 2024 Mar 15]. Available from: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-dep-rast-gos-ysl-agrohim-arh-2023-god/?ysclid=m4qrdfp9jr7449538>. (In Russ.)

2. Ivanov V. A. Strategy of development of agriculture in the European North of Russia. Syktyvkar: Print, 2023. 140 p. (In Russ.)

3. Hathurusinghe S. H. K., Azizoglu U., Shin J.-H. Holistic Approaches to plant stress alleviation: a comprehensive review of the role of organic compounds and beneficial bacteria in promoting growth and health. *Plants*. 2024; 13 (5): 695. DOI: 10.3390/plants13050695.

4. Chandrasekaran M., Paramasivan M., Sahayarayan J. J. Microbial volatile organic compounds: an alternative for chemical fertilizers in sustainable agriculture development. *Microorganisms*. 2023; 11 (1): 42. DOI: 10.3390/microorganisms11010042.

5. Maksimov I. V., Singkh B. P., Cherepanova E. V., Burkhanova G. F., Khayrullin R. M. Prospects of application of bacterial-lipopeptide preparations for plant protection (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2020; 56 (1): 19–34. DOI: 10.31857/S0555109920010134. (In Russ.)

6. Syrmolot O. V., Kocheva N. S. Impact assessment of bacterias of *Bacillus* and *Pseudomonas* genus on soy productivity. *International Research Journal*. 2019; 10-2 (88). DOI: 10.23670/IRJ.2019.88.10.029.

7. Puntillo M., Gaggiotti M., Oteiza J. M., Binetti A., Massera A., Vinderola G. Potential of lactic acid bacteria isolated from different forages as silage inoculants for improving fermentation quality and aerobic stability. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 586716. DOI: 10.3389/fmicb.2020.586716.

8. Bakare A. G., Zindove T. J., Bhavna A., Devi A., Takayawa S. L., Sharma A. C., Iji P. A. *Lactobacillus buchneri* and molasses can alter the physicochemical properties of cassava leaf silage. *Heliyon*. 2023; 9 (11): e22141. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e22141.

9. Dutilloy E., Oni F. E., Esmael Q., Clément, C., Barka E. A. Plant beneficial bacteria as bioprotectants against wheat and barley diseases. *Journal of Fungi (Basel)*. 2022; 8 (6): 632. DOI: 10.3390/jof8060632.

10. Bikonya S. N., Braznik E. A., Laptev G. Yu., Molotkov V. V., Chervatenkov D. Yu. Assessment of the quality of feeds harvested using a bioconservant. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2023; № 1: 27–30. DOI: 10.33943/MMS.2023.84.50.006. (In Russ.)

11. Filannino P., De Angelis M., Di Cagno R., Gozzi G., Riciputi Y., Gobbetti M. How *Lactobacillus plantarum* shapes its transcriptome in response to contrasting habitats. *Environmental Microbiology*. 2018; 20 (10): 3700–3716. DOI: 10.1111/1462-2920.14372.

12. Limanska N., Ivanytsia T., Basiul O., Krylova K., Biscola V., Chobert J. M., Ivanytsia V. O., Haertle T. Effect of *Lactobacillus plantarum* on germination and growth of tomato seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013; 35: 1587–1595. DOI: 10.1007/s11738-012-1200-y.

13. Danilova T. A., Adzhieva A. A., Danilina G. A., Polyakov N. B., Solov'ev A. I., Zhukhovitskiy V. G. Antimicrobial activity of supernatant of *Lactobacillus plantarum* against pathogenic microorganisms. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2019; 167: 751–754. DOI: 10.1007/s10517-019-04615-9. (In Russ.)
14. Chicherin I. Yu., Pogorelskiy I. P., Lundovskikh I. A., Malov A. A., Shabalina M. R., Darmov I. V. Dynamics of the content of lactobacilli, microbial metabolites and antimicrobial activity of growing culture of *Lactobacillus Plantarum* 8P-A3. *Journal of Infectology*. 2013; 5 (3): 50–55. DOI: 10.22625/2072-6732-2013-5-3-50-55. (In Russ.)
15. Gummalla S., Broadbent J. R. Tryptophan catabolism by *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus helveticus* cheese flavor adjuncts. *Journal of Dairy Science*. 1999; 82 (10): 2070–2077. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75448-2.
16. Ujvári G., Capo L., Grassi A., Cristani C., Pagliarani I., Turrini A., Blandino M., Giovannetti M., Agnolucci M. Agronomic strategies to enhance the early vigor and yield of maize. Part I: the role of seed applied biostimulant, hybrid and starter fertilization on rhizosphere bacteria profile and diversity. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1240310. DOI: 10.3389/fpls.2023.1240310.
17. Eremin D. I., Moiseeva M. N. The relevance of growing oats in Russia. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020; 6: 58–61. (In Russ.)
18. Rassokhina I. I., Platonov A. V. The effect of a microbiological product based on *Lactobacillus buchneri* on barley growth and productivity in the Vologda region. *Grain Economy of Russia*. 2023; 15 (5): 63–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-63-69. (In Russ.)
19. Sukhareva L. V. Effect of biopreparations on growth parameters of *Sorghum sudanense* (Pirer) Stapf. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (1): 12–21. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-12-21. (In Russ.)
20. Veselova S. V., Burkhanova G. F., Rummyantsev S. D., Blagova D. K., Maksimov I. V. Strains of *Bacillus spp.* regulate wheat resistance to greenbug aphid *Schizaphis graminum* Rond. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019; 55 (1): 41–47. DOI: 10.1134/S0555109919010185. (In Russ.)
21. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterna M. New isolates of *Trichoderma spp.* as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina. *Biological Control*. 2020; 141: 104152. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104152.
22. Yasir T. A., Wasaya A., Hussain M., Ijaz M., Farooq M., Farooq O., Nawaz A., Hu Y.-G. Evaluation of physiological markers for assessing drought tolerance and yield potential in bread wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2019; 25: 1163–1174. DOI: 10.1007/s12298-019-00694-0.

#### Authors' information:

**Irina I. Rassokhina**, researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia; ORCID 0000-0002-6129-6912, AuthorID 1021026. *E-mail*: rasskhinairina@mail.ru

**Svetlana V. Eregina**, candidate of geographical sciences, senior researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia; ORCID 0000-0001-8136-4663, AuthorID 848792. *E-mail*: ereginasv@mail.ru

**Andrey V. Platonov**, candidate of biological sciences, associate professor, leading researcher, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia; associate professor, Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penal Service of Russia, Vologda, Russia; ORCID 0000-0002-1110-7116, AuthorID 793557. *E-mail*: platonov70@yandex.ru

## Роль агрометеорологических условий в изменении урожайности ярового ячменя в лесостепной зоне Белгородской области

С. И. Смуров<sup>✉</sup>, О. В. Григоров, С. Н. Ермолаев

Белгородский государственный аграрный университет, п. Майский, Белгородская область, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: smurov\_si@belgau.ru

**Аннотация.** Цель исследования – определить степень влияния погодных условий Белгородской области на урожайность ярового ячменя за длительный период изучения. **Методы.** Осуществлен анализ взаимосвязи урожайности ярового ячменя с агрометеорологическими условиями региона. **Научная новизна.** Представлены данные наблюдений за погодными условиями и урожайности ярового ячменя за период с 1967 по 2021 г. в лесостепной зоне Белгородской области. **Результаты.** При анализе агрометеорологических условий было выявлено, что среднесуточная температура воздуха за вегетацию ячменя принимала максимальное значение в 2010 г. (21,7 °С), а минимальное – в 1990 г. (14,8 °С). Также в 2010 г. было установлено наибольшее отклонение ее от среднегодовых значений, которое было равно 4,2 °С. Сумма выпавших осадков была наибольшей в 1997 г. и составляла 402,8 мм, что на 202,8 мм выше среднегодовых значений. При расчете гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова (ГТК) было установлено, что более распространенными были года со слабозасушливыми условиями, которых насчитывалось 15 из 55 лет. Годы с очень засушливыми условиями встречались редко и в количественном выражении составляли 6 лет. В результате проведенных исследований было установлено, что срок посева и количество осадков в период вегетации существенно влияли на величину урожая зерна у ярового ячменя. Наибольшая урожайность культуры была при ее посеве 20–31 марта (30,8 ц/га) и в те годы, когда за вегетацию культуры выпадало осадков 81–100 % от среднегодовых значений (26,4 ц/га). Максимальная зерновая продуктивность ярового ячменя была отмечена в 2019 г. (43,7 ц/га).

**Ключевые слова:** яровой ячмень, среднесуточная температура воздуха, сумма осадков, гидротермический коэффициент Селянинова Г. Т., срок сева, урожайность

**Для цитирования:** Смуров С. И., Григоров О. В., Ермолаев С. Н. Роль агрометеорологических условий в изменении урожайности ярового ячменя в лесостепной зоне Белгородской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1624–1635. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1624-1635>.

**Дата поступления статьи:** 21.04.2024, **дата рецензирования:** 06.09.2024, **дата принятия:** 02.10.2024.

## The role of agrometeorological conditions in changing the yield of spring barley in the forest-steppe zone of the Belgorod region

S. I. Smurov<sup>✉</sup>, O. V. Grigоров, S. N. Ermolaev

Belgorod State Agrarian University, Mayskiy settlement, Belgorod region, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: smurov\_si@belgau.ru

**Abstract.** The purpose is to determine the degree the influence of weather conditions in the Belgorod region on the yield of spring barley over a long period of study. **Methods.** An analysis of the relationship between agrometeorological conditions and the yield of spring barley and the agrometeorological conditions of the region was carried



out. **Scientific novelty.** The data of observations of weather conditions and the yield of spring barley for the period from 1967 to 2021 in the forest-steppe zone of the Belgorod region are presented. **Results.** When analyzing the agrometeorological conditions, it was found that the average daily air temperature for the growing of barley took the maximum value in 2010 (21.7 °C), and the minimum in 1990 (14.8 °C). Also in 2010, the largest deviation of it from the average long-term values was established, which was equal to 4.2 °C. The amount of precipitation was the largest in 1997 and amounted to 402.8 mm, which is 202.8 mm higher than the average long-term values. When calculating the hydrothermal coefficient of G. T. Selyaninov (HTC), it was found that more common were years with slightly dry conditions, which numbered 15 out of 55 years. Years with very dry conditions were rare and in quantitative terms were 6 years. As a result of the conducted research, it was found that the sowing period and the amount of precipitation during the growing season significantly affected the grain yield of spring barley. The highest yield of spring barley was when it was sown on March 20–31 (30.8 c/ha) and in those years when it fell outside the growing season of the crop 81–100% of the average long-term values (26.4 c/ha). The maximum grain productivity of spring barley was noted in 2019 (43.7 c/ha).

**Keywords:** spring barley, average daily air temperature, sum of precipitation, G. T. Selyaninov hydrothermal coefficient, sowing time, yield

**For citation:** Smurov S. I., Grigorov O. V., Ermolaev S. N. The role of agrometeorological conditions in changing the yield of spring barley in the forest-steppe zone of the Belgorod region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1624–1635. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1624-1635>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 21.04.2024, **date of review:** 06.09.2024, **date of acceptance:** 02.10.2024.

#### Постановка проблемы (Introduction)

Яровой ячмень является важнейшей зернофуражной культурой Российской Федерации. В 2021 году в стране яровыми зерновыми культурами было засеяно 29,7 млн га, из которых 7,4 млн га (24,9 %) занимал яровой ячмень [1]. В Белгородской области в 2021 году яровые зерновые и зернобобовые культуры занимали 347,9 тыс. га, из которых 98,5 тыс. га (28,3 %) было отведено под посев ярового ячменя. Следует выделить, что за период с 2005 года по 2021 год посевная площадь ярового ячменя снизилась с 265,6 тыс. га до 98,5 тыс. га [2].

Яровой ячмень – наиболее скороспелая и не предъявляющая особых требований как к почве, так и погодным условиям культура. Благодаря своей скороспелости она редко попадает под влияние летних засух и суховеев. Кроме того, эта культура считается наиболее устойчивой к таким явлениям, как захват и запал зерна, благодаря своим засухоустойчивым качествам.

Уровень урожайности сельскохозяйственных культур в целом и ярового ячменя в частности складывается из погодных и почвенных условий, агротехники, использующейся в хозяйстве. Погодные условия из вышеперечисленных факторов являются наиболее значимыми и приводят к ощутимому изменению величины урожая в различные годы. Данные многолетних исследований доказывают, что в течение вегетационного периода условия увлажнения и температура воздуха играют существенную роль в формировании урожая [3; 4].

Отечественными учеными довольно глубоко изучена зависимость урожайности ярового ячменя от агрометеорологических условий в разных регионах

России. При этом выявлено, что на долю этого фактора приходится 40–50 % общей изменчивости зерновой продуктивности культуры.

В районах с недостатком влаги и нестабильными осадками гидротермические условия являются важнейшим природным фактором, обуславливающим уровень урожайности ярового ячменя. По результатам исследований А. В. Парамонова, А. В. Федюшкина и О. А. Целуйко величина этого показателя на черноземе обыкновенном тяжелосуглинистом существенно зависела от совокупного эффекта агрометеорологических условий, а применение полного минерального удобрения привело к снижению влияния ГТК и осадков в течение вегетационного периода до 39,1 % и 39,9 % соответственно [5].

Исследования Л. А. Косых, Е. В. Столпивской и Ю. Ю. Никоноровой показали, что на типичных черноземах с низким содержанием гумуса (в среднем 5–6 %) в 2016–2020 гг. величина урожайности сортов ярового ячменя в Поволжье формируется в большей степени благодаря погодным условиям (61,04 %), нежели чем сортовыми особенностями [6].

О. В. Левакова на основании исследований 2017–2021 гг. утверждает, что практически на все элементы урожая нового сорта ярового ячменя повлияли гидротермические показатели вегетационного периода. Но при этом было обнаружено минимальное варьирование урожайности по годам ( $C_v = 3,5\%$ ) и раскрытие потенциала продуктивности на 95,1 %, что характеризовало его как имеющего стабильную зерновую продуктивность и адаптивность к условиям внешней среды региона исследований, отличавшиеся повышенным температурным режимом во все фазы роста и развития культуры [7].



Д. С. Фомин, Н. Н. Яркова и С. С. Полякова в ходе научных исследований в 2011–2022 годах выявили сильную корреляционную зависимость (0,78) урожайности ячменя от фонов минерального питания и складывающихся агрометеорологических условий вегетации. Вариация урожайности зерна при прочих равных условиях составляла без внесения минеральных удобрений 1,47–4,26 т/га и на фоне комплексного минерального питания 1,28–4,36 т/га [8].

В научных изысканиях в 2015–2020 годах в условиях степной зоны Бурятии исследователи В. А. Соболев, А. П. Батудаев, Б. Б. Цыбиков, В. М. Коршунов и Т. В. Гребенщикова выявили большое значение для урожайности яровых зерновых культур количества осадков, выпавших в июне, что подтверждается положительной корреляцией между уровнем урожайности и количеством осадков ( $r = 0,86$ ). Анализ экспериментальных данных показал, время выпадения в период весенне-летней вегетации имеет большое значение [9].

Группа ученых под руководством О. В. Леваковой определила, что в весенне-летний период 2001–2020 годов яровой ячмень имел относительно устойчивое изменение урожайности в зависимости от количества осадков и ГТК ( $r = 0,346...0,572$ ). Отрицательная взаимосвязь между величиной урожайности и среднемесячной температурой воздуха в течение вегетационного периода имела слабую и сильную корреляцию ( $r = -0,021...-0,372$ ) [10].

Исследователи Д. В. Митрофанов и Т. А. Ткачева, анализируя данные за 2002–2020 годы, выявили зависимость увеличения урожайности зерна ярового ячменя, возделываемого на Южном Урале, от влажности почвы на момент посева на фоне удобренного питания. Степень влияния предыдущих культур составила 90,45 % и 91,83 % соответственно. Наибольший сбор урожая зерна ярового ячменя был сформирован благодаря его сортовым особенностям (холодостойкости, скороспелости, засухоустойчивости) при условии наличия в метровом слое почвы оптимальных весенних запасов влаги (135,0–153,0 мм). Математическая обработка данных этих экспериментов выявила незначительное влияние погодных условий и влажности почвы на получение прибавки в урожайности зерна ярового ячменя [11].

Ученые Л. А. Косых, Е. В. Столповская и В. Ю. Никаноров, основываясь на данных своих исследований, считают, что урожайность ярового ячменя существенно зависит от недостатка в почве запасов продуктивной влаги. Также, по их мнению, среднесуточная температура воздуха в период вегетации культуры имеет большое значение. Исходя из этого, они подтверждают мнение о том, что необходимо учитывать совокупное влияние выбранных факторов, и это позволит оценить погодные условия как благоприятные или негативные для формирования урожая ярового ячменя [6].

Цель настоящего исследования – оценка влияния погодных условий Белгородской области на урожайность ярового ячменя за длительный период изучения.

Задачи: провести анализ урожайности ярового ячменя за 55 лет; определить ее связь со среднесуточными температурами, суммой осадков, коэффициентом гидротермических условий (ГТК) в период вегетации и сроком сева культуры.

#### Методология и методы исследований (Methods)

Территория Белгородской области находится на пересечении лесостепной и степной почвенных зон. Климат региона умеренно континентальный, и такие условия погоды усиливаются в направлении с запада на восток. Среднегодовая температура воздуха варьирует в пределах от 4,0 °C (1987 год) до 9,5 °C (2020 год). В среднем за год выпадает 540–550 мм осадков. При этом в направлении с запада на восток и юго-восток их количество постепенно снижается. Почвы представлены в основном типичными черноземами (44,8 %), выщелоченными черноземами (25,7 %) и значительно меньше – серыми лесными почвами (6,2 %). Черноземы обыкновенные и остаточные карбонатные занимают 14,1 % пашни и сосредоточены преимущественно в лесостепной зоне. Доля черноземов солонцеватых составляет 3,6 % площади пашни. Метеорологические условия Белгородской области пригодны для возделывания ярового ячменя [12–14].

В последние десятилетия обеспеченность влагой в период активной вегетации сельскохозяйственных культур в регионе снизилась. Площадь земель, на которых выпадает более 320 мм осадков, сократилась с 35 % до 20 %. Также установлен выраженный характер смещения зон ГТК при изменении обеспеченности теплом и условий увлажнения по территории региона. В целом за сравниваемые периоды времени пояса ГТК сместились на северо-запад на 80 км. Зона с количеством осадков за вегетационный период 300–320 мм раньше занимала восточную часть области, а теперь проходит через весь регион с востока на запад. Среднегодовая температура воздуха в Белгородской области повысилась на 1,2 °C, при этом сумма активных температур выше +10 °C увеличилась на 300 °C, а эффективных температур – на 200–250 °C.

За последние десятилетия наблюдается изменение характера выпадения осадков. Основная его часть (около 2/3 годового количества) выпадает в теплое полугодие в виде ливневых дождей, которые все равно не могут компенсировать испарение. Все это привело к большей засушливости климатических условий Белгородской области и появлению в отдельные годы атмосферных и почвенных засух [15].

В связи с изменениями метеорологических условий в Белгородской области возникла необходимость корректировки используемых технологий

возделывания ярового ячменя с целью минимизации отрицательного влияния этого фактора на урожайность культуры. Поэтому изучение и анализ зависимости зерновой продуктивности ярового ячменя от метеорологических условий, складывающихся в регионе, остаются актуальными и в будущем могут иметь практическую значимость в производственной и научной деятельности.

Исследование охватывает период с 1967 по 2021 год включительно. В научно-исследовательской работе представлены результаты наблюдений за погодными условиями по годам на Майской агрометеорологической станции, расположенной в Белгородском районе Белгородской области Российской Федерации. В ходе анализа данных года со сходными агрометеорологическими условиями были объединены в группы и определены взаимосвязи с зерновой продуктивностью ярового ячменя.

Для определения степени засушливости вегетационного периода и уровня обеспеченности ярового ячменя атмосферной влагой был рассчитан гидротермический коэффициент Г. Т. Селянинова, то есть определено отношение количества осадков в миллиметрах при средней температуре выше 10 °С к сумме среднесуточных температур, сниженных в

10 раз за тот же период. Этот коэффициент является относительным показателем увлажненности территории.

За длительный период исследований наблюдались различные метеорологические условия по температурному режиму и условиям влагообеспеченности, что способствовало определению степени взаимосвязи с урожайностью культуры.

### Результаты (Results)

Температурный режим на протяжении многих лет исследований существенно менялся. Среднесуточная температура воздуха в период вегетации ярового ячменя колебалась от 14,8 °С до 21,7 °С (рис. 1).

Температура воздуха в 1967 и 1968 годах составляла 18,3 °С и 16,1 °С. В период с 1969 по 1972 год было отмечено постепенное повышение температуры воздуха до 19,4 °С, а вот в 1973 году, наоборот, уменьшение до 15,1 °С. Среднесуточная температура в 1974–1982 годах была неустойчивой и характеризовалась резкими перепадами между смежными годами наблюдений на 2,5–3,6 °С. В период с 1982 по 1989 год она изменялась в пределах от 15,9 °С до 18,5 °С. Однако смежные года между собой имели меньшие различия на 0,3–1,6 °С.

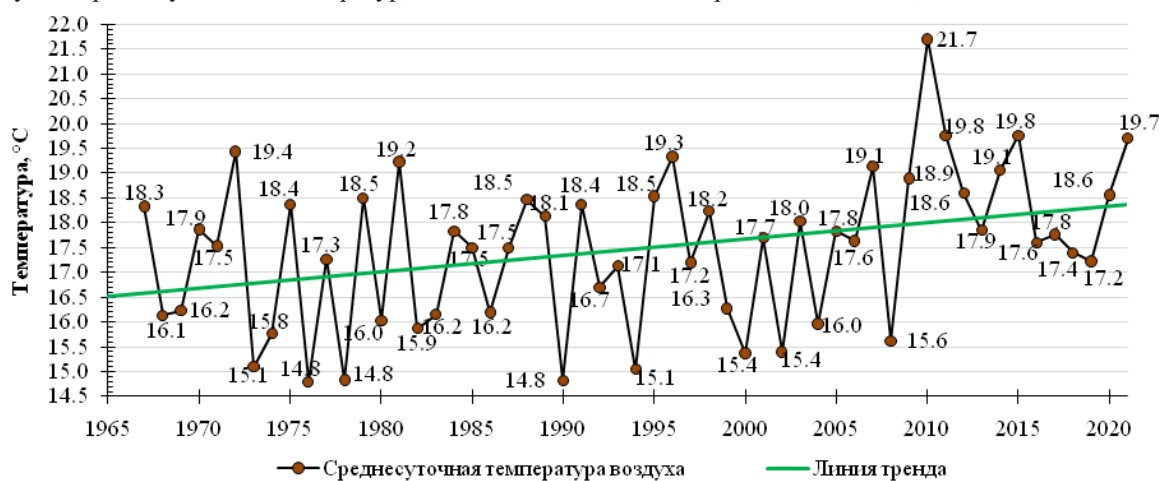


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха за время вегетации ярового ячменя за 1967–2021 гг.

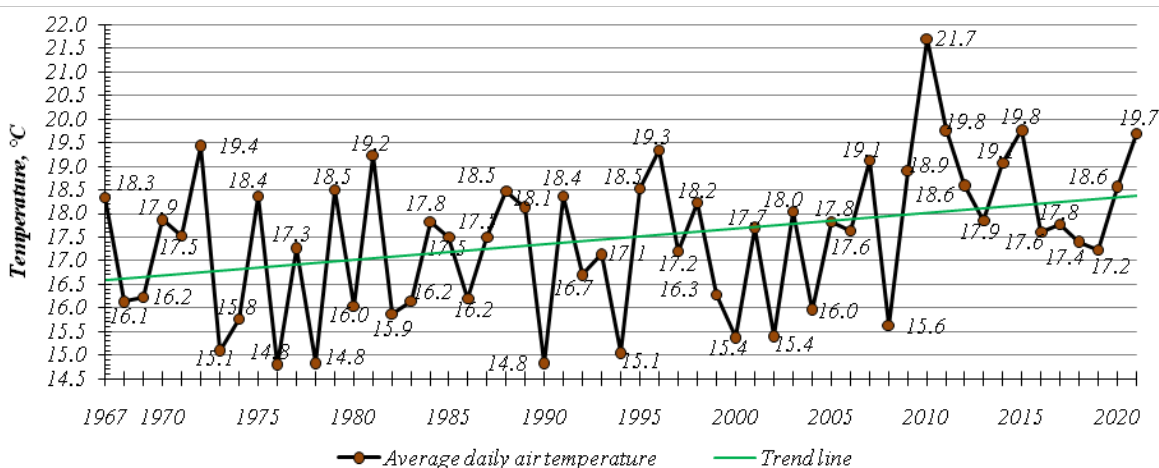


Fig. 1. Average daily air temperature during the vegetation of spring barley for 1967–2021



Рис. 2. Отклонение среднесуточной температуры от среднемноголетних данных за вегетацию ярового ячменя в 1967–2021 гг.

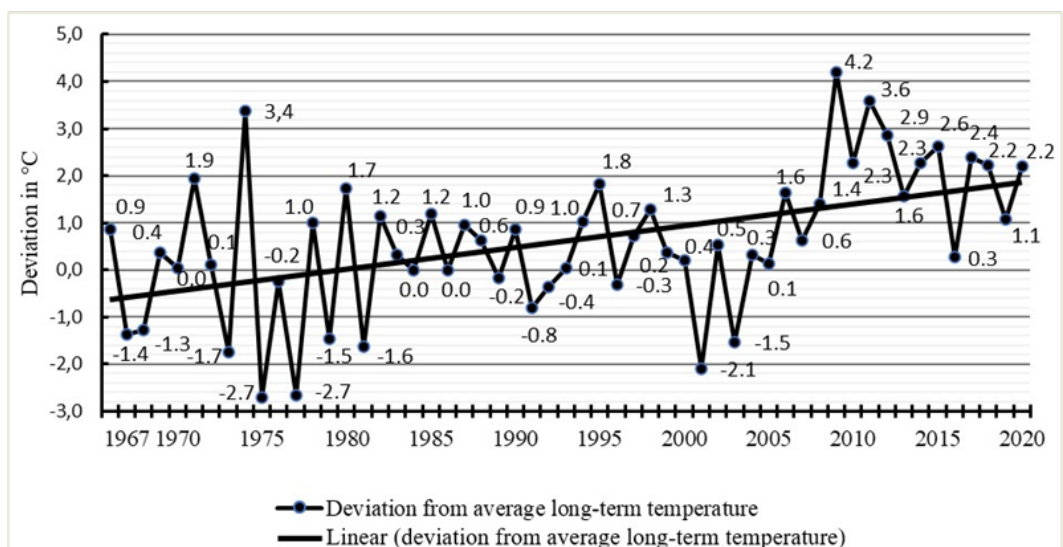


Fig. 2. Deviation of the average daily temperature from the average annual data for the vegetation of spring barley in 1967–2021

Среднесуточная температура в 1990–2000 годах имела как резкие перепады в 1990–1991 и 1994–1995 годах (3,6 и 3,4 °С), так и более плавные изменения в остальные годы (0,4–2,0 °С). В 2000–2005 годах она колебалась между смежными годами на 1,8–2,6 °С. В 2005, 2006, 2016–2019 годах среднесуточная температура была практически одинаковой и составляла 17,2–17,8 °С.

В период с 2007 года по 2010 год происходило сначала понижение температуры с 19,1 °С до 15,6 °С, а потом повышение до 18,9 °С в 2009 году, а в 2010 году – до 21,7 °С. Далее за период с 2010 по 2013 год было зарегистрировано постепенное снижение среднесуточной температуры воздуха с 21,7 °С до 17,9 °С с интервалами 1,9 °С, 1,2 °С и 0,7 °С соответственно. В 2014 и 2015 годах среднесу-

точные температуры выросли до 19,1–19,8 °С. В период с 2016 по 2019 год она снизилась до 17,5 °С, а затем в 2020 и 2021 годах возросла на 1,1–2,2 °С.

Изменение температуры воздуха (от 16,5 °С в начале наблюдений до 18,3 °С в конце) происходило с интервалом 4–6 лет, что отражает линия тренда на рисунке 1. Аналогичную ситуацию демонстрирует вторая диаграмма, на которой показаны значения отклонений среднесуточной температуры от ее среднемноголетних значений в период вегетации ярового ячменя (рисунок 2).

За 29 из 55 лет наблюдений (в относительном выражении это составило 52,7 %) изменение температуры воздуха составило 0,6–4,2 °С выше среднемноголетней. В течение 10 лет – в 1968, 1969, 1974, 1976, 1978, 1980, 1982, 1992, 2002 и 2004 годах –

среднесуточная температура воздуха оказалась ниже среднееголетних значений на 0,8–2,7 °С. И только в 1970, 1971, 1973, 1977, 1984, 1985, 1987, 1990, 1993, 1994, 1997, 2001, 2002, 2005, 2006 годах (27,3 % от общего периода наблюдений) она находилась на уровне, сравнимом со среднееголетними значениями температуры воздуха, когда отклонения не превышали 0,5 °С.

Важным агроклиматическим показателем является сумма атмосферных осадков, которые существенно влияют на будущий урожай ярового ячменя. На урожайность этой зерновой культуры влияют значительные колебания количества осадков в течение вегетационного периода и недостаток влаги, который возникает в почве в результате частых засух в период формирования и налива зерна [16].

Количество осадков в период вегетации ярового ячменя в 1967–2021 годах отличалось от среднего-

довых значений и варьировалось в зависимости от года. В весенне-летний период (март – июль) дожди выпадали с различной частотой и интенсивностью. Количество выпавших осадков не превышало среднееголетние значения в 1967, 1968, 1970, 1971, 1975, 1984, 1985, 1987, 1989, 1993, 1994, 1995, 1998, 1999, 2002, 2003, 2009–2013, 2015, 2017, 2019 и 2020 годах и находилось в широком диапазоне – от 82,9 мм до 186,2 мм. В 1976, 1979, 1980, 2007, 2008 и 2014 годах оно соответствовало среднееголетним значениям и составляло 187,6–221,5 мм, но в остальные 25 лет (45,5 % от общего числа лет наблюдений) превышало. Обильные осадки (более 300 мм) в период вегетации ярового ячменя наблюдались в 1978, 1988, 1997 и 2000 годах. В эти годы сумма осадков превысила среднегодовые значения на 97,9 мм, 117,6 мм, 124,3 мм и 130,0 мм соответственно (рис. 3)

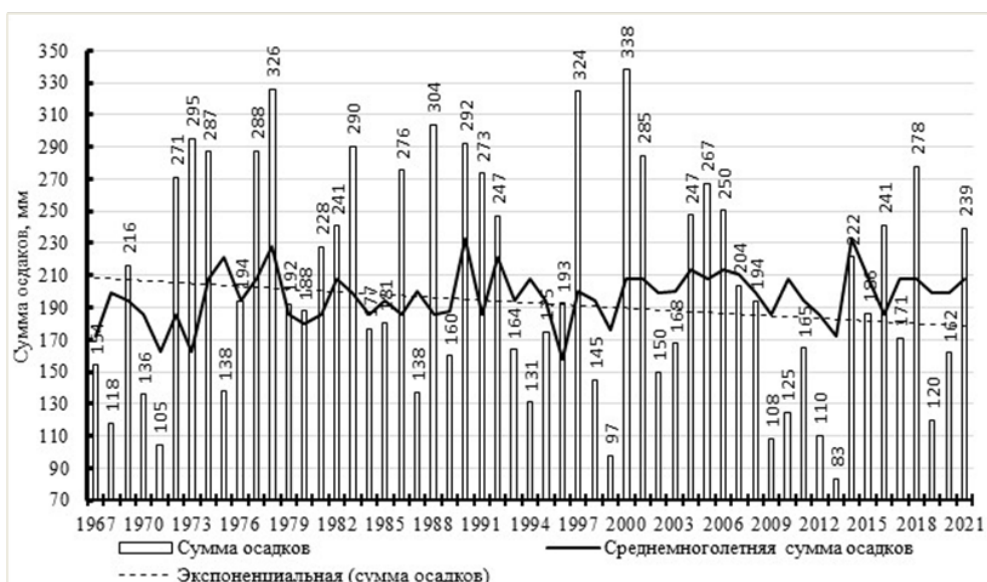


Рис. 3. Распределение суммы осадков за период вегетации ярового ячменя (1967–2021 гг.)

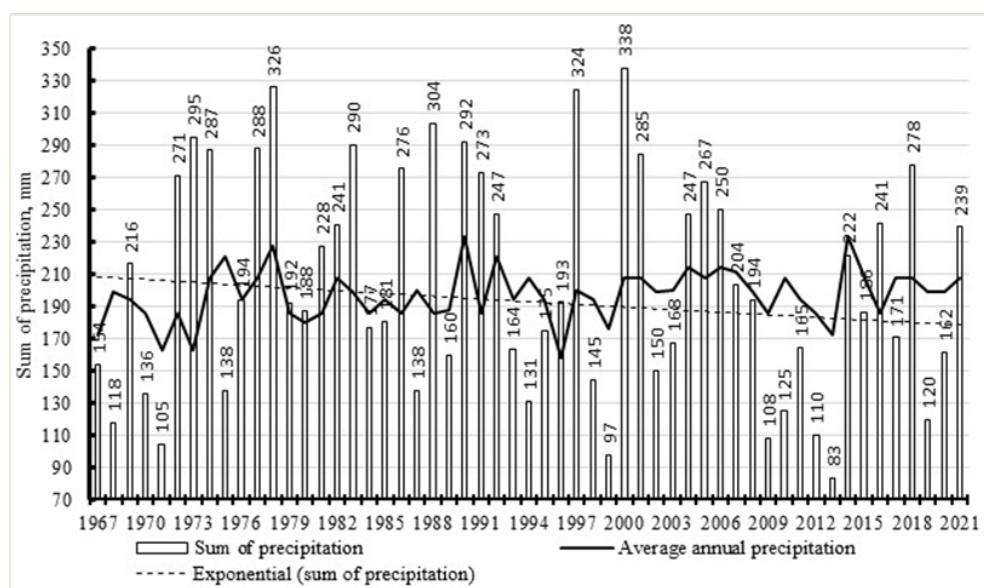


Fig. 3. Distribution of the amount of precipitation over the vegetation period of spring barley (1967–2021)



Таблица 1  
Характеристика агрометеорологических условий за период вегетации ярового ячменя (1967–2021 гг.)

Гидротермические условия	Год наблюдений	Показатель	Месяц		
			Май	Июнь	Июль
Очень засушливые ( $0,4 < ГТК \leq 0,7$ )	1971, 1975, 2010, 2012, 2013, 2019	Осадки, мм	24,5	32,9	45,3
		Температура, °С	17,7	21,0	21,4
		ГТК, ед.	0,45	0,54	0,68
Засушливые ( $0,7 < ГТК \leq 1,0$ )	1970, 1987, 1989, 1994, 1998, 1999, 2002, 2009, 2011, 2015, 2017	Осадки, мм	41,5	38,1	52,9
		Температура, °С	14,4	19,4	20,3
		ГТК, ед.	0,9	0,7	0,9
Слабозасушливые ( $1,0 < ГТК \leq 1,3$ )	1967, 1980, 1981, 1984, 1985, 1993, 1995, 1996, 2003, 2007, 2008, 2014, 2016, 2020, 2021	Осадки, мм	42,4	76,1	55,1
		Температура, °С	15,9	18,5	20,6
		ГТК, ед.	0,9	1,4	0,9
Влажные ( $1,3 < ГТК \leq 1,6$ )	1968, 1969, 1972, 1973, 1976, 1979, 1982, 1992, 2001, 2005, 2006	Осадки, мм	54,2	72,1	89,5
		Температура, °С	14,4	17,6	19,2
		ГТК, ед.	1,3	1,4	1,5
Избыточно влажные ( $ГТК > 1,6$ )	1974, 1977, 1978, 1983, 1986, 1988, 1990, 1991, 1997, 2000, 2004, 2018	Осадки, мм	81,8	76,0	106,7
		Температура, °С	14,1	17,8	19,6
		ГТК, ед.	1,9	1,4	1,8

Table 1  
Characteristics of agrometeorological conditions during the growing season of spring barley (1967–2021)

Hydrothermal conditions	Year of observations	Indicator	Month		
			May	June	July
Very dry ( $0.4 < HTC \leq 0.7$ )	1971, 1975, 2010, 2012, 2013, 2019	Precipitation, mm	24.5	32.9	45.3
		Temperature, °C	17.7	21.0	21.4
		HTC, units	0.45	0.54	0.68
Dry ( $0.7 < HTC \leq 1.0$ )	1970, 1987, 1989, 1994, 1998, 1999, 2002, 2009, 2011, 2015, 2017	Precipitation, mm	41.5	38.1	52.9
		Temperature, °C	14.4	19.4	20.3
		HTC, units	0.9	0.7	0.9
Weakly dry ( $1.0 < HTC \leq 1.3$ )	1967, 1980, 1981, 1984, 1985, 1993, 1995, 1996, 2003, 2007, 2008, 2014, 2016, 2020, 2021	Precipitation, mm	42.4	76.1	55.1
		Temperature, °C	15.9	18.5	20.6
		HTC, units	0.9	1.4	0.9
Wet ( $1.3 < HTC \leq 1.6$ )	1968, 1969, 1972, 1973, 1976, 1979, 1982, 1992, 2001, 2005, 2006	Precipitation, mm	54.2	72.1	89.5
		Temperature, °C	14.4	17.6	19.2
		HTC, units	1.3	1.4	1.5
Excessively wet ( $HTC > 1.6$ )	1974, 1977, 1978, 1983, 1986, 1988, 1990, 1991, 1997, 2000, 2004, 2018	Precipitation, mm	81.8	76.0	106.7
		Temperature, °C	14.1	17.8	19.6
		HTC, units	1.9	1.4	1.8

Оценка агрометеорологических условий, основанная на расчете гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова, показала, что за 6 лет наблюдений наблюдались очень засушливые метеорологические условия ( $0,4 < ГТК \leq 0,7$ ). В среднем за месяцы вегетации ярового ячменя количество осадков в эти годы распределялось следующим образом: в мае их сумма составила 24,5 мм, в июне – 32,9 мм, в июле – 45,3 мм. Среднесуточная температура воздуха в эти месяцы в начале вегетационного периода составляла 17,7 °С, затем повысилась до 21,0°С и 21,4 °С соответственно (таблица 1).

Количество лет с засушливыми условиями ( $0,7 < ГТК \leq 1,0$ ) равнялось 11. В эти года в мае в среднем выпало 41,5 мм осадков, в июне и июле –

38,1 мм и 52,9 мм соответственно. Среднесуточная температура воздуха в выбранный период находилась в диапазоне от 14,4 °С до 20,3 °С.

Пятнадцать лет исследований по гидротермическим условиям характеризовались как слабозасушливые. В эти годы количество осадков в мае составило в среднем 42,4 мм, что было несколько выше, чем в засушливые годы.

В летние месяцы вегетационного периода выпадает гораздо больше осадков: в июне – 76,1 мм, а в июле – 55,1 мм. Среднемесячная температура воздуха находилась на уровне с засушливыми годами, которая составляла соответственно выделенным месяцам 15,9 °С, 18,5 °С и 20,6 °С.



Таблица 2

## Урожайность ярового ячменя в зависимости от срока сева (1967–2021 гг.)

Срок сева	Год наблюдений	Урожайность, ц/га
10–20 марта	1989	27,3
20–31 марта	1983, 1990, 1992, 2007, 2014, 2020	30,8
1–10 апреля	1968, 1975, 1977, 1981, 1984, 1999, 2002, 2008, 2009, 2016, 2017, 2019	25,8
11–20 апреля	1967, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1978, 1979, 1982, 1985, 1986, 1988, 1991, 1994, 1995, 1998, 2000, 2001, 2004, 2005, 2010, 2012, 2013, 2015, 2018, 2021	23,4
21–30 апреля	1969, 1980, 1993, 1996, 1997, 2003, 2006, 2011	22,7
1–10 мая	1987	28,9

Table 2

## Yield of spring barley depending on the term of sowing (1967–2021)

Term of sowing	Year of observations	Yield, c/ha
March 10–20	1989	27.3
March 20–31	1983, 1990, 1992, 2007, 2014, 2020	30.8
April 1–10	1968, 1975, 1977, 1981, 1984, 1999, 2002, 2008, 2009, 2016, 2017, 2019	25.8
April 11–20	1967, 1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1978, 1979, 1982, 1985, 1986, 1988, 1991, 1994, 1995, 1998, 2000, 2001, 2004, 2005, 2010, 2012, 2013, 2015, 2018, 2021	23.4
April 21–30	1969, 1980, 1993, 1996, 1997, 2003, 2006, 2011	22.7
May 1–10	1987	28.9

По гидротермическим условиям 11 лет из общего количества времени наблюдений соответствовали влажным параметрам и характеризовались высокой обеспеченностью осадками в мае (54,2 мм), в июне (72,1 мм) и в июле (89,5 мм). Температурный режим отличался от остальных лет более низкими температурами в мае и июне: 14,4 °С и 17,6 °С соответственно. В июле среднесуточная температура воздуха была близка к показателям слабозасушливых лет и составляла 19,2 °С.

За все время наблюдений за агроклиматическими условиями было 12 лет с избыточно влажными гидротермическими условиями. Так, количество выпавших осадков в эти годы по сравнению с влажными годами было выше на 27,6 мм в мае, на 4,1 мм в июне и на 17,2 мм в июле. Также в мае была понижена до 14,1 °С температура, а вот в летние месяцы (в июне и июле) она находилась на уровне с влажными годами и равнялась 17,8 °С и 19,6 °С соответственно.

Посев ярового ячменя происходил в разные сроки, выбор которых зависел от преобладающих метеорологических условий и времени наступления физической спелости почвы (таблица 2).

При ранних (10–20 марта) и поздних (1–10 мая) сроках сева в 1989 и 1987 годах урожай ярового ячменя составил 27,3 ц/га и 28,9 ц/га соответственно. При посеве с 20 по 31 марта урожайность была самой высокой и составила в среднем 30,8 ц/га. При севе в период с 1 по 10 апреля значение этого показателя снизилось на 5,0 ц/га относительно предыдущего срока и составило 25,8 ц/га. Наиболее частым

был высеv ярового ячменя в период с 11 по 20 апреля (27 из 55 лет общего времени наблюдений), при котором урожайность составила 23,4 ц/га. Самый низкий урожай зерна (22,7 ц/га) был получен при посеве культуры с 21 по 30 апреля.

Наряду со сроком сева на урожайность ярового ячменя также влияло количество осадков, выпавших в период вегетации культуры (таблица 3).

При обеспеченности влагой на 81–100 % от среднемноголетней нормы осадков была отмечена наибольшая урожайность ярового ячменя, а именно 26,4 ц/га. Отклонение суммы осадков на 61–80 % в сторону уменьшения и на 141–160 % в сторону увеличения от среднегодовых значений урожайность зерновой культуры снижалась и соответственно составляла 25,6 ц/га и 25,8 ц/га. Самый низкий сбор зерна ярового ячменя (в среднем 21,7 ц/га) был получен в годы с большим количеством осадков в период вегетации – 161–180 % от нормы. При их сумме, равной 40–60 %, 101–120 % и 121–140 % от среднегодовой нормы, урожайность культуры варьировала от 23,4 ц/га до 23,9 ц/га.

В период наблюдений с 1967 по 1978 год величина зерновой продуктивности этой культуры в среднем составляла 21,8 ц/га и наибольшей была в 1977 году (28,2 ц/га). С 1979 по 1985 год объемы урожая существенно различались между собой по годам и находились в пределах от 9,1 ц/га до 22,1 ц/га. Разница между соседними годами наблюдений составила от 4,6 ц/га до 10,5 ц/га. В 1986 и 1987 годах произошло повышение урожайности до 29,6 ц/га и до 28,9 ц/га соответственно. В последующие 7 лет,

с 1988 по 1994 годы, она была от 20,2 ц/га до 34,6 ц/га. В первые четыре года наблюдений в выделенный промежуток времени урожай составил 27,7 ц/га, а с 1992 по 1994 год в среднем равнялся 31,2 ц/га (рис. 4).

Затем, в 1995–1999 годах, произошло резкое снижение урожая зерна ярового ячменя, и в среднем он составил 16,2 ц/га. Следующие 7 лет были более урожайными: было собрано 21,4–27,1 ц/га зерна. Следующие 7 лет были более урожайными: убирали 21,4–27,1 ц/га зерна. В 2007–2010 годах этот показатель изменялся значительно. Вначале он вырос с 18,4 ц/га до 37,9 ц/га, потом снизился до 27,0 ц/га, а затем до 19,3 ц/га. В период с 2011 по 2019 годы происходили колебания урожайности: так, в первые 5 лет – в пределах от 25,0 ц/га до 35,6 ц/га, а в последние 4 года – от 34,5 ц/га до 43,7 ц/га. В 2020 и 2021 годах урожайность культуры была схожей и составляла 38,7 ц/га и 39,3 ц/га.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Агрометеорологические условия 1967–2021 годов характеризовались неоднородными колебаниями среднесуточной температуры воздуха. Наименьшей она была в 1976, 1978 и 1990 годах и составляла 14,8 °С, а наибольшей – в 2010 году (21,7 °С). В целом за 55-летний период наблюдений отмечался тренд повышения среднесуточной температуры с 16,5 °С до 18,8 °С.

Количество осадков в период вегетации ярового ячменя значительно варьировалось на протяжении многих лет наблюдений. Самым маленьким оно было в 2013 году и составило 88,2 мм, а самым большим – в 1997 году, достигнув 402,8 мм, что в первом случае было ниже среднегодовой нормы на 83,2 мм, а во втором больше на 202,8 мм. При обеспеченности осадками на 81–100 % от среднемноголетних значений урожайность ярового ячменя достигала 26,4 ц/га.

По гидротермическому коэффициенту больше всего лет (15 лет) было со слабозасушливыми условиями ( $1,0 < ГТК \leq 1,3$ ), в меньшем количестве были года с очень засушливыми условиями ( $0,4 < ГТК \leq 0,7$ ) – их насчитывалось 6 лет.

В годы наблюдений, которые характеризовались как очень сухие ( $0,4 < ГТК \leq 0,7$ ), средняя урожайность этой культуры составила 26,9 ц/га, в годы с засушливым вегетационным периодом ( $0,7 < ГТК \leq 1,0$ ) она равнялась 27,6 ц/га, а при слабозасушливых условиях (при коэффициенте ГТК от 1,0 до 1,3) – 24,0 ц/га. Наибольшая урожайность ячменя (30,8 ц/га) была отмечена при посеве в период с 20 по 31 марта.

В целом за 55 лет наблюдений наибольшей урожайностью ярового ячменя выделился 2019 год – собрали 43,7 ц/га зерна.

Таблица 3  
Урожайность ярового ячменя в зависимости от величины отклонения от среднемноголетней нормы осадков (1967–2021 гг.)

Отклонение от среднемноголетней нормы осадков, %	Год наблюдений	Урожайность, ц/га
40–60	1968, 1999, 2009, 2010, 2012, 2013	23,4
61–80	1970, 1971, 1975, 1987, 1994, 1998, 2002, 2019	25,6
81–100	1967, 1976, 1984, 1985, 1989, 1993, 1995, 2003, 2007, 2008, 2011, 2014, 2015, 2017, 2020	26,4
101–120	1969, 1979, 1980, 1982, 1992, 2004, 2006, 2021	23,9
121–140	1974, 1977, 1981, 1990, 1996, 2005, 2016, 2018	25,1
141–160	1972, 1978, 1983, 1986, 1991, 2018	25,8
161–181	1973, 1988, 1997, 2000	21,7

Table 3  
Spring barley yield depending on the deviation from the annual average precipitation rate (1967–2021)

Deviation from the average long-term precipitation rate, %	Year of observations	Yield, c/ha
40–60	1968, 1999, 2009, 2010, 2012, 2013	23.4
61–80	1970, 1971, 1975, 1987, 1994, 1998, 2002, 2019	25.6
81–100	1967, 1976, 1984, 1985, 1989, 1993, 1995, 2003, 2007, 2008, 2011, 2014, 2015, 2017, 2020	26.4
101–120	1969, 1979, 1980, 1982, 1992, 2004, 2006, 2021	23.9
121–140	1974, 1977, 1981, 1990, 1996, 2005, 2016, 2018	25.1
141–160	1972, 1978, 1983, 1986, 1991, 2018	25.8
161–181	1973, 1988, 1997, 2000	21.7

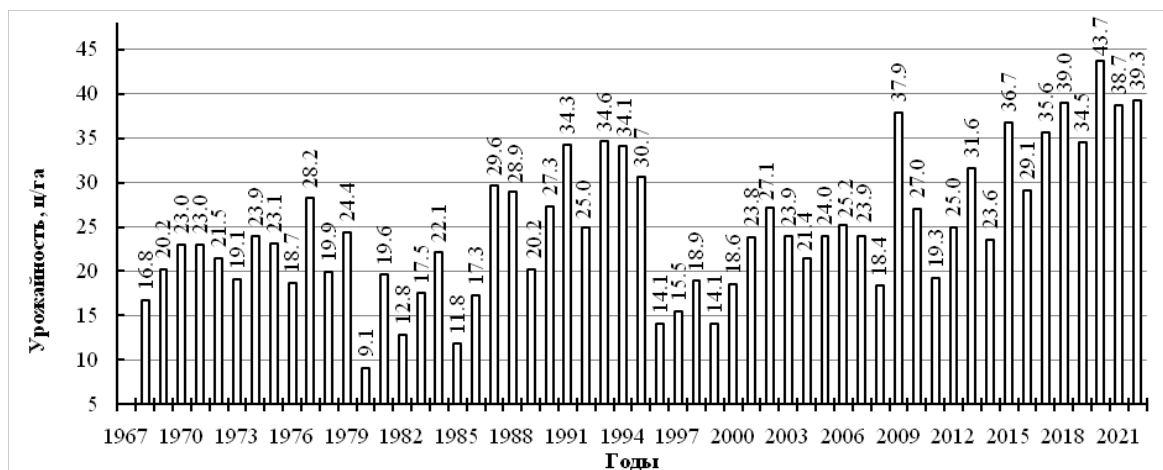


Рис. 4. Урожайность ярового ячменя (1967–2021 гг.)

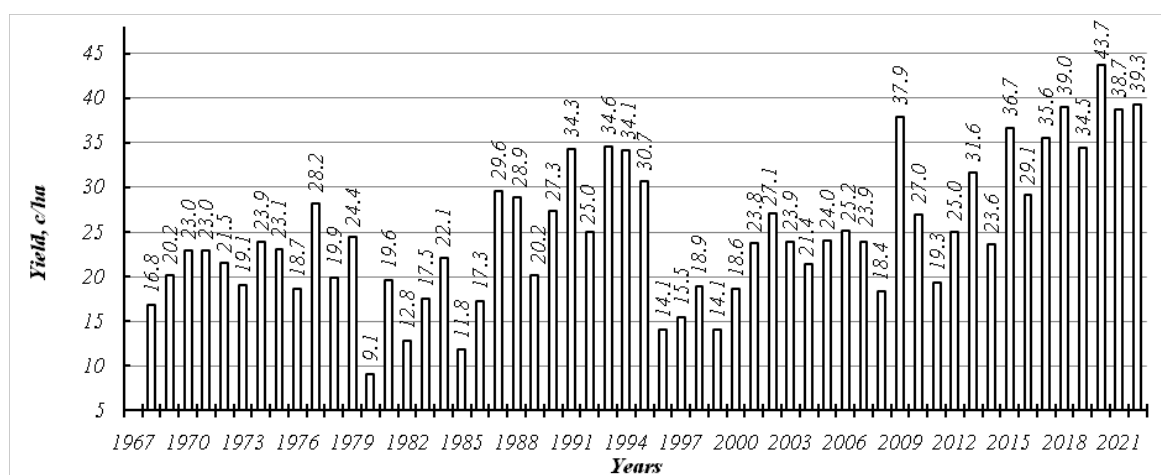


Fig. 4. Spring barley yield (1967–2021)

### Библиографический список

1. Посевная кампания 2020/21 в РФ по областям [Электронный ресурс]. URL: [www.zerno.ru/node/11379](http://www.zerno.ru/node/11379) (дата обращения: 01.03.2024).
2. Белгородская область в цифрах. 2022: краткий статистический сборник. Белгород: Белгородстат, 2022. 236 с.
3. Куприянов А. Н., Белолюбцев А. И. Агрометеорологическая оценка возделывания сельскохозяйственных культур и меры по адаптации продукционного процесса в условиях изменения климата на примере зерноградского района Ростовской области [Электронный ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2022. № 5. URL: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st\\_516.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_516.pdf) (дата обращения: 01.03.2024).
4. Смуров С. И., Наумкин В. Н., Ермолаев С. Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания // Вестник аграрной науки. 2020. № 2 (83). С. 36–44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36.
5. Парамонов А. В., Федюшкин А. В., Целуйко О. А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зерна ярового ячменя в Приазовской зоне Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2020. № 2 (38). С. 151–162. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-151-162.
6. Косых Л. А., Столпивская Е. В., Никонорова Ю. Ю. Влияние погодных условий на хозяйственно ценные признаки сортов ячменя ярового в лесостепной зоне Среднего Поволжья // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1. С. 31–38. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-31-38.
7. Левакова О. В. Влияние метеорологических условий на яровой ячмень сорт Яромир и его урожайность в условиях Рязанской области // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 2. С. 77–82.
8. Фомин Д. С., Яркова Н. Н., Полякова С. С. Урожайность ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий в условиях Среднего Предуралья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (6). С. 852–859. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859.

9. Соболев В. А., Батудаев А. П., Цыбиков Б. Б., Коршунов В. М., Гребенщикова Т. В. Влияние погодных условий на урожайность зерновых культур в степной зоне Бурятии // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. 2021. № 3 (64). С. 138–143. DOI: 10.34655/bgsha.2021.64.3.018.

10. Левакова О. В., Дедушев И. А., Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Болдырев М. А., Гладышева О. В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17, № 1. С. 128–135. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135.

11. Митрофанов Д. В., Ткачева Т. А. Воздействие агрометеорологических условий, минеральных удобрений, предшественников и влажности почвы на урожайность зерна ярового ячменя в степной зоне Южного Урала // Известия НВ АУК. 2021. № 4 (64). С. 84–97. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-09.

12. Белгородская область [Электронный ресурс]. URL: [https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/belgorodskaya\\_oblast/?sphrase\\_id=509928](https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/belgorodskaya_oblast/?sphrase_id=509928) (дата обращения: 01.03.2024).

13. Шарко Е. Р. Влияния изменений климата на сельское хозяйство в регионах Российской Федерации // Теоретическая и прикладная экономика. 2022. № 1. С. 11–24. DOI: 10.25136/2409-8647.2022.1.3586.

14. Национальный атлас почв Российской Федерации. Белгородская область [Электронный ресурс]. URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-8-ispolzovanie-zemelnyh-resursov-i-pochv/8-2-regiony-rossiyskoi-federacii/belgorodskaya-oblast> (дата обращения: 01.03.2024).

15. Буряк Ж. А., Терехин Э. А. Геоинформационное моделирование пространственно-временной изменчивости агроклиматических условий // Региональные геосистемы. 2020. № 44 (3). С. 333–342. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-3-333-342.

16. Смулов С. И., Григоров О. В., Ермолаев С. Н. Влияние изменений климата на урожайность культур и запасы почвенной влаги // Аграрный вестник Урала. 2023. № 06 (235). С. 35–52. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-35-52.

#### Об авторах:

**Сергей Иванович Смулов**, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель Научно-практического центра земледелия и селекции, Белгородский государственный аграрный университет, п. Майский, Белгородская область, Россия; ORCID 0000-0003-0014-8622, AuthorID 863886. E-mail: [smurov\\_si@belgau.ru](mailto:smurov_si@belgau.ru)

**Олег Владимирович Григоров**, ведущий специалист отдела земледелия Научно-практического центра земледелия и селекции, Белгородский государственный аграрный университет, п. Майский, Белгородская область, Россия; ORCID 0000-0002-9314-4737, AuthorID 925390

**Семен Николаевич Ермолаев**, кандидат сельскохозяйственных наук, агроном отдела земледелия Научно-практического центра земледелия и селекции, Белгородский государственный аграрный университет, п. Майский, Белгородская область, Россия; ORCID 0000-0001-6553-5928, AuthorID 1076768

#### References

1. *Seed company 2020/21 in the Russian Federation by region* [Internet] [cited 2024 Mar 01]. Available from: [www.zerno.ru/node/11379](http://www.zerno.ru/node/11379). (In Russ.)

2. *Belgorod region in numbers. 2022: short statistical collection*. Belgorod: Belgorodstat, 2022. 236 p. (In Russ.)

3. Kupriyanov A. N., Belolyubtsev A. I. Agrometeorological assessment of crop cultivation and measures to adapt the production process under climate change conditions on the example of the Zernogradskiy district of the Rostov region. *AgroEcoInfo: Electronic Scientific and Production Journal* [Internet]. 2022 [cited 2024 Mar 01]; 5. Available from: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st\\_516.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/5/st_516.pdf). (In Russ.)

4. Smurov S. I., Naumkin V. N., Ermolaev S. N. Yield and grain quality of spring barley depending on various precursors and backgrounds of mineral nutrition. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; 2 (83): 36–44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36. (In Russ.)

5. Paramonov A. V., Feduyshkin A. V., Tseluyko O. A. The influence of meteorological conditions on the yield and quality of spring barley grain in the Azov zone of the Rostov region. *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems*. 2020; 2 (38): 151–162. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-2-151-162. (In Russ.)

6. Kosykh L. A., Stolpivskaya E. V., Nikonorova Yu. Yu. Weather conditions influence on spring barley varieties economically valuable characteristics in the Middle Volga Region forest-steppe zone. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; 1: 31–38. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-31-38. (In Russ.)

7. Levakova O. V. The influence of meteorological conditions on spring barley Yaromir variety and its yield in the conditions of the Ryazan region. *Grain Farming of Russia*. 2022; 14 (2): 77–82. (In Russ.)

8. Fomin D. S., Yarkova N. N., Polyakova S. S. Yield of spring barley depending on hydrothermal conditions in the conditions of the Middle Urals. *Agrarian Science Euro-North-East*. 2022; 23 (6): 852–859. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.6.852-859. (In Russ.)
9. Sobolev V. A., Batudaev A. P., Tsybikov B. B., Korshunov V. M., Grebenshchikova T. V. Influence of weather conditions on grain yield in the steppe zone of Buryatia. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2021; 3 (64): 138–143. DOI: 10.34655/bgsha.2021.64.3.018. (In Russ.)
10. Levakova O. V., Dedushev I. A., Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Boldyrev M. A., Gladysheva O. V. Influence of agrometeorological climate changes on grain productivity of spring barley in the Non-chernozem zone of the Russian Federation. *South of Russia: Ecology, Development*. 2022; 17 (1): 128–135. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135. (In Russ.)
11. Mitrofanov D. V., Tkachyova T. A. The impact of agrometeorological conditions, mineral fertilizers, predecessors and soil moisture on the yield of spring barley grain in the steppe zone of the Southern Urals. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2021; 4 (64): 84–97. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-09. (In Russ.)
12. Belgorod region [Internet] [cited 2024 Mar 01]. Available from: [https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/belgorodskaya\\_oblast/?sphrase\\_id=509928](https://www.mnr.gov.ru/activity/regions/belgorodskaya_oblast/?sphrase_id=509928). (In Russ.)
13. Sharko E. R. The impact of climate change on agriculture in the regions of the Russian Federation. *Theoretical and Applied Economics*. 2022; 1: 11–24. DOI: 10.25136/2409-8647.2022.1.3586. (In Russ.)
14. National Atlas of soils of the Russian Federation. Belgorod region [Internet] [cited 2024 Mar 01]. Available from: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-8-ispolzovanie-zemelnyh-resurov-i-pochv/8-2-regiony-rossiyskoi-federacii/belgorodskaya-oblast>. (In Russ.)
15. Buryak Zh. A., Terekhin E. A. Geoinformation modeling of spatial and temporal variability of agro-climatic conditions. *Regional Geosystems*. 2020; 44 (3): 333-342. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-3-333-342. (In Russ.)
16. Smurov S. I., Grigorov O. V., Ermolaev S. N. The influence of climate change on crop yields and soil moisture reserves. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 06 (235): 35–52. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-35-52. (In Russ.)

#### **Authors' information:**

**Sergey I. Smurov**, candidate of agricultural sciences, head of the scientific and practical center of agriculture and selection, Belgorod State Agrarian University, Mayskiy settlement, Belgorod region, Russia; ORCID 0000-0003-0014-8622, AuthorID 863886. *E-mail: smurov\_si@belgau.ru*

**Oleg V. Grigorov**, leading specialist of the department of agriculture of the scientific and practical center of agriculture and selection, Belgorod State Agrarian University, Mayskiy settlement, Belgorod region, Russia; ORCID 0000-0002-9314-4737, AuthorID 925390

**Semyon N. Ermolaev**, candidate of agricultural sciences, agronomist of the department of agriculture of the scientific and practical center of agriculture and selection, Belgorod State Agrarian University, Mayskiy settlement, Belgorod region, Russia; ORCID 0000-0001-6553-5928, AuthorID 1076768



## Влияние Zn-солюбилизирующих PGP-ризобактерий на рост и содержание биогенных элементов в сеянцах пшеницы озимой в условиях микрокосма

Г. Г. Борисова<sup>1</sup>, М. Г. Малева<sup>1✉</sup>, М. Дарказанли<sup>1</sup>, А. В. Собенин<sup>2</sup>, М. Ю. Карпухин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: [maria.maleva@mail.ru](mailto:maria.maleva@mail.ru)

**Аннотация.** Одним из наиболее перспективных подходов к решению проблемы сбалансированного питания населения является биофортификация растительного сырья и продуктов растениеводства. **Цель исследования** – оценить влияние двух селективных штаммов Zn-солюбилизирующих ростстимулирующих ризобактерий на морфофизиологические характеристики сеянцев *Triticum aestivum* L. (пшеница мягкая озимая, сорт Еланчик) и содержание в них биогенных элементов. **Методы.** Изучены ростстимулирующие свойства двух штаммов PGPR: *Pantoea* sp. STF1 и *Pseudomonas* sp. STF13, выделенных из ризосферной почвы *Tussilago farfara* L. (мать-и-мачеха обыкновенная, сем. Asteraceae). В модельных условиях выполнена оценка морфофизиологических характеристик сеянцев пшеницы при инокуляции этими штаммами. Растения выращивали в горшечных культурах в течение 18 суток в контролируемых условиях: фотопериод 14 : 10 (день : ночь), температура 25 ± 2 °С. Оценивали процент всхожести семян и индекс энергии сеянцев. По окончании эксперимента определяли надземную и подземную биомассу пшеницы, содержание в листьях фотосинтетических пигментов, накопление в побегах макро- (азота, фосфора, калия) и микро-элементов (цинк, железо), а также их содержание в почве. **Результаты.** Доказана способность изученных штаммов ризобактерий солюбилизовать недоступные соединения цинка и фосфора, продуцировать сидерофоры, индолил-3-уксусную кислоту и аммиак. Установлено, что инокулирование семян пшеницы селективными штаммами PGPR повышало индекс энергии сеянцев (на 25 % по сравнению с контролем), способствовало увеличению их биомассы и содержания фотосинтетических пигментов, а также биогенных элементов. **Научная новизна.** Впервые выполнена оценка ростстимулирующей активности и биофортификационного потенциала двух новых штаммов ризобактерий, выделенных на территории Уральского региона, и доказана возможность их использования для улучшения роста сеянцев пшеницы и обогащения биогенными элементами.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum* L., PGP-ризобактерии, фотосинтетические пигменты, биофортификация, макро- и микроэлементы

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00292, <https://rscf.ru/project/23-26-00292/>

**Для цитирования:** Борисова Г. Г., Малева М. Г., Дарказанли М., Собенин А. В., Карпухин М. Ю. Влияние Zn-солюбилизирующих PGP-ризобактерий на рост и содержание биогенных элементов в сеянцах пшеницы озимой в условиях микрокосма // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1636–1647. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1636-1647>.

**Дата поступления статьи:** 23.09.2024, **дата рецензирования:** 22.10.2024, **дата принятия:** 05.11.2024.

# Effect of Zn-solubilizing PGP-rhizobacteria on growth and content of biogenic elements in winter wheat seedlings under microcosm conditions

G. G. Borisova<sup>1</sup>, M. G. Maleva<sup>1✉</sup>, M. Darkazanli<sup>1</sup>, A. V. Sobenin<sup>2</sup>, M. Yu. Karpukhin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail: maria.maleva@mail.ru

**Abstract.** One of the most promising approaches to solving the problem of balanced nutrition of the population is biofortification of plant materials and products. **The purpose** of the study was to evaluate the effect of two selective strains of Zn-solubilizing growth-stimulating rhizobacteria on the morphophysiological characteristics of *Triticum aestivum* L. seedlings (soft winter wheat, variety Elanchik) and the content of biogenic elements in them. **Methods.** The growth-stimulating properties of two PGPR strains were studied: *Pantoea* sp. STF1 and *Pseudomonas* sp. STF13, isolated from the rhizosphere soil of *Tussilago farfara* L., Asteraceae family. Under model conditions, the morphophysiological characteristics of wheat seedlings inoculated with these strains were assessed. The plants were grown in pot cultures for 18 days under controlled conditions: photoperiod 14 : 10 (day : night), temperature 25 ± 2 °C. The percentage of seed germination and seedling energy index were estimated. At the end of the experiment, the aboveground and underground biomass of seedlings, the content of photosynthetic pigments in leaves, macro- (nitrogen, phosphorus, potassium) and microelements (zinc, iron) in shoots were determined. **Results.** The ability of the studied rhizobacteria strains to solubilize inaccessible zinc and phosphorus compounds, to produce siderophores, indole-3-acetic acid and ammonia was proven. It was found that inoculation of wheat seeds with selective PGPR strains increased the seedling energy index (by 25 % compared to the control), contributed to an increase in their biomass, photosynthetic pigment content as well as the concentration of biogenic elements in seedlings and soil. **Scientific novelty.** For the first time, an assessment of the growth-stimulating activity and biofortification potential of two new rhizobacteria strains isolated in the Ural region was performed, and the possibility of their use for improving the growth of wheat seedlings and enriching them with biogenic elements was proven.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., PGP-rhizobacteria, photosynthetic pigments, biofortification, macro- and microelements

**Acknowledgements.** The study was supported and funded by Russian Science Foundation, Project No. № 23-26-00292, <https://rscf.ru/project/23-26-00292/>

**For citation:** Borisova G. G., Maleva M. G., Darkazanli M., Sobenin A. V., Karpukhin M. Yu. Effect of Zn-solubilizing PGP-rhizobacteria on growth and content of biogenic elements in winter wheat seedlings under microcosm conditions. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1636–1647. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1636-1647>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 23.09.2024, **date of review:** 22.10.2024, **date of acceptance:** 05.11.2024.

## Постановка проблемы (Introduction)

Одной из актуальных проблем современности, имеющей существенное значение как для развивающихся, так и для развитых стран, является несбалансированное питание населения [1–3].

Дефицит эссенциальных элементов, витаминов, антиоксидантов и других биологически активных соединений в пищевых продуктах вызывает риски многих заболеваний, связанных с нарушением обмена веществ [4–6]. Важной составляющей здорового образа жизни является ежедневное употребление микрорзелени и зеленых культур, содержащих

клетчатку, витамины, макро- и микроэлементы и т. д. Обогащение рациона человека такими веществами является одним из наиболее эффективных способов обеспечения населения полноценными и сбалансированными продуктами [2; 4; 7].

В настоящее время одним из наиболее перспективных подходов к решению проблемы «скрытого голода» является биофортификация, или обогащение растительного сырья и продуктов растениеводства дефицитными макро- и микроэлементами, а также биологически активными соединениями и антиоксидантами [1; 2; 8].

Особый интерес представляет микробиологическая биофортификация, которая предполагает использование бактерий для повышения биологической ценности сырья и пищевых продуктов [9–11]. Наиболее перспективное направление в этой области – подбор и применение широкого спектра эндофитных и ризосферных бактерий, стимулирующих рост растений (от англ. Plant Growth Promoting, PGP), которые увеличивают биодоступность макро- и микроэлементов в почве, способствуют поглощению питательных веществ, росту растений и повышают их устойчивость к абиотическим и биотическим стрессовым факторам [12–14].

Цинк (Zn) и железо (Fe) относятся к минеральным элементам, которых чаще всего не хватает в рационе человека, при этом их дефицит представляет серьезную угрозу для здоровья населения во всем мире [1; 5; 6].

Цинк – жизненно важный микроэлемент для растений, поскольку является кофактором большого количества ферментов, участвующих во многих биохимических путях [8]. Дефицит цинка приводит к значительным потерям урожайности сельскохозяйственных культур и снижению его поступления в пищевую рацион, что может вызвать задержку роста, нарушение моторного развития и когнитивных функций человека [1; 5; 8]. Проблемы, связанные с неполноценным питанием из-за дефицита цинка, имеют системный характер и вызывают серьезную озабоченность по всему миру [5; 6]. Цинк-соллюбилизирующие PGP-ризобактерии (PGPR) могут помочь преодолеть нехватку этого микроэлемента, превращая нерастворимые соединения цинка в доступные для растений [11; 14–16].

Железо также является важным микроэлементом для всех живых организмов. Дефицит железа в рационе человека является основной причиной анемии и вызывает нарушение когнитивного развития, снижение иммунитета и др. [17–19]. В аэробных условиях этот элемент встречается преимущественно в форме трехвалентного иона ( $Fe^{3+}$ ), который часто образует нерастворимые гидроксиды, недоступные как для растений, так и для некоторых микроорганизмов [12; 19]. Однако ряд бактерий обладает механизмами, с помощью которых они могут получать недоступное железо, включая продуцирование различных форм низкомолекулярных хелаторов Fe, известных как сидерофоры. Эти вещества обладают высоким сродством к связыванию с трехвалентным Fe. При этом они образуют стабильные комплексы на плазматической мембране корня, где  $Fe^{3+}$  восстанавливается до  $Fe^{2+}$  и поступает в клетку через белки-переносчики [12].

Поэтому особенно перспективными для биообогащения растительного сырья цинка и железа являются PGPR, обладающие такими возможностями, как соллюбилизация недоступных для растений

форм цинка, фосфора и т. д., а также продуцирование сидерофоров и фитогормонов [12; 14].

В последние годы исследователями многих стран проведены эксперименты по оценке эффективности использования Zn-соллюбилизирующих PGP-бактерий для улучшения роста сельскохозяйственных культур и их биообогащения [9; 11; 14–16]. Имеются также данные об исследованиях, направленных на изучение роли сидерофор-продуцирующих бактерий в стимулировании роста разных видов культурных растений [17–19]. Так, например, была доказана возможность использования некоторых штаммов *Bacillus subtilis*, продуцирующих сидерофоры, для биообогащения железом, улучшения роста и урожайности арахиса [17]. Выделены и изучены бактерии рода *Thiobacillus*, которые могут усиливать Fe-биообогащение соевых бобов в известняковой почве с повышенным уровнем сульфата железа [18].

Однако, несмотря на проявленный интерес со стороны ученых разных стран к данной тематике, микробиологическая биофортификация не получила широкого распространения, а эффекты использования Zn-соллюбилизирующих и сидерофор-продуцирующих PGPR на морфофизиологические характеристики культурных растений и накопление биогенных элементов остаются мало изученными.

Цель исследования – изучить влияние двух селективных штаммов Zn-соллюбилизирующих PGPR на морфофизиологические характеристики семян *Triticum aestivum* L. (пшеница мягкая озимая, сорт Еланчик) и содержание в них биогенных элементов.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Два штамма PGPR – *Pantoea* sp. STF1 и *Pseudomonas* sp. STF13 – были выделены из ризосферной почвы растения *Tussilago farfara* L., Asteraceae (мать-и-мачеха обыкновенная), произрастающего на территории Сафьяновского медно-цинково-колчеданного месторождения, в 9 км к северо-востоку от г. Режа Свердловской области. В конце мая 2023 г. цветущие растения *T. farfara* были аккуратно выкопаны, а ризосферная почва была собрана в пластиковые пакеты, перенесена в лабораторию и хранилась в холодильнике при 4 °С.

Для проверки способности выделенных штаммов к соллюбилизации недоступных форм цинка изоляты были помещены на солевой агар (Mineral Salt Medium, MSM) с добавлением 0,1 % одной из трех нерастворимых форм цинка:  $ZnCO_3$ ,  $Zn_3(PO_4)_2$  или ZnO в течение 2 дней при 28 °С [20]. Зона ореола вокруг колонии бактерий подтверждала соллюбилизацию цинка. Эффективность Zn-соллюбилизации рассчитывали как отношение диаметра соллюбилизированной зоны (гало + колония) к диаметру колонии, умноженное на 100 %.

Продукцию сидерофоров оценивали с использованием хромазурол S (Fe-CAS) агара [21]. Среду

помещали в чашки Петри и инокулировали по 5 мкл молодой культуры ( $10^8$  КОЕ/мл) бактерий. Планшеты инкубировали при 28 °С в течение 5–9 дней, до момента обнаружения галозоны, свидетельствующей о способности бактерий продуцировать сидерофоры. Эффективность продукции сидерофоров рассчитывали как отношение диаметра солюбилизированной зоны (гало + колония) к диаметру колонии  $\times 100$  %.

Для определения способности выделенных штаммов к солюбилизации фосфатов бактерии инкубировали на жидкой среде NBRIP (National Botanical Research Institute's phosphate growth medium). В качестве контроля использовали среду NBRIP без добавления бактерий. Солюбилизация фосфатов подтверждалась появлением желтого цвета после взаимодействия бактерий с ванадомolibденовым реагентом и измерялась при 420 нм с помощью спектрофотометра UV-Vis (Tecan, Thermo Scientific, США). В качестве стандарта для построения калибровочной кривой использовали растворимую форму фосфата  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  [21].

Продукцию индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) оценивали по появлению розового цвета после добавления реагента Сальковского к свежеприготовленным культурам бактерий ( $10^8$  КОЕ/мл) и измеряли при 530 нм [21]. Для построения калибровочной кривой использовали коммерческую ИУК (Sigma-Aldrich, Германия).

Способность к продукции аммиака определяли по изменению цвета с желтого на красновато-коричневый после инкубации свежеприготовленного бактериального инокулята ( $10^8$  КОЕ/мл) с реактивом Несслера [21].

В качестве модельного вида растений была выбрана *Triticum aestivum* L., Gramineae (пшеница мягкая озимая, сорт Еланчик). Эксперимент по оценке влияния Zn-солюбилизирующих PGPR на морфофизиологические показатели *T. aestivum* проводили в двух независимых повторах (апрель – май 2023 года).

Эксперимент включал 3 варианта: контрольный (без инокуляции) и опытные – с использованием пшеницы, семена которой были инокулированы PGPR-штаммами STF1 и STF13. Зрелые семена, сходные по размеру и форме, подвергали поверхностной стерилизации (70-процентным этанолом в течение 30 с, затем 2 минуты 4-процентным гипохлоритом натрия), промывали стерильной дистиллированной водой и инокулировали отобранными штаммами PGPR в течение 2 часов. Культуры бактерий предварительно выращивали на среде Луриа – Бергани (LB), затем отделяли от нее центрифугированием и разводили в стерильной дистиллированной воде до оптической плотности  $10^8$  КОЕ/мл.

Семена высаживали на предварительно дважды автоклавированный (130 °С) нейтрализован-

ный низинный торфяной субстрат (производитель ГК «Селигер-Агро», Тверь, Россия) в пластиковые контейнеры объемом 3 л (по 150 семян в каждый, 3 контейнера на один вариант). Физико-химические свойства исходного субстрата: pH  $5,42 \pm 0,01$ , удельная электропроводность –  $716,25 \pm 4,53$  мкСм/см, общее содержание солей –  $342,0 \pm 7,7$  мг/л. Растения выращивали в фитокамерах в следующих контролируемых условиях: освещенность –  $180 \pm 20$  мкмоль/м<sup>2</sup> с, обеспечиваемая фитолампами (ULI-P10-18W/SPFR IP40); фотопериод 14 : 10 (день : ночь), температура  $25 \pm 2$  °С.

Общее время выращивания семян пшеницы составляло 18 дней. Характеристики прорастания определяли согласно В. Kumar с соавторами [22]. Процент всхожести семян рассчитывали как отношение количества проросших семян к их общему количеству, умноженное на 100 %. В конце эксперимента побеги отделяли от корней, промывали дистиллированной водой и измеряли сырую и сухую биомассу. Индекс энергии (vigor index) семян рассчитывали как произведение процента всхожести и их сухой биомассы (г).

Фотосинтетические пигменты экстрагировали из свежих листьев (50 мг) в 80-процентном растворе ацетона. Содержание хлорофиллов *a*, *b* (Хл *a*, Хл *b*) и каротиноидов определяли спектрофотометрически (APEL PD-303UV, Япония) при 470, 647 и 663 нм [23] и рассчитывали в мг на 1 г сухого веса.

Общее содержание азота и фосфора в надземной биомассе определяли после мокрого озоления сухого растительного материала смесью концентрированных серной и хлорной кислот (10 : 1, по объему). Содержание азота в растительных образцах определяли на планшетном спектрофотометре (Infinite 200 PRO, Tecan, Австрия) при 400 нм после проведения реакции с реактивом Несслера [24]. Содержание общего фосфора в биомассе определяли при 660 нм после проведения реакции с молибдатом аммония в кислой среде [24]. Содержание общего калия, цинка и железа в побегах семян измеряли на атомно-абсорбционном спектрометре AA240FS (Varian Australia Pty Ltd., Австралия) после озоления 70-процентной азотной кислотой (осч).

Содержание общего азота в почвенных образцах после завершения эксперимента определяли методом мокрого озоления по Кельдалю (с использованием Heating Digestor DK 20 Velp и Distillation Unit UDK 127 Velp, Италия) и титриметрическим окончанием. Содержание подвижного фосфора в почве определяли спектрофотометрически (UV Probe-1650, Япония) [25].

Содержание доступных форм калия, цинка и железа в почве определяли при помощи атомно-абсорбционного спектрометра AA240FS (Varian Australia Pty Ltd., Австралия) после экстракции 2,5 г почвы в 50 мл 5-процентной  $\text{HNO}_3$  (осч).



Измерения сырой и сухой биомассы семян пшеницы проводили в трехкратной биологической и 20-кратной аналитической повторностях. Определение содержания пигментов в листьях и биогенных элементов (N, P, K, Zn и Fe) в побегах проводили в четырехкратной повторности из композитных навесок каждого варианта опыта. Содержание биогенных элементов в сухих почвенных образцах определяли в трехкратной повторности из композитных проб. Данные двух независимых экспериментов усреднялись. Полученные результаты анализировали с использованием компьютерных программ Excel 16.0 и Statistica 13.0. После оценки нормальности распределения, значимость различий между вариантами оценивали с использованием апостериорного критерия Дункана (Duncan's test) для множественного сравнения. На рисунках и в таблицах представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки, разными латинскими буквами обозначены достоверные различия между вариантами при  $p < 0,05$ .

**Результаты (Results)**

В таблице 1 представлены основные PGP-свойства изученных штаммов. Ризобактерии *Pseudomonas* sp. STF13 продемонстрировали способность солубилизовать все три формы нерастворимых соединений цинка, в то время как *Pantoea* sp. STF1 растворяли только оксид и карбонат цинка. Отобранные штаммы были способны к фосфат-солубилизации, продукции сидерофоров, ИУК и аммиака. Наибольшей эффективностью цинк- и фосфат-солубилизации отличался штамм STF13, в то время как продукцией сидерофоров – STF1 (таблица 1). Таким образом, оба штамма продемонстрировали наличие ярко выраженных PGP-свойств, а следовательно, способность положительно влиять на рост растений и их биомассу.

Наблюдения за прорастанием семян пшеницы, проводимые в течение первых 120 часов, показали, что у семян, инокулированных штаммом STF1, динамика всхожести была аналогична контрольным значениям, в то время как при использовании штамма STF13 шла с небольшой задержкой (рис. 1, а).

На 5-е сутки вегетации всхожесть неинокулированных семян, а также семян, инокулированных STF1, составляла 100 %, тогда как в случае заражения STF13 – 96 % (рис. 1, а). Индекс энергии инокулированных семян был на 25 % выше по сравнению с контролем, причем его максимальным значением отличались STF1-инокулированные семена (рис. 1, б).

Средняя величина сырой и сухой надземной биомассы инокулированных семян пшеницы была выше по сравнению с контрольными растениями на 15 и 12 % соответственно (рис. 1, в, г). Однако заражение семян PGPR в большей степени влияло на биомассу корней, которая была на 48 % выше, чем в контроле (рис. 1, в, г).

Продуктивность культурных растений в значительной степени определяется состоянием их фотосинтетического аппарата, важными компонентами которого являются фотосинтетические пигменты [23]. Исследование показало, что наибольшее количество хлорофиллов было характерно для пшеницы, семена которой инокулировали штаммом STF13, а каротиноидов – штаммом STF1 (соответственно на 14 и 17 % выше, чем в контроле, рис. 2). Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам в среднем составляло 7,8. Максимальным значением этого соотношения отличались растения, инокулированные штаммом STF13, а минимальным – STF1, поскольку в этом случае у растений отмечено более высокое содержание каротиноидов (рис. 2).

Таблица 1  
**Основные PGP-характеристики изученных штаммов ризобактерий**

Штамм	Эффективность Zn-солубилизации*, %			Эффективность продукции сидерофоров*, %	Фосфат-солубилизация <sup>1</sup> , мг PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /л	Синтез ИУК <sup>1</sup> , мг/л
	ZnO	ZnCO <sub>3</sub>	Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>			
<i>Pantoea</i> sp. STF1	200	220	CO	310	115,3 ± 8,5	10,3 ± 1,0
<i>Pseudomonas</i> sp. STF13	186	350	375	270	289,2 ± 11,1	14,3 ± 0,3

Примечание. \* Отношение диаметра солубилизированной зоны (гало + колония) к диаметру колонии × 100 %.

<sup>1</sup> Среднее арифметическое значение ± стандартная ошибка (n = 3). CO – солубилизация отсутствует.

Table 1  
**Main PGP-characteristics of the rhizobacteria strains studied**

Strain	Efficiency of Zn solubilization*, %			Efficiency of siderophore production*, %	Phosphate solubilization <sup>1</sup> , mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l	IAA production <sup>1</sup> , mg/l
	ZnO	ZnCO <sub>3</sub>	Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>			
<i>Pantoea</i> sp. STF1	200	220	NS	310	115.3 ± 8.5	10.3 ± 1.0
<i>Pseudomonas</i> sp. STF13	186	350	375	270	289.2 ± 11.1	14.3 ± 0.3

Note. \* Ratio of solubilized zone diameter (halo + colony) to the colony diameter × 100 %. <sup>1</sup> Mean value ± standard error (n = 3).

NS – not solubilization.



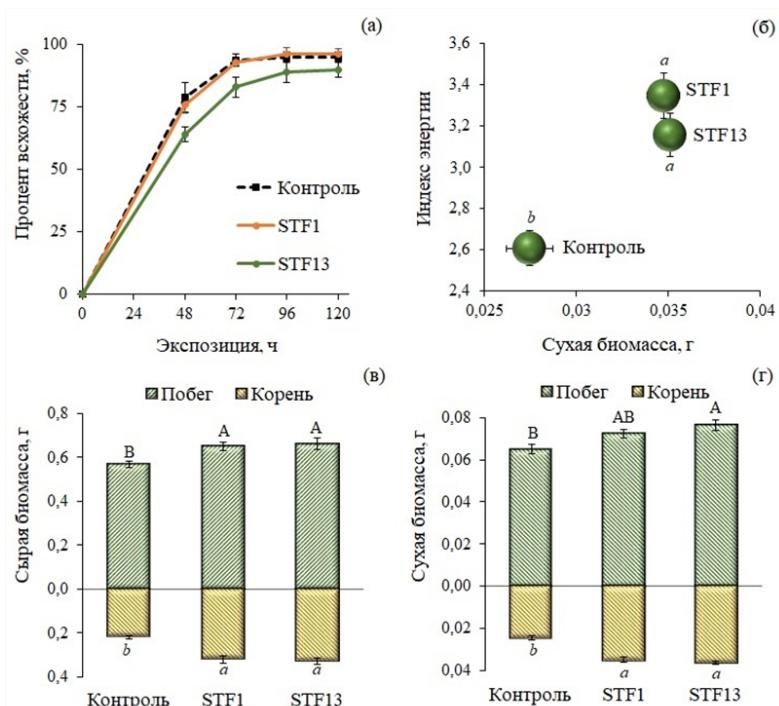


Рис. 1. Процент всхожести семян (а), индекс энергии (б), сырая (в) и сухая (г) биомасса сеянцев пшеницы

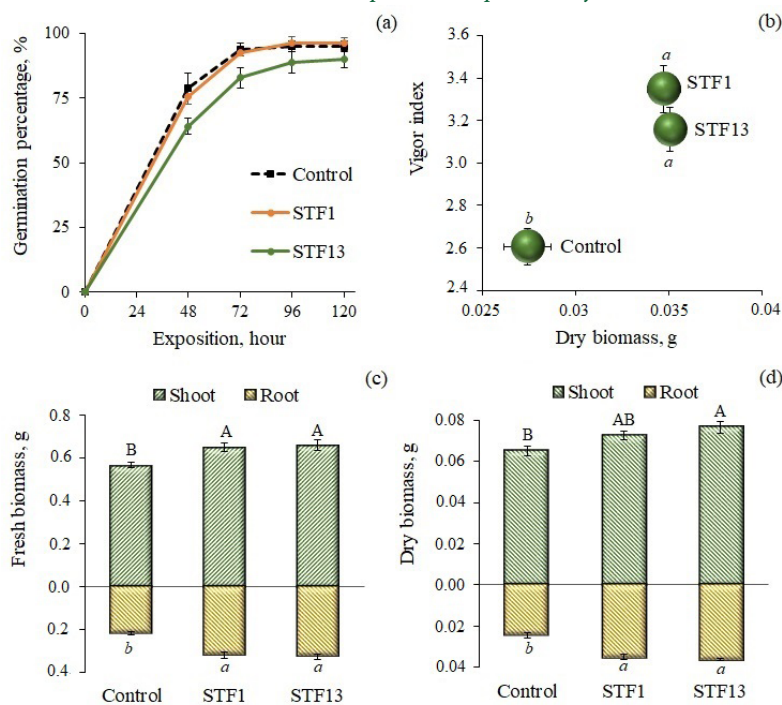


Fig. 1. Percentage of seed germination (a), vigor index (b), raw (c) and dry (d) biomass of wheat seedlings

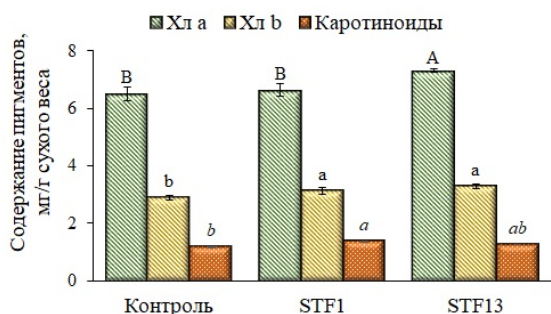


Рис. 2. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях сеянцев пшеницы

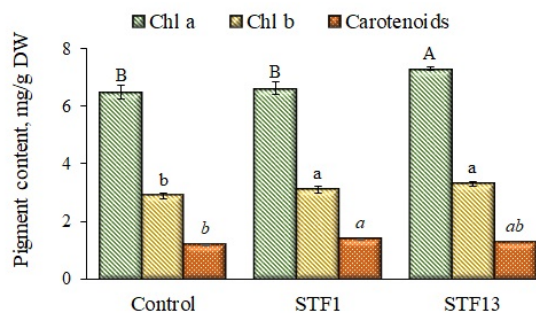


Fig. 2. Content of photosynthetic pigments in the leaves of wheat seedlings

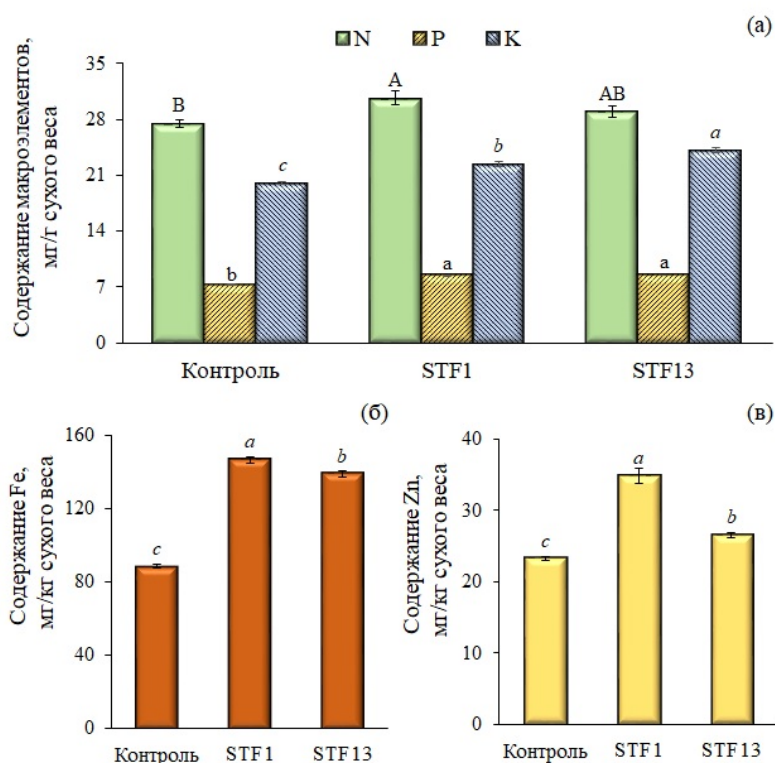


Рис. 3. Содержание общего азота, фосфора и калия (а), железа (б) и цинка (в) в сеянцах пшеницы

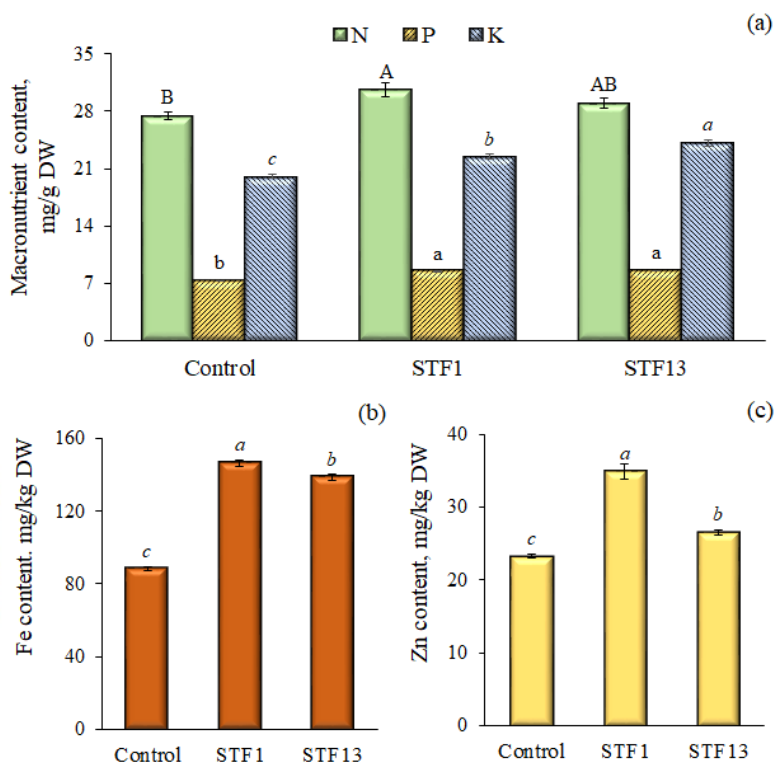


Fig. 3. Content of total nitrogen, phosphorus and potassium (a), iron (b) and zinc (c) in wheat seedlings

Содержание общего азота в сеянцах пшеницы, инокулированных ризобактериями, было на 9 % выше, чем в контрольных (рис. 3, а). По содержанию общего фосфора и калия отмечена аналогич-

ная тенденция, однако превышение составляло 17 % (рис. 3, а). Между вариантами эксперимента с разными штаммами существенной разницы по содержанию азота, фосфора и калия в сеянцах не обнаружено.

Таблица 2

## Содержание общего азота и доступных форм фосфора, калия, цинка и железа в почве

Вариант	N, %	P, O <sub>3</sub> , мг/кг	K, мг/кг	Zn, мг/кг	Fe, мг/кг
Контроль	0,96 ± 0,003a	263,0 ± 0,9b	518,7 ± 16,1c	3,09 ± 0,10a	322,8 ± 4,4b
<i>Pantoea</i> sp. STF1	1,07 ± 0,03a	332,2 ± 1,0ab	600,9 ± 5,3a	3,34 ± 0,05a	386,5 ± 18,1a
<i>Pseudomonas</i> sp. STF13	0,98 ± 0,02a	302,0 ± 1,0a	589,6 ± 4,8a	3,17 ± 0,04a	327,2 ± 6,7b

Table 2

## Содержание общего азота и доступных форм фосфора, калия, цинка и железа в почве

Treatment	N, %	P, O <sub>3</sub> , mg/kg	K, mg/kg	Zn, mg/kg	Fe, mg/kg
Control	0.96 ± 0.01a	263.0 ± 0.9b	518.7 ± 16.1c	3.09 ± 0.10a	322.8 ± 4.4b
<i>Pantoea</i> sp. STF1	1.07 ± 0.03a	332.0 ± 1.0ab	600.9 ± 5.3a	3.34 ± 0.05a	386.5 ± 18.1a
<i>Pseudomonas</i> sp. STF13	0.98 ± 0.02a	302.0 ± 1.0a	589.6 ± 4.8a	3.17 ± 0.04a	327.2 ± 6.7b

Заражение PGPR способствовало биообогащению семян такими эссенциальными микроэлементами, как Zn и Fe. В среднем содержание Zn в инокулированных семенах было в 1,3 раза (рис. 3, б), а Fe – в 1,6 раза (рис. 3, в) выше по сравнению с контролем. При этом максимальными концентрациями как цинка, так и железа отличались STF1-сеянцы (рис. 3, б, в).

Содержание макро- и микроэлементов в сухих почвенных образцах после завершения эксперимента представлено в таблице 2. Содержание общего азота во всех вариантах отличалось незначительно и в среднем составляло около 1 %. Содержание доступного фосфора в почве после выращивания пшеницы, инокулированной селективными штаммами PGPR, увеличивалось в среднем на 20 % по сравнению с контролем. Содержание в почве доступных форм калия и железа при заражении ризобактериями тоже возрастало, однако в меньшей степени: в среднем на 15 и 10 %, соответственно. По содержанию доступного цинка в почве достоверных различий между вариантами не выявлено.

Таким образом, оба изученных штамма Zn-соллюбилизирующих PGPR представляют как научный, так и практический интерес и могут быть использованы в дальнейшем для улучшения роста культурных растений и их биофортификации, поскольку инокуляция ими достоверно повышала содержание в них важнейших макро- и микроэлементов.

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Способность многих штаммов ризосферных и эндофитных бактерий стимулировать рост растений и повышать их устойчивость в условиях стресса давно доказана, что делает их востребованными при создании бактериальных удобрений [6; 12–14; 26]. Однако эффективность использования PGP-бактерий для обогащения растений, включая их микрозелень, макро- и микроэлементами к настоящему времени изучена недостаточно, что предопределяет особый интерес к решению проблемы скрытого голода.

Настоящее исследование направлено на оценку биофортификационного потенциала двух селективных штаммов PGPR: *Pantoea* sp. STF1 и *Pseudomonas* sp. STF13. Поскольку эти штаммы были выделены и исследованы впервые, представляется целесообразным сопоставить их ростстимулирующие характеристики со свойствами других изученных штаммов ризобактерий.

Эффективность Zn-соллюбилизации у изученных штаммов была сопоставима с ее средними значениями, полученными разными авторами на других видах PGPR [11; 14; 27]. Однако в отношении соллюбилизации разных форм цинка результаты неоднозначные. Так, например, при изучении 15 ризобактериальных изолятов [11] было отмечено, что они соллюбилизировали Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, но не способны были растворять ZnO и ZnCO<sub>3</sub>, тогда как у V. S. Saravanan с соавторами [14], M. Srithaworn с соавторами [27] и в нашем исследовании PGPR успешно соллюбилизировали эти нерастворимые соединения цинка.

Производство сидерофоров у использованных штаммов было достаточно высоко: в среднем она составляла 290 % (таблица 1). Следует отметить, что в исследовании E. Eshaghi с соавторами [28] уровень производства сидерофоров у разных штаммов, принадлежавших роду *Pseudomonas*, был существенно ниже полученных нами значений.

Уровень фосфат-соллюбилизации у селективных штаммов был достаточно высоким: в среднем составлял 202,3 мг PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/л, что в целом соответствует значениям, отмеченным другими авторами при изучении разных видов PGPR [26; 29]. Так, например, в исследовании S. Shaikh с соавторами количество доступных фосфатов варьировало от 30 до 45 мг PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/л [16], в исследовании M. Ali с соавторами – от 65 до 105 мг PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/л [29], а по данным G. Sood с соавторами – от 93,0 до 190,0 мг PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/л [26].

Изученные штаммы проявляли способность к синтезу ИУК (в среднем 12,3 мг/л), что согласуется с литературными данными. Ранее было показано, что продукция ИУК у разных бактерий может варьировать от 6,2 до 17,2 мг/л [11], от 17,3 до 29,7 мг/л [26] и от 11,4 до 33,4 мг/л [27].

Инокуляция Zn-солубилизирующими PGPR достоверно увеличивала биомассу семян пшеницы и способствовала повышению содержания в листьях фотосинтетических пигментов, особенно каротиноидов. Очевидно, это связано с ростом доступности для растений важнейших нутриентов под влиянием ризобактерий, а также проявлением ими других PGP-свойств. Улучшение ростовых характеристик семян пшеницы, инокулированных Zn-солубилизирующими бактериями, было показано и другими авторами [11; 16; 29]. Так, например, исследования, проведенные в Индии [11], показали, что из четырех протестированных штаммов PGPR два улучшали прорастание семян и повышали индекс энергии семян в 2,0–2,5 раза.

Проведенное исследование показало, что штаммы ризобактерий STF1 и STF13 способствовали увеличению общего содержания макро- (N, P, K)

и микроэлементов (Zn и Fe) в надземной биомассе пшеницы и их доступного количества в почве. Аналогичная тенденция была отмечена и другими авторами при изучении биофортификационного потенциала разных штаммов Zn-солубилизирующих PGPR [11; 16].

Таким образом, результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что инокуляция семян пшеницы штаммами *Pantoea* sp. STF1 и *Pseudomonas* sp. STF13 является эффективной стратегией для усиления роста ее семян и повышения их биологической ценности. В дальнейшем отобранные штаммы PGPR можно использовать в качестве биоресурса для повышения продуктивности культурных растений и их биообогащения биогенными элементами как в сочетании с химическими удобрениями, так и без них.

### Библиографический список

1. Ofori K. F., Antoniello S., English M. M., Aryee A. N. A. Improving nutrition through biofortification – a systematic review // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Article number 1043655. DOI: 10.3389/fnut.2022.1043655.
2. Raut D. A., Afrayeem S., Singh V., Jejal A. D., Sachan P., Sahoo S., Pandey S. K. Enhancing nutrition, crop resilience, and food security through biofortification // *International Journal of Environment and Climate Change*. 2024. Vol. 14 (2). Pp. 241–253. DOI: 10.9734/IJECC/2024/v14i23942.
3. Medrano-Macías J., Leija-Martínez P., González-Morales S., Juárez-Maldonado A., Benavides-Mendoza A. Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. Article number 1146. DOI: 10.3389/fpls.2016.01146.
4. Елисеева Л. Г., Белкин Ю. Д., Сими́на Д. В., Осман А., Молодкина П. Г., Сантурян Т. А. Новые направления разработки обогащенных пищевых продуктов для здорового питания // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022. Т. 4 (118). С. 50–55. DOI: 10.23670/IRJ.2022.118.4.009.
5. White P. J., Broadley M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine // *New Phytologist*. 2009. Vol. 182. Pp. 49–84. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x.
6. Van Der Straeten D., Bhullar N. K., De Steur H., et al. Multiplying the efficiency and impact of biofortification through metabolic engineering // *Nature Communications*. 2020. Vol. 11 (1). DOI: 10.1038/s41467-020-19020-4.
7. Малева М. Г., Борисова Г. Г., Трипти, Кумар А., Собенин А. В. Влияние биоудобрения на биомассу и содержание низкомолекулярных антиоксидантов у *Brassica oleracea* при биофортификации медью // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2023. Т. 84. С. 130–142. DOI: 10.31360/2225-3068-2023-84-130-142.
8. García-Bañuelos M. L., Sida-Arreola J. P., Sánchez E. Biofortification – promising approach to increasing the content of iron and zinc in staple food crops // *Journal of Elementology*. 2014. Vol. 19, No. 3. Pp. 865–888. DOI: 10.5601/jelem.2014.19.3.708.
9. Ahmad M., Hussain A., Dar A., et al. Combating iron and zinc malnutrition through mineral biofortification in maize through plant growth promoting *Bacillus* and *Paenibacillus* species // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 13. Article number 1094551. DOI: 10.3389/fpls.2022.1094551.
10. Князева И. В., Вершинина О. В., Титенков А. В. Влияние бактериальной инокуляции на биохимические показатели китайской капусты в условиях регулируемой агроэкосистемы // *Аграрный вестник Урала*. 2023. № 08 (237). С. 59–67. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-59-67.
11. Yadav R. C., Sharma S. K., Varma A., et al. Modulation in biofertilization and biofortification of wheat crop by inoculation of zinc-solubilizing rhizobacteria // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article number 777771. DOI: 10.3389/fpls.2022.777771.
12. Aloo B. N., Tripathi V., Makumba B. A., Mbega E. R. Plant-growth promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Article number 1002448. DOI: 10.3389/fpls.2022.1002448.
13. Chandran H., Meena M., Swapnil P. Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture // *Sustainability*. 2021. Vol. 13 (19). Article number 10986. DOI: 10.3390/su131910986.



14. Saravanan V. S., Subramoniam S. R., Raj S. A. Assessing in vitro solubilization potential of different zinc solubilizing bacteria (ZSB) isolates // *Brazilian Journal of Microbiology*. 2003. Vol. 34 (1). Pp. 121–125.
15. Hussain A., Arshad M., Zahir Z. A., Asghar M. Prospects of zinc solubilizing bacteria for enhancing growth of maize // *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 2015. Vol. 52, No. 4. Pp. 915–922.
16. Shaikh S., Saraf M. Biofortification of *Triticum aestivum* through the inoculation of zinc solubilizing plant growth promoting rhizobacteria in field experiment // *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2017. Vol. 9. Pp. 120–126. DOI: 10.1016/j.bcab.2016.12.008.17. Sarwar S., Khaliq A., Yousra M., Sultan T. Iron biofortification potential of siderophore producing rhizobacterial strains for improving growth, yield, and iron contents of groundnut // *Journal of Plant Nutrition*. 2022. Vol. 45, No. 15. Pp. 2332–2347. DOI: 10.1080/01904167.2022.2063733.
18. Daliran T., Halajnia A., Lakzian A. Thiobacillus bacteria-enhanced iron biofortification of soybean in a calcareous soil enriched with ferrous sulfate, mill scale, and pyrite // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2022. Vol. 22 (2). Pp. 2221–2234. DOI: 10.1007/s42729-022-00804-0.
19. Sun Z., Yue Z., Liu H., Ma K., Li C. Microbial-assisted wheat iron biofortification using endophytic *Bacillus altitudinis* WR10 // *Frontiers in Nutrition*. 2021. Vol. 8. Article number 476. DOI: 10.3389/fnut.2021.704030.
20. Bhakat K., Chakraborty A., Islam E. Characterization of zinc solubilization potential of arsenic tolerant *Burkholderia* spp. isolated from rice rhizospheric soil // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2021. Vol. 37. Article number 39. DOI: 10.1007/s11274-021-03003-8.
21. Kumar A., Tripti, Voropaeva O., et al. Bioaugmentation with copper tolerant endophyte *Pseudomonas luri-da* strain EOO26 for improved plant growth and copper phytoremediation by *Helianthus annuus* // *Chemosphere*. 2021. Vol. 266. Article number 128983. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128983.
22. Kumar B., Verma S. K., Ram G., Singh H. P. Temperature relations for seed germination potential and seedling vigor in Palmarosa (*Cymbopogon martinii*) // *Journal of Crop Improvement*. 2012. Vol. 26. Pp. 791–801. DOI: 10.1080/15427528.2012.689799.
23. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes // *Methods in Enzymology*. 1987. Vol. 148. Pp. 350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.
24. Биохимия: практикум: учебно-методическое пособие / Сост. Г. Г. Борисова, Н. В. Чукина, И. С. Киселева, М. Г. Малева. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2017. 116 с.
25. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: Издательство МГУ, 1970. 487 с.
26. Sood G., Kaushal R., Sharma M. Significance of inoculation with *Bacillus subtilis* to alleviate drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Vegetos*. 2020. Vol. 33, No. 4. Pp. 782–792. DOI: 10.1007/s42535-020-00149-y.
27. Srithaworn M., Jaroenthanayakorn J., Tangjitjaroenkun J., Suriyachadkun C., Chunhachart O. Zinc solubilizing bacteria and their potential as bioinoculant for growth promotion of green soybean (*Glycine max* L. Merr.) // *Peer Journal*. 2023. Vol. 11, No. 6. Article number e15128. DOI: 10.7717/peerj.15128.
28. Eshaghi E., Nosrati R., Owlia P., Malboobi M. A., Ghaseminejad P., Ganjali M. Zinc solubilization characteristics of efficient siderophore-producing soil bacteria // *Iranian Journal of Microbiology*. 2019. Vol. 11, No. 5. Pp. 419–430.
29. Ali M., Ahmed I., Tariq H., Abbas S., Zia M., Mumtaz A., Sharif M. Growth improvement of wheat (*Triticum aestivum*) and zinc biofortification using potent zinc solubilizing bacteria // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Article number 1140454. DOI: 10.3389/fpls.2023.1140454.

### Об авторах

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

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

**Мохаммад Дарказанли**, ассистент департамента биологии и фундаментальной медицины ИЕНиМ УрФУ, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-4254-6410, AuthorID 1123115. *E-mail: mdarkazanli@urfu.ru*

**Артем Вячеславович Собенин**, научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-5513-5680, AuthorID 860953. *E-mail: arsob@yandex.ru*

**Михаил Юрьевич Карпунин**, кандидат сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе и инновациям, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-8009-9121, AuthorID 339196. *E-mail: mkarpukhin@yandex.ru*



## References

1. Ofori K.F., Antonietto S., English M. M., Aryee A. N. A. Improving nutrition through biofortification – a systematic review. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 1043655. DOI: 10.3389/fnut.2022.1043655.
2. Raut D. A., Afrayeem S., Singh V., Jejal A. D., Sachan P., Sahoo S., Pandey S. K. Enhancing nutrition, crop resilience, and food security through biofortification. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2024; 14 (2): 241–253. DOI: 10.9734/IJECC/2024/v14i23942.
3. Medrano-Macias J., Leija-Martínez P., González-Morales S., Juárez-Maldonado A., Benavides-Mendoza A. Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Frontiers in Plant Science*. 2016; 7: 1146. DOI: 10.3389/fpls.2016.01146.
4. Eliseeva L. G., Belkin Yu. D., Simina D. V., Osman A., Molodkina P. G., Santuryan T. A. New directions for the development of fortified food products for healthy nutrition. *International Research Journal*. 2022; 4 (118): 50–55. DOI: 10.23670/IRJ.2022.118.4.009. (In Russ.)
5. White P. J., Broadley M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*. 2009; 182: 49–84. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x.
6. Van Der Straeten D., Bhullar N. K., De Steur H., et al. Multiplying the efficiency and impact of biofortification through metabolic engineering. *Nature Communications*. 2020; 11 (1). DOI: 10.1038/s41467-020-19020-4.
7. Maleva M. G., Borisova G. G., Tripti, Kumar A., Sobenin A. V. Effect of biofertilizer on biomass and content of low molecular weight antioxidants in *Brassica oleracea* under copper biofortification. *Subtropical and Ornamental Gardening*. 2023; 84: 130–142. DOI: 10.31360/2225-3068-2023-84-130-142. (In Russ.)
8. García-Bañuelos M. L., Sida-Arreola J. P., Sánchez E. Biofortification – promising approach to increasing the content of iron and zinc in staple food crops. *Journal of Elementology*. 2014; 19 (3): 865–888. DOI: 10.5601/jelem.2014.19.3.708.
9. Ahmad M., Hussain A., Dar A., et al. Combating iron and zinc malnutrition through mineral biofortification in maize through plant growth promoting *Bacillus* and *Paenibacillus* species. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 13: 1094551. DOI: 10.3389/fpls.2022.1094551.
10. Knyazeva I. V., Vershinina O. V., Titenkov A. V. Effect of bacterial inoculation on biochemical parameters of *Chinese cabbage* in conditions of controlled agroecosystem. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 08 (237): 59–67. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-237-08-59-67. (In Russ.)
11. Yadav R. C., Sharma S. K., Varma A., et al. Modulation in biofertilization and biofortification of wheat crop by inoculation of zinc-solubilizing rhizobacteria. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 777771. DOI: 10.3389/fpls.2022.777771.
12. Aloo B. N., Tripathi V., Makumba B. A., Mbega E. R. Plant-growth promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 1002448. DOI: 10.3389/fpls.2022.1002448.
13. Chandran H., Meena M., Swapnil P. Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture. *Sustainability*. 2021; 13 (19): 10986. DOI: 10.3390/su131910986.
14. Saravanan V. S., Subramoniam S. R., Raj S. A. Assessing in vitro solubilization potential of different zinc solubilizing bacteria (ZSB) isolates. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2003; 34 (1): 121–125.
15. Hussain A., Arshad M., Zahir Z. A., Asghar M. Prospects of zinc solubilizing bacteria for enhancing growth of maize. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 2015; 52 (4): 915–922.
16. Shaikh S., Saraf M. Biofortification of *Triticum aestivum* through the inoculation of zinc solubilizing plant growth promoting rhizobacteria in field experiment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2017; 9: 120–126. DOI: 10.1016/j.bcab.2016.12.008.17. Sarwar S., Khaliq A., Yousra M., Sultan T. Iron biofortification potential of siderophore producing rhizobacterial strains for improving growth, yield, and iron contents of groundnut. *Journal of Plant Nutrition*. 2022; 45 (15): 2332–2347. DOI: 10.1080/01904167.2022.2063733.
18. Daliran T., Halajnia A., Lakzian A. Thiobacillus bacteria-enhanced iron biofortification of soybean in a calcareous soil enriched with ferrous sulfate, mill scale, and pyrite. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2022; 22 (2): 2221–2234. DOI: 10.1007/s42729-022-00804-0.
19. Sun Z., Yue Z., Liu H., Ma K., Li C. Microbial-assisted wheat iron biofortification using endophytic *Bacillus altitudinis* WR10. *Frontiers in Nutrition*. 2021; 8: 476. DOI: 10.3389/fnut.2021.704030.
20. Bhakat K., Chakraborty A., Islam E. Characterization of zinc solubilization potential of arsenic tolerant *Burkholderia* spp. isolated from rice rhizospheric soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2021; 37: 39. DOI: 10.1007/s11274-021-03003-8.
21. Kumar A., Tripti, Voropaeva O., et al. Bioaugmentation with copper tolerant endophyte *Pseudomonas lurida* strain EOO26 for improved plant growth and copper phytoremediation by *Helianthus annuus*. *Chemosphere*. 2021; 266: 128983. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128983.

22. Kumar B., Verma S. K., Ram G., Singh H. P. Temperature relations for seed germination potential and seedling vigor in Palmarosa (*Cymbopogon martinii*). *Journal of Crop Improvement*. 2012; 26: 791–801. DOI: 10.1080/15427528.2012.689799.
23. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology*. 1987; 148: 350–382. DOI: 10.1016/0076-6879(87)48036-1.
24. Borisova G. G., Chukina N. V., Kiseleva I. S., Maleva M. G. (compilers) *Biochemistry: workshop: teaching aid*. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo un-ta, 2017. 116 p. (In Russ.)
25. Arinushkina E. V. *Guide to chemical analysis of soils*. Moscow: Izdatel'stvo MGU, 1970. 487 p. (In Russ.)
26. Sood G., Kaushal R., Sharma M. Significance of inoculation with *Bacillus subtilis* to alleviate drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Vegetos*. 2020; 33 (4): 782–792. DOI: 10.1007/s42535-020-00149-y.
27. Srithaworn M., Jaroenthanayakorn J., Tangjitjaroenkun J., Suriyachadkun C., Chunhachart O. Zinc solubilizing bacteria and their potential as bioinoculant for growth promotion of green soybean (*Glycine max* L. Merr.). *Peer Journal*. 2023; 11 (6): e15128. DOI: 10.7717/peerj.15128.
28. Eshaghi E., Nosrati R., Owlia P., Malboobi M. A., Ghaseminejad P., Ganjali M. Zinc solubilization characteristics of efficient siderophore-producing soil bacteria. *Iranian Journal of Microbiology*. 2019; 11 (5): 419–430.
29. Ali M., Ahmed I., Tariq H., Abbas S., Zia M., Mumtaz A., Sharif M. Growth improvement of wheat (*Triticum aestivum*) and zinc biofortification using potent zinc solubilizing bacteria. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1140454. DOI: 10.3389/fpls.2023.1140454.

#### Authors' information:

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

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

**Mohamad Darkazanli**, associate professor of the department of biology and fundamental medicine, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-4254-6410, AuthorID 1123115. *E-mail*: mdarkazanli@urfu.ru

**Artem V. Sobenin**, scientific researcher, Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-5513-5680, AuthorID 860953. *E-mail*: arsob@yandex.ru

**Mikhail Yu. Karpukhin**, candidate of agricultural sciences, vice rector for scientific work and innovations, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-8009-9121, AuthorID 339196. *E-mail*: mkarpukhin@yandex.ru

## Post-GWAS-исследование предрасположенности коров разных пород к маститу

М. В. Бытов<sup>✉</sup>, Д. Ю. Нохрин, В. Д. Зубарева, А. Г. Исаева, О. В. Соколова

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

<sup>✉</sup>E-mail: [bytovmaks@mail.ru](mailto:bytovmaks@mail.ru)

**Аннотация.** Воспалительные заболевания молочной железы продолжают оставаться наиболее распространенной проблемой среди коров молочных стад, несмотря на оптимизируемые профилактические меры и схемы лечения. Одним из способов предупреждения развития мастита у коров молочной продуктивности является генетическая селекция наиболее устойчивых к заболеванию особей. Для выявления генетических маркеров, связанных с развитием заболеваний, проводятся полногеномные ассоциативные исследования (genome-wide association study, GWAS). Их результатом являются полиморфные локусы в геноме, чей вклад в развитие заболевания является значительным. Однако для подтверждения достоверности результатов ассоциативных тестов необходимо проводить валидационные post-GWAS-исследования отдельных локусов в независимых выборках. **Целью** данной работы является проведение валидационного post-GWAS-исследования 5 однонуклеотидных полиморфизмов с риском развития мастита и создание предиктивных моделей развития данного заболевания для тагильской, суксунской и голштинской пород крупного рогатого скота. **Методы.** Генотипирование проведено с использованием наборов TaqMan для ПЦР в режиме реального времени. Статистическая обработка и построение моделей риска выполнены с помощью веб-инструмента SNPstats и программного пакета MDR. **В результате** статистического анализа установлено, что отдельные аллели полиморфизмов rs109452259, rs134055603 и rs137396952 предположительно обладают протекторным эффектом по отношению к развитию мастита у тагильской и суксунской пород. Обнаруженная зависимость была более выражена у суксунской породы. Отсутствие статистически значимых ассоциаций при анализе отдельных SNPs для голштинской породы может указывать на региональную генетическую вариабельность данной породы. **Научная новизна** работы состоит в получении новых сведений о степени генетической предрасположенности крупного рогатого скота, в том числе аборигенных исчезающих пород, к маститу по отдельным полиморфизмам. Увеличение количества изучаемых полиморфизмов в межгенном регионе *GC-NPFFR2* для проведения post-GWAS-исследований позволит подтвердить достоверность связи данного локуса с развитием мастита, выявленную в предыдущих полногеномных ассоциативных исследованиях.

**Ключевые слова:** мастит, post-GWAS, крупный рогатый скот, тагильская порода, суксунская порода, голштинская порода, риск развития заболевания, ассоциативные тесты

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 22-16-00021 «Изучение ассоциаций молекулярно-генетических маркеров с ценными физиологическими признаками сельскохозяйственных животных с целью направленной селекции для повышения адаптационного потенциала и долголетия». Авторы выражают благодарность главному специалисту Управления сельского хозяйства и предпринимательства Октябрьского городского округа Пермского края В. М. Абсаликову, генеральному директору ООО «Суксунское» С. А. Пестрикову, директору ООО «Суксунское» Н. П. Суетиной за содействие в проведении научных исследований.

**Для цитирования:** Бытов М. В., Нохрин Д. Ю., Зубарева В. Д., Исаева А. Г., Соколова О. В. Post-GWAS-исследование предрасположенности коров разных пород к маститу // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1648–1672. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1648-1672>.

**Дата поступления статьи:** 30.09.2024, **дата рецензирования:** 21.10.2024, **дата принятия:** 13.11.2024.

## Post-GWAS study of mastitis susceptibility in cows of different breeds

M. V. Bytov<sup>✉</sup>, D. Yu. Nokhrin, V. D. Zubareva, A. G. Isaeva, O. V. Sokolova

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

<sup>✉</sup>E-mail: bytovmaks@mail.ru

**Abstract.** Inflammatory diseases of the mammary gland remain the most common problem in dairy cows, despite the development of preventive measures and treatment schemes. One of the ways to prevent the development of mastitis in dairy cows is genetic selection of the most disease-resistant animals. To identify genetic markers associated with a disease, genome-wide association studies (GWAS) are carried out. The result of the studies is polymorphic loci of the genome, the contribution of which to the development of a disease is significant. However, to confirm the reliability of the association results, it is necessary to perform post-GWAS validation studies of individual loci in independent populations. **The purpose** of this study is to conduct a validation post-GWAS study of 5 single nucleotide polymorphisms with the risk of mastitis and to create predictive models for the development of this disease for the Tagil, Suksun and Holstein cattle breeds. **Methods.** Genotyping was carried out using TaqMan real-time PCR kits. Statistical processing and generation of risk models were performed using the SNPstats web tool and the MDR software package. **Results.** Statistical analysis showed that individual alleles of the rs109452259, rs134055603, and rs137396952 polymorphisms presumably have a protective effect on the development of mastitis in the Tagil and Suksun breeds. The observed effect was more pronounced in the Suksun breed. The absence of statistically significant associations in the analysis of individual SNPs for the Holstein breed may indicate regional genetic variability of this breed. **The scientific novelty** of the study consists in obtaining new information about the degree of genetic predisposition of cattle, including aboriginal endangered breeds, to mastitis according to individual polymorphisms. Increasing the number of studied polymorphisms in the intergenic region *GC-NPFFR2* for post-GWAS studies will confirm the reliability of the association of this locus with the development of mastitis, identified in previous genome-wide association studies.

**Keywords:** mastitis, post-GWAS, cattle, Tagil breed, Suksun breed, Holstein breed, disease susceptibility, association study

**Acknowledgements.** The work was carried out within the framework of the RSF project No. 22-16-00021 “Study of associations of molecular genetic markers with valuable physiological traits of farm animals for the purpose of targeted selection to increase adaptive potential and longevity.” The authors express their gratitude to the chief specialist of the Department of Agriculture and Entrepreneurship of the Oktyabr’skiy Urban District of Perm Krai V. M. Absalikov, General Director of Suksunskoe LLC S. A. Pestrikov, Director of Suksunskoye LLC N. P. Suetina for assistance in conducting scientific research.

**For citation:** Bytov M. V., Nokhrin D. Yu., Zubareva V. D., Isaeva A. G., Sokolova O. V. Post-GWAS study of the predisposition of cows of different breeds to mastitis. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1648–1672. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1648-1672>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 30.09.2024, **date of review:** 21.10.2024, **date of acceptance:** 13.11.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Мастит – одно из самых распространенных и экономически значимых заболеваний молочного скота как в России, так и в мире. Доля больных животных в стадах составляет 5–36 % [1] и может сильно различаться по странам, регионам, а также в зависимости от сезона года и породы скота. С учетом количества родов и стадии лактации оценки распространения заболевания могут быть увеличены до 49–97 % в расчете на одно животное [2]. На Среднем Урале за последнее десятилетие мастит диагностировали у 27–33 % высокопродуктивных коров [3].

Около 70 % всех финансовых потерь приходится на субклиническую форму мастита и складывается из затрат на выбраковку больных животных и оздоровление стада [4]. Экономические потери от клинического мастита сильно варьируют в хозяйствах [5] и связаны в первую очередь с тратами на лечение больных животных. Хотя этиология мастита может быть разной и включать действие физических, химических или биологических факторов, само заболевание развивается как инфекционный процесс, протекающий в тканях молочной железы. Поэтому первую и очевидную группу мероприятий



по борьбе с маститом составляют методы непосредственного воздействия на возбудителей инфекции. В настоящее время стандартные протоколы лечения мастита у коров предписывают антибиотикотерапию преимущественно препаратами с бактерицидным механизмом действия [6]. Однако, учитывая рост антибиотикорезистентности патогенных микроорганизмов и риски попадания антибиотиков в молоко, также активно разрабатываются и внедряются альтернативные антимикробные соединения [7–10].

Вторая группа мер – профилактическая – направлена на снижение риска развития мастита. Она включает совершенствование санитарных мероприятий, технологий содержания и доения животных, а также вакцинопрофилактику. Последняя позволяет не только снизить заболеваемость коров маститом, но и улучшить качество молока [1]. Так, в племенных хозяйствах Свердловской области в результате вакцинации снижено количество соматических клеток в молоке на 31–62 % (разброс объясняется различиями в содержании и технологии доения) за три года [11].

Третьим (не менее перспективным) направлением борьбы с маститом является геномная селекция [12]. Известно, что наследуемость устойчивости к маститу низка (в ряде исследований коэффициент наследуемости был менее 0,05 [2]) и может отрицательно коррелировать с молочной продуктивностью [13]. В этих условиях геномный анализ способен предоставить селекционерам возможности увеличения частоты благоприятных аллелей в популяции, недоступные для традиционных племенных методов работы. Поиск генетических механизмов и идентификация геномных вариантов, ассоциированных с предрасположенностью или устойчивостью к маститу, в сочетании с вариантами, обуславливающими другие жизненно важные и/или хозяйственно ценные признаки, необходим для разработки программ селекции, позволяющих преодолеть существующую генетическую корреляцию между разными признаками и параллельно улучшить нужные из них. Одним из подходов к получению таких знаний является выявление ассоциаций между перспективными кандидатными однонуклеотидными полиморфизмами (single nucleotide polymorphism, SNP), выявленными в ходе полногеномных ассоциативных исследований (genome-wide association study, GWAS). В последние годы количество GWAS-исследований в мире стремительно увеличивается, но затрагивает преимущественно животных голштинской породы. Вместе с тем в современных условиях важным становится изучение локальных пород крупного рогатого скота, поскольку они могут являться резервуаром уникальных генетических комбинаций, накопленных в популяциях в ходе отечественной племенной работы. Стоит отметить,

что для подтверждения достоверности результатов ассоциативных тестов необходимо проводить валидационные post-GWAS-исследования отдельных локусов. Существует широкий спектр методов генотипирования для post-GWAS: начиная ПЦР-методами [14], малыми кастомными чипами [15], чипами средней плотности [16–18], секвенированием транскриптома с дальнейшим GWAS [19], нанопоровым секвенированием [20], заканчивая комбинированием чипов разной плотности и результатов полногеномного секвенирования [21].

Целью данной работы являлось изучение связи между рядом полиморфных однонуклеотидных вариаций генома и случаями клинического мастита у трех пород крупного рогатого скота, а также построение генетических моделей риска развития мастита по отдельным SNPs и с учетом их возможного сочетанного действия.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Материалом для исследования стали коровы двух локальных пород уральской селекции: тагильская ( $n = 86$ ) и суксунская ( $n = 81$ ). В качестве варианта сравнения использовали выборку животных голштинской породы ( $n = 70$ ). Несмотря на данные о наличии в генофонде суксунской породы примеси голштинской и красной датской пород [22], а в генофонде тагильской породы – голштинского скота [23], исследования данных пород по-прежнему остаются актуальными с точки зрения как поиска ценных генетических ресурсов устойчивости к заболеваниям, так и генетического разнообразия генофонда крупного рогатого скота РФ. Тагильская и суксунская породы имеют статус исчезающих, что обуславливает размер выборок исследованных животных. Критерием для отнесения животного к группе риска являлось наличие случаев клинического и субклинического мастита в анамнезе. Для диагностики субклинического мастита использовали экспресс-тесты по определению содержания соматических клеток в молоке. Если у животного не были зарегистрированы случаи мастита в течение трех лактаций, а также экспресс-тест показал отрицательный результат, то животное считали устойчивым к маститу. У всех животных проводили отбор крови из хвостовой вены в вакуумные пробирки с ЭДТА в качестве фиксатора. Экстракция ДНК, измерение ее концентрации, дизайн олигонуклеотидов, постановка ПЦР и интерпретация результатов генотипирования описаны ранее [14]. Имеются исследования о связи мастита с генами *GC* (кодирует витамин D-связывающий белок) и *NPFFR2* (кодирует нейропептид рецептора FF2) [13, 24–26]. Ранее в публикациях полиморфизм гена *NPFFR2* связывали с абнормальной активацией макрофагов при иммунном ответе, а в гене витамин D-связывающего белка – с общими нарушениями в работе иммунной системы [27]. Оба локуса также проявили ас-



социацию с молочной продуктивностью [28], морфологией молочной железы [29] и продуктивным долголетием крупного рогатого скота [30]. На основании анализа литературы (плейотропность и локализация вблизи генов, играющих ключевые роли

в иммунном ответе) для генотипирования были выбраны 5 SNPs, расположенные в 6-й аутосоме в межгенном регионе GC-NPFFR2 и перспективные в отношении мастита (таблица 1).

Таблица 1  
Характеристика изученных однонуклеотидных полиморфизмов в межгенном регионе GC-NPFFR2

SNP	Название SNP [31; 32]	Замена	Участие в процессах, QTL	Источник
rs109452259	6_88800322, BovineHD0600024315, BTR-chr6_89986048, LGT-BLACK-ANG01-925863, LGT-HOL01-1103125, MM_6_89986048	AC_000163.1:g.88800322C>A	Мастит, кетоз, легкость отела, продуктивное долголетие, продуктивность	[33; 34]
rs110347054	6_88751491, AX-26651572, BovineHD0600024302, BTA6-88751491, BTR-chr6_89934194, CHR6-89934194, LGT-BLACK-ANG01-925802, LGT-HOL01-1103038, RMC_6_89934194	NC_037333.1:g.87019468G>A	Кетоз	[34]
rs110352004	6_88948552, BovineHD0600024365, BTR-chr6_90077609, LGT-BLACK-ANG01-926198, LGT-HOL01-1103505, R0C_6_90077609	NC_037333.1:g.87213962T>C	Кетоз, продуктивное долголетие	[18; 33; 34]
rs134055603	6_88832335, BovineHD0600024327, LGT-BLACK-ANG01-926044 LGT-HOL01-1103397, MM_6_90016285,	AC_000163.1:g.88832335G>A	Кетоз, продуктивное долголетие, мастит, продуктивность	[13; 18; 34]
rs137396952	BovineHD0600024322, LGT-BLACK-ANG01-925981	AC_000163.1:g.88817457C>T	Кетоз, продуктивное долголетие, мастит, продуктивность	[13; 18; 34]

Таблица 1  
Characteristics of the studied single nucleotide polymorphisms in the intergenic region GC-NPFFR2

SNP	SNP name [31; 32]	Polymorphism	Involved in processes, QTL	Source
rs109452259	6_88800322, BovineHD0600024315, BTR-chr6_89986048, LGT-BLACK-ANG01-925863, LGT-HOL01-1103125, MM_6_89986048	AC_000163.1:g.88800322C>A	Mastitis, ketosis, calving ease, productive longevity, productivity	[33; 34]
rs110347054	6_88751491, AX-26651572, BovineHD0600024302, BTA6-88751491, BTR-chr6_89934194, CHR6-89934194, LGT-BLACK-ANG01-925802, LGT-HOL01-1103038, RMC_6_89934194	NC_037333.1:g.87019468G>A	Ketosis	[34]
rs110352004	6_88948552, BovineHD0600024365, BTR-chr6_90077609, LGT-BLACK-ANG01-926198, LGT-HOL01-1103505, R0C_6_90077609	NC_037333.1:g.87213962T>C	Ketosis, productive longevity	[18; 33; 34]
rs134055603	6_88832335, BovineHD0600024327, LGT-BLACK-ANG01-926044 LGT-HOL01-1103397, MM_6_90016285,	AC_000163.1:g.88832335G>A	Ketosis, productive longevity, mastitis, productivity	[13; 18; 34]
rs137396952	BovineHD0600024322, LGT-BLACK-ANG01-925981	AC_000163.1:g.88817457C>T	Ketosis, productive longevity, mastitis, productivity	[13; 18; 34]

Таблица 2  
Олигонуклеотиды, использованные для генотипирования  
Table 2  
Oligonucleotides used for genotyping

SNP SNP	Олигонуклеотид Oligonucleotide sequence	Длина ампликона, п. н. Amplicon length, b. p.
rs109452259	F, GCAAAAACACAATATGCTGGAT	415
	R, AGGTCAAACAACATAACAGTGG	
	Probe1, ROX-CTTGTC+A+A+CTT+C+CA-BHQ2	
	Probe2, FAM-CTTGTC+A+C+CTTCCA-BHQ1	
rs110347054	F, GGAGCTGGGATTGATGCCTAC	226
	R, AAGAAAATCA+CA+CTTCAAAGGATA	
	Probe1, ROX-CCTACTCCCTC+C+A+CTGGGTG-BHQ2	
	Probe2, Cy5-CCTACTCCCTCC+G+CTGGGTG-BHQ2	
rs110352004	F, GTAGGGATT+GAT+GC+CCTTGAA	232
	R, TACAATA+CA+C+CATAT+CTTTTTATCC	
	Probe1, HEX-AA+TA+C+GTAC+AA+CACT+CT+T-BHQ1	
	Probe2, ROX-TA+C+GTAC+GA+CACTCTGT-BHQ2	
rs134055603	F, GACAAGGCTTTTGATAGGTGAAA	316
	R, CAAAGCAACCACACAATGTTG	
	Probe1, HEX-CAT+TT+TCT+T+A+GA+CT+T+CTG-BHQ1	
	Probe2, Cy5-CATTTTCT+T+G+GA+CT+T+CTG-BHQ3	
rs137396952	F, ATGCAGCAGAAACAAGGGTAAA	225
	R, GTACAGCCACTGTGCAACAAC	
	Probe1, HEX-GA+TT+CAGCATG+G+T+G+TCAG-BHQ2	
	Probe2, Cy5-GATT+CAGCATG+G+C+G+TCAG-BHQ3	

Примечание. «+» – обозначение LNA-модификации.  
Note. «+» – designation of LNA modification.

Таблица 3  
Частота маститов в популяциях крупного рогатого скота трех пород

Порода	Количество животных, гол.	Частота		95 % ДИ
		Абсолютная, гол.	Относительная, %	
Тагильская	78	42	53,8	[42,8; 64,6]
Суксунская	81	24	29,6	[20,5; 40,2]
Голштинская	70	35	50,0	[38,5; 61,5]

Table 3  
Mastitis incidence in cattle populations of three breeds

Breed	Number of animals	Incidence		95 % C. I.
		Absolute	Relative, %	
Tagil	78	42	53,8	[42,8; 64,6]
Suksun	81	24	29,6	[20,5; 40,2]
Holstein	70	35	50,0	[38,5; 61,5]

Олигонуклеотиды, использованные для генотипирования животных, представлены в таблице 2.

При анализе данных для трех пород рассчитывали абсолютные (количество животных) и относительные (в %) частоты маститов, последним присваивался 95-процентный доверительный интервал (95 % ДИ), вычисленный методом Джеффриса на

онлайн-ресурсе EpiTools [35]. Сравнение выборок по частотам маститов проводили критерием хи-квадрат Пирсона с расчетом стандартизованных остатков Хабермана (Adjusted Residuals, AR) в программном пакете PAST (version 4.17 [36]). Распределение генотипов проверяли на соответствие распределению Харди – Вайнберга с использованием

точного критерия Холдейна (Haldane's exact test) в пакете HW\_TEST (version 1.1 [37]), а для визуализации соотношения генотипов в 3 популяциях строили диаграммы де Финетти в пакете ggtern (version 3.5.0 [38]) для программно-статистической среды R.

Моделирование риска возникновения мастита на основе полученных генетических данных проводили по каждому полиморфному локусу в отдельности и для всех 5 SNPs одновременно. В первом случае в пакете SNPStats [39] оценивали 5 моделей: кодоминантная, доминантная, рецессивная, сверхдоминантная и лог-аддитивная, а в качестве величины эффекта выступало отношение шансов (Odds Ratio, OR) с 95 % ДИ. Во втором случае для учета влияния возможных неаддитивных взаимодействий генов использовали технику снижения многофакторной размерности MDR (Multifactor Dimensionality Reduction) с получением решающих правил вида «если, то» в пакете MDR (version 3.0.2 [40]). При этом поиск лучших моделей проводили с использованием алгоритма всестороннего поиска, а также на основе графов энтропии информационного анализа. Диагностическую эффективность полученных моделей оценивали по показателям чувствительности и специфичности, надежность – по результатам 10-кратной перекрестной проверки, а статистическую значимость – по критерию хи-квадрат. Во всех случаях статистически значимыми признавали эффекты при  $p \leq 0,05$ , незначимыми – при  $p > 0,10$ .

### Результаты (Results)

Различия трех популяций по частотам маститов были высоко статистически значимыми:  $\chi^2 = 10,87$ ;  $p = 0,004$ . Из таблицы 3 видно, что они были обусловлены преимущественно низкой распространенностью маститов среди животных суксунской породы при относительно высокой у тагильской породы, что подтверждают стандартизованные остатки:  $AR = -3,26$  ( $p = 0,001$ ) и  $AR = 2,13$  ( $p = 0,033$ ) соответственно.

Для оценки возможного вклада изученных генов в риск развития мастита и выявление популяционных различий была проведена серия статистических тестов. На первом этапе оценивали соответствие распределения SNPs закону Харди – Вайнберга. У коров тагильской породы отклонение от равновесного соотношения отмечено по rs109452259 ( $p = 0,029$ ), у суксунской и голштинской – по rs110347054 ( $p = 0,013$  и  $p = 0,045$ ). В остальных случаях отклонения не были статистически значимыми ( $p = 0,30 \dots 0,82$ ). Такие отклонения рассматриваются обычно в качестве маркеров возможных ошибок генотипирования, хотя они могут возникать также вследствие множества других причин: действия отбора, изменчивости числа копий гена, инбридинга и субструктурирования популяции [41]. Поскольку породы скота находятся под действием непрекращающегося искусственного

отбора, наиболее вероятной интерпретацией отклонения от равновесного соотношения частот является именно действие отбора. Из диаграмм де Финетти (рис. 1) видно, что во всех трех популяциях SNPs демонстрировалось преобладание мутантных (исторически более молодых) генотипов (M/M) над предковыми (W/W): их метки расположены левее вершины кривой равновесия. Для суксунской породы такой вариант был только 1, для тагильской – 2, а для голштинской – все 5. Это может указывать на более строгий отбор в популяциях голштинов, в результате чего порода сильнее отделилась от предковых комбинаций аллелей.

На втором этапе для каждого из SNPs было проведено моделирование вклада в развитие клинического мастита обычным для кандидатных исследований способом: путем оценки 5 моделей риска [39; 42]. Для трех пород эти модели представлены в таблицах 4–6. Данный этап можно рассматривать как первый этап анализа ассоциаций для поиска перспективных вариантов для последующего моделирования с помощью MDR.

Для тагильской породы связь с риском развития мастита показали 3 SNPs: rs109452259 (доминантная модель, генотипы с аллелем  $A^*$  имеют пониженный риск развития мастита), rs134055603 (рецессивная модель, гомозиготное состояние аллеля  $A^*$  ассоциировано с увеличением риска) и rs137396952 (доминантная модель, аллель  $T^*$  ассоциирован со снижением риска). Для суксунской породы связь с риском развития мастита обнаружили по тем же трем SNPs: rs109452259 (лог-аддитивная модель, с ростом доли аллеля  $A^*$  в генотипе риск развития мастита снижается), rs134055603 (лог-аддитивная модель, с ростом доли предкового аллеля  $G^*$  в генотипе риск снижается) и rs137396952 (лог-аддитивная модель, с ростом доли аллеля  $T^*$  в генотипе риск снижается). Для голштинской породы ассоциации между генотипом и маститом не обнаружено.

Таким образом, у двух пород обнаружена однотипная протекторная роль в отношении развития клинического мастита аллелей для rs109452259 ( $A^*$ ) и rs137396952 ( $T^*$ ), которая была более выражена у суксунской породы, поскольку в трендовой лог-аддитивной модели влияние аллеля закладывается сильнее, чем в доминантной. По rs134055603 у двух пород наблюдали противоположное влияние разных аллелей на риск развития мастита.

На третьем этапе было проведено моделирование риска развития мастита с учетом возможного сочетанного действия локусов при помощи MDR. Всесторонний поиск дал несколько тривиальных моделей, в которых проявились уже отмеченные выше SNPs. Более полезным для моделирования оказался информационный анализ (рис. 2).

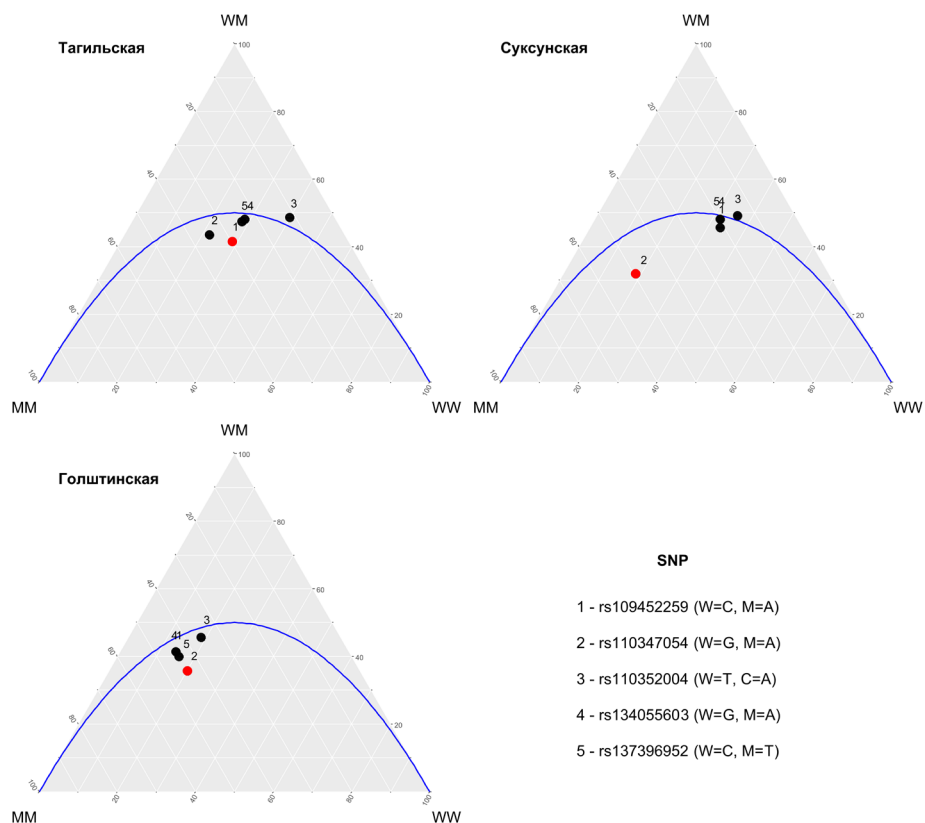


Рис. 1. Соотношение генотипов с предковыми (W) и мутантными (M) аллелями в трёх популяциях коров на диаграммах де Финетти. Синяя кривая – равновесное соотношение по Харди – Вайнбергу; красным отмечены статистически значимые отклонения от равновесия

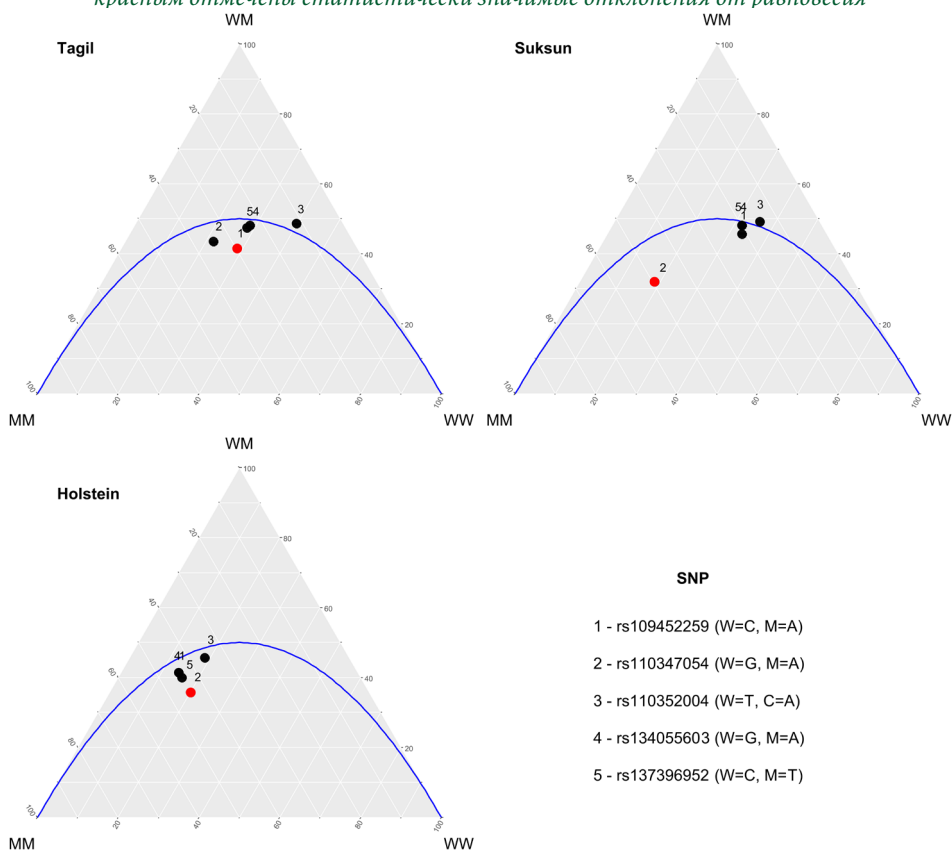


Fig. 1. The ratio of genotypes with ancestral (W) and mutant (M) alleles in three populations of cattle on de Finetti diagrams. The blue curve is the equilibrium ratio according to Hardy – Weinberg; statistically significant deviations from equilibrium are marked in red

## Распределение генотипов и модели наследования в популяции скота тагильской породы для риска развития клинического мастита

Модель (информационный критерий Акаике)	Генотип	Группа риска <i>n</i> = 42	Группа сравнения <i>n</i> = 36	Отношение шансов OR [95 % ДИ]	<i>p</i>
SNP7 / rs109452259 / AC_000163.1:g.88800322C>A					
Кодоминантная (AIC = 107,5)	C/C	16 (38,1 %)	6 (17,1 %)	1	0,099
	C/A	14 (33,3 %)	18 (51,4 %)	0,29 [0,09; 0,94]	
	A/A	12 (28,6 %)	11 (31,4 %)	0,41 [0,12; 1,42]	
Доминантная (AIC = 105,9)	C/C	16 (38,1 %)	6 (17,1 %)	1	0,039
	C/A + A/A	26 (61,9 %)	29 (82,9 %)	<b>0,34 [0,11; 0,99]</b>	
Рецессивная (AIC = 110,0)	C/C + C/A	30 (71,4 %)	24 (68,6 %)	1	0,79
	A/A	12 (28,6 %)	11 (31,4 %)	0,87 [0,33; 2,32]	
Сверхдоминантная (AIC = 107,5)	C/C + A/A	28 (66,7 %)	17 (48,6 %)	1	0,11
	C/A	14 (33,3 %)	18 (51,4 %)	0,47 [0,19; 1,19]	
Лог-аддитивная (AIC = 108,2)	C/C = 0; C/A = 1; A/A = 2			0,66 [0,36; 1,20]	0,17
SNP4 / rs110347054 / NC_037333.1:g.87019468G>A					
Кодоминантная (AIC = 110,4)	G/G	12 (28,6 %)	5 (13,9 %)	1	0,19
	G/A	15 (35,7 %)	19 (52,8 %)	0,33 [0,09; 1,14]	
	A/A	15 (35,7 %)	12 (33,3 %)	0,52 [0,14; 1,89]	
Доминантная (AIC = 109,1)	G/G	12 (28,6 %)	5 (13,9 %)	1	0,11
	G/A+A/A	30 (71,4 %)	31 (86,1 %)	0,40 [0,13; 1,28]	
Рецессивная (AIC = 111,6)	G/G+G/A	27 (64,3 %)	24 (66,7 %)	1	0,83
	A/A	15 (35,7 %)	12 (33,3 %)	1,11 [0,44; 2,84]	
Сверхдоминантная (AIC = 109,4)	G/G+A/A	27 (64,3 %)	17 (47,2 %)	1	0,13
	G/A	15 (35,7 %)	19 (52,8 %)	0,50 [0,20; 1,23]	
Лог-аддитивная (AIC = 111,4)	G/G = 0; G/A = 1; A/A = 2			0,80 [0,44; 1,46]	0,46
SNP9 / rs110352004 / NC_037333.1:g.87213962T>C					
Кодоминантная (AIC = 113,2)	T/T	18 (42,9 %)	13 (36,1 %)	1	0,79
	T/C	19 (45,2 %)	19 (52,8 %)	0,72 [0,28; 1,88]	
	C/C	5 (11,9 %)	4 (11,1 %)	0,90 [0,20; 4,03]	
Доминантная (AIC = 111,3)	T/T	18 (42,9 %)	13 (36,1 %)	1	0,54
	T/C+C/C	24 (57,1 %)	23 (63,9 %)	0,75 [0,30; 1,88]	
Рецессивная (AIC = 111,7)	T/T-T/C	37 (88,1 %)	32 (88,9 %)	1	0,91
	C/C	5 (11,9 %)	4 (11,1 %)	1,08 [0,27; 4,37]	
Сверхдоминантная (AIC = 111,2)	T/T+C/C	23 (54,8 %)	17 (47,2 %)	1	0,51
	T/C	19 (45,2 %)	19 (52,8 %)	0,74 [0,30; 1,81]	
Лог-аддитивная (AIC = 111,5)	T/T = 0; T/C = 1; C/C = 2			0,87 [0,44; 1,72]	0,69
SNP8 / rs134055603 / AC_000163.1:g.88832335G>A					
Кодоминантная (AIC = 106,7)	G/G	10 (23,8 %)	12 (34,3 %)	1	0,065
	G/A	18 (42,9 %)	19 (54,3 %)	1,14 [0,39; 3,28]	
	A/A	14 (33,3 %)	4 (11,4 %)	<b>4,20 [1,04; 16,9]</b>	
Доминантная (AIC = 109,1)	G/G	10 (23,8 %)	12 (34,3 %)	1	0,31
	G/A+A/A	32 (76,2 %)	23 (65,7 %)	1,67 [0,62; 4,52]	
Рецессивная (AIC = 104,7)	G/G+G/A	28 (66,7 %)	31 (88,6 %)	1	0,020
	A/A	14 (33,3 %)	4 (11,4 %)	<b>3,87 [1,14; 13,2]</b>	



Сверхдоминантная (AIC = 109,1)	G/G+A/A	24 (57,1 %)	16 (45,7 %)	1	0,32
	G/A	18 (42,9 %)	19 (54,3 %)	0,63 [0,26; 1,56]	
Лог-аддитивная (AIC = 106,2)	G/G = 0; G/A = 1; G/G = 2			<b>1,91 [0,99; 3,70]</b>	<b>0,047</b>
SNP1 / rs137396952 / AC 000163.1:g.88817457C>T					
Кодоминантная (AIC = 108,9)	C/C	16 (38,1 %)	6 (16,7 %)	1	<b>0,093</b>
	C/T	18 (42,9 %)	19 (52,8 %)	0,36 [0,11; 1,11]	
	T/T	8 (19,1 %)	11 (30,6 %)	0,27 [0,07; 1,01]	
Доминантная (AIC = 107,1)	C/C	16 (38,1 %)	6 (16,7 %)	1	<b>0,033</b>
	C/T+T/T	26 (61,9 %)	30 (83,3 %)	<b>0,33 [0,11; 0,95]</b>	
Рецессивная (AIC = 110,3)	C/C+C/T	34 (81 %)	25 (69,4 %)	1	0,24
	T/T	8 (19,1 %)	11 (30,6 %)	0,53 [0,19; 1,52]	
Сверхдоминантная (AIC = 110,9)	C/C+T/T	24 (57,1 %)	17 (47,2 %)	1	0,38
	C/T	18 (42,9 %)	19 (52,8 %)	0,67 [0,27; 1,64]	
Лог-аддитивная (AIC = 107,6)	C/C = 0; C/T = 1; T/T = 2			0,52 [0,27; 1,00]	<b>0,043</b>

Примечание. Здесь и далее жирным шрифтом выделены эффекты с  $p \leq 0,10$ . Для тагильской породы выборка по rs109452259 (SNP7) и rs134055603 (SNP8) составила  $n = 35$ .

Table 4  
Genotype distribution and inheritance patterns in the Tagil cattle population for the risk of developing clinical mastitis

Model (Akaike information criterion)	Genotype	Risk group $n = 42$	Control group $n = 36$	Odds Ratio [95 % C. I.]	P
SNP7 / rs109452259 / AC 000163.1:g.88800322C>A					
Codominant (AIC = 107.5)	C/C	16 (38.1 %)	6 (17.1 %)	1	0.099
	C/A	14 (33.3 %)	18 (51.4 %)	0.29 [0.09; 0.94]	
	A/A	12 (28.6 %)	11 (31.4 %)	0.41 [0.12; 1.42]	
Dominant (AIC = 105.9)	C/C	16 (38.1 %)	6 (17.1 %)	1	<b>0.039</b>
	C/A+A/A	26 (61.9 %)	29 (82.9 %)	<b>0.34 [0.11; 0.99]</b>	
Recessive (AIC = 110.0)	C/C+C/A	30 (71.4 %)	24 (68.6 %)	1	0.79
	A/A	12 (28.6 %)	11 (31.4 %)	0.87 [0.33; 2.32]	
Overdominant (AIC = 107.5)	C/C+A/A	28 (66.7 %)	17 (48.6 %)	1	0.11
	C/A	14 (33.3 %)	18 (51.4 %)	0.47 [0.19; 1.19]	
Log-additive (AIC = 108.2)	C/C = 0; C/A = 1; A/A = 2			0.66 [0.36; 1.20]	0.17
SNP4 / rs110347054 / NC 037333.1:g.87019468G>A					
Codominant (AIC = 110.4)	G/G	12 (28.6 %)	5 (13.9 %)	1	0.19
	G/A	15 (35.7 %)	19 (52.8 %)	0.33 [0.09; 1.14]	
	A/A	15 (35.7 %)	12 (33.3 %)	0.52 [0.14; 1.89]	
Dominant (AIC = 109.1)	G/G	12 (28.6 %)	5 (13.9 %)	1	0.11
	G/A+A/A	30 (71.4 %)	31 (86.1 %)	0.40 [0.13; 1.28]	
Recessive (AIC = 111.6)	G/G+G/A	27 (64.3 %)	24 (66.7 %)	1	0.83
	A/A	15 (35.7 %)	12 (33.3 %)	1.11 [0.44; 2.84]	
Overdominant (AIC = 109.4)	G/G+A/A	27 (64.3 %)	17 (47.2 %)	1	0.13
	G/A	15 (35.7 %)	19 (52.8 %)	0.50 [0.20; 1.23]	
Log-additive (AIC = 111.4)	G/G = 0; G/A = 1; A/A = 2			0.80 [0.44; 1.46]	0.46
SNP9 / rs110352004 / NC 037333.1:g.87213962T>C					
Codominant (AIC = 113.2)	T/T	18 (42.9 %)	13 (36.1 %)	1	0.79
	T/C	19 (45.2 %)	19 (52.8 %)	0.72 [0.28; 1.88]	
	C/C	5 (11.9 %)	4 (11.1 %)	0.90 [0.20; 4.03]	
Dominant (AIC = 111.3)	T/T	18 (42.9 %)	13 (36.1 %)	1	0.54
	T/C+C/C	24 (57.1 %)	23 (63.9 %)	0.75 [0.30; 1.88]	

Recessive (AIC = 111.7)	T/T-T/C	37 (88.1 %)	32 (88.9 %)	1	0.91
	C/C	5 (11.9 %)	4 (11.1 %)	1.08 [0.27; 4.37]	
Overdominant (AIC = 111.2)	T/T+C/C	23 (54.8 %)	17 (47.2 %)	1	0.51
	T/C	19 (45.2 %)	19 (52.8 %)	0.74 [0.30; 1.81]	
Log-additive (AIC = 111.5)	T/T = 0; T/C = 1; C/C = 2			0.87 [0.44; 1.72]	0.69
SNP8 / rs134055603 / AC 000163.1:g.88832335G>A					
Codominant (AIC = 106.7)	G/G	10 (23.8 %)	12 (34.3 %)	1	0.065
	G/A	18 (42.9 %)	19 (54.3 %)	1.14 [0.39; 3.28]	
	A/A	14 (33.3 %)	4 (11.4 %)	<b>4.20 [1.04; 16.9]</b>	
Dominant (AIC = 109.1)	G/G	10 (23.8 %)	12 (34.3 %)	1	0.31
	G/A+A/A	32 (76.2 %)	23 (65.7 %)	1.67 [0.62; 4.52]	
Recessive (AIC = 104.7)	G/G+G/A	28 (66.7 %)	31 (88.6 %)	1	0.020
	A/A	14 (33.3 %)	4 (11.4 %)	<b>3.87 [1.14; 13.2]</b>	
Overdominant (AIC = 109.1)	G/G+A/A	24 (57.1 %)	16 (45.7 %)	1	0.32
	G/A	18 (42.9 %)	19 (54.3 %)	0.63 [0.26; 1.56]	
Log-additive (AIC = 106.2)	G/G = 0; G/A = 1; G/G = 2			<b>1.91 [0.99; 3.70]</b>	<b>0.047</b>
SNP1 / rs137396952 / AC 000163.1:g.88817457C>T					
Codominant (AIC = 108.9)	C/C	16 (38.1 %)	6 (16.7 %)	1	0.093
	C/T	18 (42.9 %)	19 (52.8 %)	0.36 [0.11; 1.11]	
	T/T	8 (19.1 %)	11 (30.6 %)	0.27 [0.07; 1.01]	
Dominant (AIC = 107.1)	C/C	16 (38.1 %)	6 (16.7 %)	1	0.033
	C/T+T/T	26 (61.9 %)	30 (83.3 %)	<b>0.33 [0.11; 0.95]</b>	
Recessive (AIC = 110.3)	C/C+C/T	34 (81 %)	25 (69.4 %)	1	0.24
	T/T	8 (19.1 %)	11 (30.6 %)	0.53 [0.19; 1.52]	
Overdominant (AIC = 110.9)	C/C+T/T	24 (57.1 %)	17 (47.2 %)	1	0.38
	C/T	18 (42.9 %)	19 (52.8 %)	0.67 [0.27; 1.64]	
Log-additive (AIC = 107.6)	C/C = 0; C/T = 1; T/T = 2			0.52 [0.27; 1.00]	<b>0.043</b>

Note. From here on, effects with  $p \leq 0.10$  are in bold. For the Tagil breed, the sample for rs109452259 (SNP7) and rs134055603 (SNP8) was  $n = 35$ .

Таблица 5

**Распределение генотипов и модели наследования в популяции крупного рогатого скота суксунской породы для риска развития клинического мастита**

Модель (информационный критерий Акаике)	Генотип	Группа риска $n = 24$	Группа сравнения $n = 57$	Отношение шансов OR [95 % ДИ]	$p$
SNP7 / rs109452259 / AC 000163.1:g.88800322C>A					
Кодоминантная (AIC = 98,6)	C/C	12 (50,0 %)	15 (26,3 %)	1	0,054
	C/A	10 (41,7 %)	27 (47,4 %)	0,46 [0,16; 1,32]	
	A/A	2 (8,3 %)	15 (26,3 %)	<b>0,17 [0,03; 0,88]</b>	
Доминантная (AIC = 98,3)	C/C	12 (50,0 %)	15 (26,3 %)	1	0,042
	C/A+A/A	12 (50,0 %)	42 (73,7 %)	<b>0,36 [0,13; 0,96]</b>	
Рецессивная (AIC = 98,7)	C/C+C/A	22 (91,7 %)	42 (73,7 %)	1	0,052
	A/A	2 (8,3 %)	15 (26,3 %)	0,25 [0,05; 1,21]	
Сверхдоминантная (AIC = 102,2)	C/C+A/A	14 (58,3 %)	30 (52,6 %)	1	0,64
	C/A	10 (41,7 %)	27 (47,4 %)	0,79 [0,30; 2,08]	
Лог-аддитивная (AIC = 96,6)	C/C = 0; C/A = 1; A/A = 2			<b>0,42 [0,20; 0,88]</b>	<b>0,016</b>
SNP4 / rs110347054 / NC 037333.1:g.87019468G>A					
Кодоминантная (AIC = 103,6)	G/G	3 (12,5 %)	12 (21,1 %)	1	0,64
	G/A	8 (33,3 %)	18 (31,6 %)	1,78 [0,39; 8,09]	
	A/A	13 (54,2 %)	27 (47,4 %)	1,93 [0,46; 8,03]	
Доминантная (AIC = 101,6)	G/G	3 (12,5 %)	12 (21,1 %)	1	0,35
	G/A+A/A	21 (87,5 %)	45 (79 %)	1,87 [0,48; 7,32]	

Рецессивная (AIC = 102,1)	G/G+G/A	11 (45,8 %)	30 (52,6 %)	1	0,58
	A/A	13 (54,2 %)	27 (47,4 %)	1,31 [0,50; 3,42]	
Сверхдоминантная (AIC = 102,4)	G/G+A/A	16 (66,7 %)	39 (68,4 %)	1	0,88
	G/A	8 (33,3 %)	18 (31,6 %)	1,08 [0,39; 2,99]	
Лог-аддитивная (AIC = 101,8)	G/G = 0; G/A = 1; A/A = 2			1,31 [0,69; 2,51]	0,40
SNP9 / rs110352004 / NC_037333.1:g.87213962T>C					
Кодоминантная (AIC = 102,6)	T/T	9 (37,5 %)	16 (28,1 %)	1	0,40
	T/C	10 (41,7 %)	33 (57,9 %)	0,54 [0,18; 1,59]	
	C/C	5 (20,8 %)	8 (14 %)	1,11 [0,28; 4,43]	
Доминантная (AIC = 101,8)	T/T	9 (37,5 %)	16 (28,1 %)	1	0,41
	T/C+C/C	15 (62,5 %)	41 (71,9 %)	0,65 [0,24; 1,78]	
Рецессивная (AIC = 101,9)	T/T-T/C	19 (79,2 %)	49 (86 %)	1	0,46
	C/C	5 (20,8 %)	8 (14 %)	1,61 [0,47; 5,55]	
Сверхдоминантная (AIC = 100,7)	T/T+C/C	14 (58,3 %)	24 (42,1 %)	1	0,18
	T/C	10 (41,7 %)	33 (57,9 %)	0,52 [0,20; 1,37]	
Лог-аддитивная (AIC = 102,4)	T/T = 0; T/C = 1; C/C = 2			0,94 [0,46; 1,93]	0,87
SNP8 / rs134055603 / AC_000163.1:g.88832335G>A					
Кодоминантная (AIC = 99,9)	G/G	11 (45,8 %)	15 (26,3 %)	1	0,10
	G/A	11 (45,8 %)	28 (49,1 %)	0,54 [0,19; 1,52]	
	A/A	2 (8,3 %)	14 (24,6 %)	0,19 [0,04; 1,04]	
Доминантная (AIC = 99,6)	G/G	11 (45,8 %)	15 (26,3 %)	1	0,090
	G/A+A/A	13 (54,2 %)	42 (73,7 %)	0,42 [0,16; 1,14]	
Рецессивная (AIC = 99,3)	G/G+G/A	22 (91,7 %)	43 (75,4 %)	1	0,074
	A/A	2 (8,3 %)	14 (24,6 %)	0,28 [0,06; 1,34]	
Сверхдоминантная (AIC = 102,4)	G/G+A/A	13 (54,2 %)	29 (50,9 %)	1	0,79
	G/A	11 (45,8 %)	28 (49,1 %)	0,88 [0,34; 2,28]	
Лог-аддитивная (AIC = 98,0)	G/G = 0; G/A = 1; G/G = 2			0,47 [0,23; 0,98]	0,035
SNP1 / rs137396952 / AC_000163.1:g.88817457C>T					
Кодоминантная (AIC = 99,9)	C/C	11 (45,8 %)	15 (26,3 %)	1	0,10
	C/T	11 (45,8 %)	28 (49,1 %)	0,54 [0,19; 1,52]	
	T/T	2 (8,3 %)	14 (24,6 %)	0,19 [0,04; 1,04]	
Доминантная (AIC = 99,6)	C/C	11 (45,8 %)	15 (26,3 %)	1	0,090
	C/T+T/T	13 (54,2 %)	42 (73,7 %)	0,42 [0,16; 1,14]	
Рецессивная (AIC = 99,3)	C/C+C/T	22 (91,7 %)	43 (75,4 %)	1	0,074
	T/T	2 (8,3 %)	14 (24,6 %)	0,28 [0,06; 1,34]	
Сверхдоминантная (AIC = 102,4)	C/C+T/T	13 (54,2 %)	29 (50,9 %)	1	0,79
	C/T	11 (45,8 %)	28 (49,1 %)	0,88 [0,34; 2,28]	
Лог-аддитивная (AIC = 98,0)	C/C = 0; C/T = 1; T/T = 2			0,47 [0,23; 0,98]	0,035

Table 5  
Genotype distribution and inheritance patterns in the Suksun cattle population for the risk of developing clinical mastitis

Model (Akaike information criterion)	Genotype	Risk group n = 24	Control group n = 57	Odds Ration [95 % C.I.]	P
SNP7 / rs109452259 / AC_000163.1:g.88800322C>A					
Codominant (AIC = 98,6)	C/C	12 (50.0 %)	15 (26.3 %)	1	0,054
	C/A	10 (41.7 %)	27 (47.4 %)	0.46 [0.16; 1.32]	
	A/A	2 (8.3 %)	15 (26.3 %)	0.17 [0.03; 0.88]	
Dominant (AIC = 98,3)	C/C	12 (50.0 %)	15 (26.3 %)	1	0,042
	C/A+A/A	12 (50.0 %)	42 (73.7 %)	0.36 [0.13; 0.96]	

Recessive (AIC = 98.7)	C/C+C/A	22 (91.7 %)	42 (73.7 %)	1	0.052
	A/A	2 (8.3 %)	15 (26.3 %)	0.25 [0.05; 1.21]	
Overdominant (AIC = 102.2)	C/C+A/A	14 (58.3 %)	30 (52.6 %)	1	0.64
	C/A	10 (41.7 %)	27 (47.4 %)	0.79 [0.30; 2.08]	
Log-additive (AIC = 96.6)	C/C = 0; C/A = 1; A/A = 2			0.42 [0.20; 0.88]	0.016
SNP4 / rs110347054 / NC_037333.1:g.87019468G>A					
Codominant (AIC = 103.6)	G/G	3 (12.5 %)	12 (21.1 %)	1	0.64
	G/A	8 (33.3 %)	18 (31.6 %)	1.78 [0.39; 8.09]	
	A/A	13 (54.2 %)	27 (47.4 %)	1.93 [0.46; 8.03]	
Dominant (AIC = 101.6)	G/G	3 (12.5 %)	12 (21.1 %)	1	0.35
	G/A+A/A	21 (87.5 %)	45 (79 %)	1.87 [0.48; 7.32]	
Recessive (AIC = 102.1)	G/G+G/A	11 (45.8 %)	30 (52.6 %)	1	0.58
	A/A	13 (54.2 %)	27 (47.4 %)	1.31 [0.50; 3.42]	
Overdominant (AIC = 102.4)	G/G+A/A	16 (66.7 %)	39 (68.4 %)	1	0.88
	G/A	8 (33.3 %)	18 (31.6 %)	1.08 [0.39; 2.99]	
Log-additive (AIC = 101.8)	G/G = 0; G/A = 1; A/A = 2			1,31 [0.69; 2.51]	0.40
SNP9 / rs110352004 / NC_037333.1:g.87213962T>C					
Codominant (AIC = 102.6)	T/T	9 (37.5 %)	16 (28.1 %)	1	0.40
	T/C	10 (41.7 %)	33 (57.9 %)	0.54 [0.18; 1.59]	
	C/C	5 (20.8 %)	8 (14 %)	1.11 [0.28; 4.43]	
Dominant (AIC = 101.8)	T/T	9 (37.5 %)	16 (28.1 %)	1	0.41
	T/C+C/C	15 (62.5 %)	41 (71.9 %)	0.65 [0.24; 1.78]	
Recessive (AIC = 101.9)	T/T-T/C	19 (79.2 %)	49 (86 %)	1	0.46
	C/C	5 (20.8 %)	8 (14 %)	1.61 [0.47; 5.55]	
Overdominant (AIC = 100.7)	T/T+C/C	14 (58.3 %)	24 (42.1 %)	1	0.18
	T/C	10 (41.7 %)	33 (57.9 %)	0.52 [0.20; 1.37]	
Log-additive (AIC = 102.4)	T/T = 0; T/C = 1; C/C = 2			0.94 [0.46; 1.93]	0.87
SNP8 / rs134055603 / AC_000163.1:g.88832335G>A					
Codominant (AIC = 99.9)	G/G	11 (45.8 %)	15 (26.3 %)	1	0.10
	G/A	11 (45.8 %)	28 (49.1 %)	0.54 [0.19; 1.52]	
	A/A	2 (8.3 %)	14 (24.6 %)	0.19 [0.04; 1.04]	
Dominant (AIC = 99.6)	G/G	11 (45.8 %)	15 (26.3 %)	1	0.090
	G/A+A/A	13 (54.2 %)	42 (73.7 %)	0.42 [0.16; 1.14]	
Recessive (AIC = 99.3)	G/G+G/A	22 (91.7 %)	43 (75.4 %)	1	0.074
	A/A	2 (8.3 %)	14 (24.6 %)	0.28 [0.06; 1.34]	
Overdominant (AIC = 102.4)	G/G+A/A	13 (54.2 %)	29 (50.9 %)	1	0.79
	G/A	11 (45.8 %)	28 (49.1 %)	0.88 [0.34; 2.28]	
Log-additive (AIC = 98.0)	G/G = 0; G/A = 1; G/G = 2			0.47 [0.23; 0.98]	0.035
SNP1 / rs137396952 / AC_000163.1:g.88817457C>T					
Codominant (AIC = 99.9)	C/C	11 (45.8 %)	15 (26.3 %)	1	0.10
	C/T	11 (45.8 %)	28 (49.1 %)	0.54 [0.19; 1.52]	
	T/T	2 (8.3 %)	14 (24.6 %)	0.19 [0.04; 1.04]	
Dominant (AIC = 99.6)	C/C	11 (45.8 %)	15 (26.3 %)	1	0.090
	C/T+T/T	13 (54.2 %)	42 (73.7 %)	0.42 [0.16; 1.14]	
Recessive (AIC = 99.3)	C/C+C/T	22 (91.7 %)	43 (75.4 %)	1	0.074
	T/T	2 (8.3 %)	14 (24.6 %)	0.28 [0.06; 1.34]	
Overdominant (AIC = 102.4)	C/C+T/T	13 (54.2 %)	29 (50.9 %)	1	0.79
	C/T	11 (45.8 %)	28 (49.1 %)	0.88 [0.34; 2.28]	
Log-additive (AIC = 98.0)	C/C = 0; C/T = 1; T/T = 2			0,47 [0.23; 0.98]	0.035



Таблица 6

Распределение аллелей, генотипов и модели наследования в популяции крупного рогатого скота голштинской породы для риска развития клинического мастита

Биология и биотехнологии

Модель (информационный критерий Акаике)	Генотип	Группа риска <i>n</i> = 35	Группа сравнения <i>n</i> = 35	Отношение шансов <i>OR</i> [95 % ДИ]	<i>p</i>
SNP7 / rs109452259 / AC_000163.1:g.88800322C>A					
Кодоминантная (AIC = 102,6)	C/C	4 (11,4 %)	6 (17,1 %)	1	0,79
	C/A	15 (42,9 %)	14 (40,0 %)	1,61 [0,37; 6,92]	
	A/A	16 (45,7 %)	15 (42,9 %)	1,60 [0,38; 6,81]	
Доминантная (AIC = 100,6)	C/C	4 (11,4 %)	6 (17,1 %)	1	0,49
	C/A+A/A	31 (88,6 %)	29 (82,9 %)	1,60 [0,41; 6,26]	
Рецессивная (AIC = 101,0)	C/C+C/A	19 (54,3 %)	20 (57,1 %)	1	0,81
	A/A	16 (45,7 %)	15 (42,9 %)	1,12 [0,44; 2,88]	
Сверхдоминантная (AIC = 101,0)	C/C+A/A	20 (57,1 %)	21 (60,0 %)	1	0,81
	C/A	15 (42,9 %)	14 (40,0 %)	1,12 [0,43; 2,91]	
Лог-аддитивная (AIC = 100,8)	C/C = 0; C/A = 1; A/A = 2			1,19 [0,61; 2,32]	0,61
SNP4 / rs110347054 / NC_037333.1:g.87019468G>A					
Кодоминантная (AIC = 101,2)	G/G	7 (20 %)	7 (20 %)	1	0,4
	G/A	10 (28,6 %)	15 (42,9 %)	0,67 [0,18; 2,49]	
	A/A	18 (51,4 %)	13 (37,1 %)	1,38 [0,39; 4,92]	
Доминантная (AIC = 101,0)	G/G	7 (20 %)	7 (20 %)	1	> 0,99
	G/A+A/A	28 (80 %)	28 (80 %)	1,00 [0,31; 3,23]	
Рецессивная (AIC = 99,6)	G/G+G/A	17 (48,6 %)	22 (62,9 %)	1	0,23
	A/A	18 (51,4 %)	13 (37,1 %)	1,79 [0,69; 4,65]	
Сверхдоминантная (AIC = 99,5)	G/G+A/A	25 (71,4 %)	20 (57,1 %)	1	0,21
	G/A	10 (28,6 %)	15 (42,9 %)	0,53 [0,20; 1,44]	
Лог-аддитивная (AIC = 100,4)	G/G = 0; G/A = 1; A/A = 2			1,28 [0,69; 2,37]	0,43
SNP9 / rs110352004 / NC_037333.1:g.87213962T>C					
Кодоминантная (AIC = 102,1)	T/T	6 (17,1 %)	7 (20 %)	1	0,63
	T/C	18 (51,4 %)	14 (40 %)	1,50 [0,41; 5,48]	
	C/C	11 (31,4 %)	14 (40 %)	0,92 [0,24; 3,52]	
Доминантная (AIC = 100,9)	T/T	6 (17,1 %)	7 (20 %)	1	0,76
	T/C+C/C	29 (82,9 %)	28 (80 %)	1,21 [0,36; 4,04]	
Рецессивная (AIC = 100,5)	T/T-T/C	24 (68,6 %)	21 (60 %)	1	0,45
	C/C	11 (31,4 %)	14 (40 %)	0,69 [0,26; 1,84]	
Сверхдоминантная (AIC = 100,1)	T/T+C/C	17 (48,6 %)	21 (60 %)	1	0,34
	T/C	18 (51,4 %)	14 (40 %)	1,59 [0,62; 4,09]	
Лог-аддитивная (AIC = 100,9)	T/T = 0; T/C = 1; C/C = 2			0,89 [0,46; 1,72]	0,74
SNP8 / rs134055603 / AC_000163.1:g.88832335G>A					
Кодоминантная (AIC = 102,6)	G/G	4 (11,4 %)	6 (17,1 %)	1	0,79
	G/A	15 (42,9 %)	14 (40,0 %)	1,61 [0,37; 6,92]	
	A/A	16 (45,7 %)	15 (42,9 %)	1,60 [0,38; 6,81]	
Доминантная (AIC = 100,6)	G/G	4 (11,4 %)	6 (17,1 %)	1	0,49
	G/A+A/A	31 (88,6 %)	29 (82,9 %)	1,60 [0,41; 6,26]	
Рецессивная (AIC = 101,0)	G/G+G/A	19 (54,3 %)	20 (57,1 %)	1	0,81
	A/A	16 (45,7 %)	15 (42,9 %)	1,12 [0,44; 2,88]	
Сверхдоминантная (AIC = 101,0)	G/G+A/A	20 (57,1 %)	21 (60,0 %)	1	0,81
	G/A	15 (42,9 %)	14 (40,0 %)	1,12 [0,43; 2,91]	
Лог-аддитивная (AIC = 100,8)	G/G = 0; G/A = 1; G/G = 2			1,19 [0,61; 2,32]	0,61

SNP1 / rs137396952 / AC 000163.1:g.88817457C>T					
Кодоминантная (AIC = 102,0)	C/C	4 (11,4 %)	7 (20,0 %)	1	0,61
	C/T	15 (42,9 %)	13 (37,1 %)	2,02 [0,48; 8,48]	
	T/T	16 (45,7 %)	15 (42,9 %)	1,87 [0,45; 7,69]	
Доминантная (AIC = 100,1)	C/C	4 (11,4 %)	7 (20,0 %)	1	0,32
	C/T+T/T	31 (88,6 %)	28 (80,0 %)	1,94 [0,51; 7,73]	
Рецессивная (AIC = 101,0)	C/C+C/T	19 (54,3 %)	20 (57,1 %)	1	0,81
	T/T	16 (45,7 %)	15 (42,9 %)	1,12 [0,44; 2,88]	
Сверхдоминантная (AIC = 100,8)	C/C+T/T	20 (57,1 %)	22 (62,9 %)	1	0,63
	C/T	15 (42,9 %)	13 (37,1 %)	1,27 [0,49; 3,31]	
Лог-аддитивная (AIC = 100,6)	C/C = 0; C/T = 1; T/T = 2			1,25 [0,65; 2,40]	0,51

Table 6  
Genotype distribution and inheritance patterns in the Holstein cattle population  
for the risk of developing clinical mastitis

Model (Akaike information criterion)	Genotype	Risk group n = 35	Control group n = 35	Odds Ratio [95 % C.I.]	P
SNP7 / rs109452259 / AC 000163.1:g.88800322C>A					
Codominant (AIC = 102.6)	C/C	4 (11.4 %)	6 (17.1 %)	1	0.79
	C/A	15 (42.9 %)	14 (40.0 %)	1.61 [0.37; 6.92]	
	A/A	16 (45.7 %)	15 (42.9 %)	1.60 [0.38; 6.81]	
Dominant (AIC = 100.6)	C/C	4 (11.4 %)	6 (17.1 %)	1	0.49
	C/A+A/A	31 (88.6 %)	29 (82.9 %)	1.60 [0.41; 6.26]	
Recessive (AIC = 101.0)	C/C+C/A	19 (54.3 %)	20 (57.1 %)	1	0.81
	A/A	16 (45.7 %)	15 (42.9 %)	1.12 [0.44; 2.88]	
Overdominant (AIC = 101.0)	C/C+A/A	20 (57.1 %)	21 (60.0 %)	1	0.81
	C/A	15 (42.9 %)	14 (40.0 %)	1.12 [0.43; 2.91]	
Log-additive (AIC = 100.8)	C/C = 0; C/A = 1; A/A = 2			1.19 [0.61; 2.32]	0.61
SNP4 / rs110347054 / NC 037333.1:g.87019468G>A					
Codominant (AIC = 101.2)	G/G	7 (20 %)	7 (20 %)	1	0.4
	G/A	10 (28.6 %)	15 (42.9 %)	0.67 [0.18; 2.49]	
	A/A	18 (51.4 %)	13 (37.1 %)	1.38 [0.39; 4.92]	
Dominant (AIC = 101.0)	G/G	7 (20 %)	7 (20 %)	1	> 0.99
	G/A+A/A	28 (80 %)	28 (80 %)	1.00 [0.31; 3.23]	
Recessive (AIC = 99.6)	G/G+G/A	17 (48.6 %)	22 (62.9 %)	1	0.23
	A/A	18 (51.4 %)	13 (37.1 %)	1.79 [0.69; 4.65]	
Overdominant (AIC = 99.5)	G/G+A/A	25 (71.4 %)	20 (57.1 %)	1	0.21
	G/A	10 (28.6 %)	15 (42.9 %)	0.53 [0.20; 1.44]	
Log-additive (AIC = 100.4)	G/G = 0; G/A = 1; A/A = 2			1.28 [0.69; 2.37]	0.43
SNP9 / rs110352004 / NC 037333.1:g.87213962T>C					
Codominant (AIC = 102.1)	T/T	6 (17.1 %)	7 (20 %)	1	0.63
	T/C	18 (51.4 %)	14 (40 %)	1.50 [0.41; 5.48]	
	C/C	11 (31.4 %)	14 (40 %)	0.92 [0.24; 3.52]	
Dominant (AIC = 100.9)	T/T	6 (17.1 %)	7 (20 %)	1	0.76
	T/C+C/C	29 (82.9 %)	28 (80 %)	1.21 [0.36; 4.04]	
Recessive (AIC = 100.5)	T/T-T/C	24 (68.6 %)	21 (60 %)	1	0.45
	C/C	11 (31.4 %)	14 (40 %)	0.69 [0.26; 1.84]	
Overdominant (AIC = 100.1)	T/T+C/C	17 (48.6 %)	21 (60 %)	1	0.34
	T/C	18 (51.4 %)	14 (40 %)	1.59 [0.62; 4.09]	

<i>Log-additive</i> (AIC = 100.9)	$T/T = 0; T/C = 1; C/C = 2$			0.89 [0.46; 1.72]	0.74
<i>SNP8 / rs134055603 / AC 000163.1:g.88832335G&gt;A</i>					
<i>Codominant</i> (AIC = 102.6)	G/G	4 (11.4 %)	6 (17.1 %)	1	0.79
	G/A	15 (42.9 %)	14 (40.0 %)	1.61 [0.37; 6.92]	
	A/A	16 (45.7 %)	15 (42.9 %)	1.60 [0.38; 6.81]	
<i>Dominant</i> (AIC = 100.6)	G/G	4 (11.4 %)	6 (17.1 %)	1	0.49
	G/A+A/A	31 (88.6 %)	29 (82.9 %)	1.60 [0.41; 6.26]	
<i>Recessive</i> (AIC = 101.0)	G/G+G/A	19 (54.3 %)	20 (57.1 %)	1	0.81
	A/A	16 (45.7 %)	15 (42.9 %)	1.12 [0.44; 2.88]	
<i>Overdominant</i> (AIC = 101.0)	G/G+A/A	20 (57.1 %)	21 (60.0 %)	1	0.81
	G/A	15 (42.9 %)	14 (40.0 %)	1.12 [0.43; 2.91]	
<i>Log-additive</i> (AIC = 100.8)	$G/G = 0; G/A = 1; G/G = 2$			1.19 [0.61; 2.32]	0.61
<i>SNP1 / rs137396952 / AC 000163.1:g.88817457C&gt;T</i>					
<i>Codominant</i> (AIC = 102.0)	C/C	4 (11.4 %)	7 (20.0 %)	1	0.61
	C/T	15 (42.9 %)	13 (37.1 %)	2.02 [0.48; 8.48]	
	T/T	16 (45.7 %)	15 (42.9 %)	1.87 [0.45; 7.69]	
<i>Dominant</i> (AIC = 100.1)	C/C	4 (11.4 %)	7 (20.0 %)	1	0.32
	C/T+T/T	31 (88.6 %)	28 (80.0 %)	1.94 [0.51; 7.73]	
<i>Recessive</i> (AIC = 101.0)	C/C+C/T	19 (54.3 %)	20 (57.1 %)	1	0.81
	T/T	16 (45.7 %)	15 (42.9 %)	1.12 [0.44; 2.88]	
<i>Overdominant</i> (AIC = 100.8)	C/C+T/T	20 (57.1 %)	22 (62.9 %)	1	0.63
	C/T	15 (42.9 %)	13 (37.1 %)	1.27 [0.49; 3.31]	
<i>Log-additive</i> (AIC = 100.6)	$C/C = 0; C/T = 1; T/T = 2$			1.25 [0.65; 2.40]	0.51

Рассмотрим логику построения модели на примере информационного анализа связи генотипа и фенотипа тагильской породы. Для выбора самых информативных показателей нужно учесть вклад в общую энтропию системы как вершин графа (в нашем случае – SNPs), так и его ребер (взаимодействие SNPs). Наибольший вклад в энтропию (в %) вносят 3 SNPs, которые дали статистически значимые модели на предыдущем этапе. SNP8 (здесь и далее используется кодировка, представленная на рис. 2) имеет наибольший вклад как самостоятельный элемент (5,11 %), а также образует 3 сильных взаимодействия с другими SNPs, сопоставимых по важности с ролью самих SNPs: 3,13 % с SNP9, –2,37 % с SNP4 и 2,04 % с SNP7. Поэтому SNP8 обязательно должен входить в итоговую модель. Вклад SNP4 и SNP9 существенно меньше. Поясним, что положительный вклад ребер обозначен на графе энтропии красным цветом, что в терминах информационного анализа соответствует эффекту синергизма, а с генетической точки зрения указывает на неадди-

тивное взаимодействие генов, когда их совместный эффект не является простой суммой действий каждого в отдельности. Направление такого взаимодействия – усиление или ослабление эффекта – не отображается в информационном анализе и при необходимости моделируется отдельно (например, средствами пакета SNPassoc для среды R, который является более современным аналогом SNPstats) [43]. Отрицательный вклад ребер обозначен синим цветом и указывает на избыточность информации о двух соединяемых вершинах. С генетической точки зрения это означает, что информации об одном полиморфизме достаточно для описания системы. Добавление второго полиморфизма, по сути, только дублирует информацию о первом, что может указывать либо на сцепленное наследование и невозможность разделения эффектов двух локусов, либо на их участие в одном и том же биохимическом пути «ген – признак». Отметим также, что с точки зрения полноты содержащейся в модели информации важнее учесть синергетические эффекты, тогда как

избыточность повышает устойчивость модели, что на практике обеспечивает хорошую воспроизводимость модели в кросс-проверке. Аналогично приходим к выводам о необходимости включения в модель SNP7 и SNP1 и об отсутствии пользы от включения в нее SNP4 (невысокий собственный вклад и отсутствие синергизма с другими SNPs). Ситуация с SNP9 неоднозначная: имеется взаимодействие с двумя наиболее сильными SNP6 и SNP1, но собственный вклад минимален (0,64 %). Поэтому нами было построено 2 модели, из которых модель без SNP9 демонстрировала лучшую диагностическую

эффективность; ее характеристики приводятся в таблице 7, а решающие правила – в таблице 8.

Анализ информативности SNPs для суксунской породы привел к выбору точно тех же трех вариантов, что и для тагильской, которые показали статистически значимые эффекты в лог-аддитивных моделях на предыдущем этапе. Для голштинской породы в итоговую модель целесообразно включать только rs110347054 и rs110352004 с сильным неаддитивным эффектом, который превосходил по силе вклад полиморфизмов по отдельности: 4,63 % против 1,87 и 0,97 % (см. рис. 2).

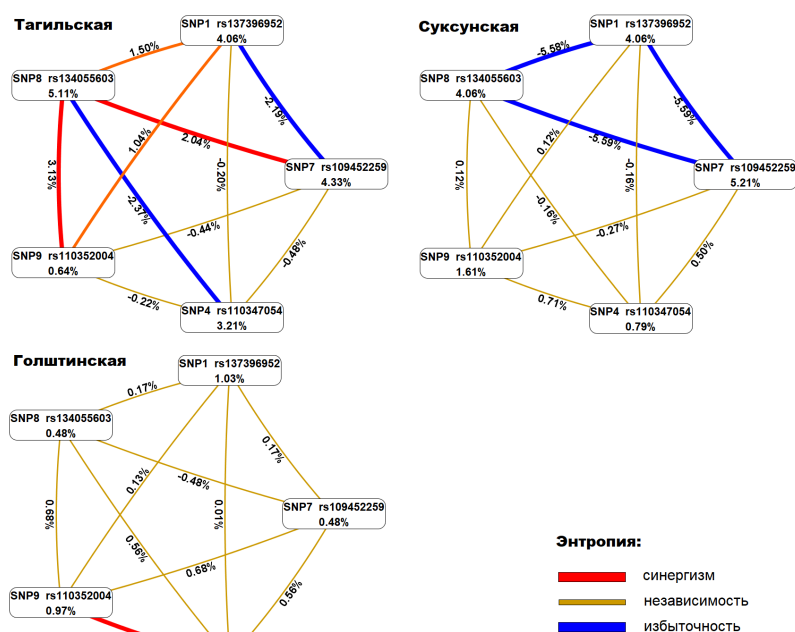


Рис. 2. Графы энтропии для оценки вклада локусов и их взаимодействий в риск развития мастита для коров разных пород

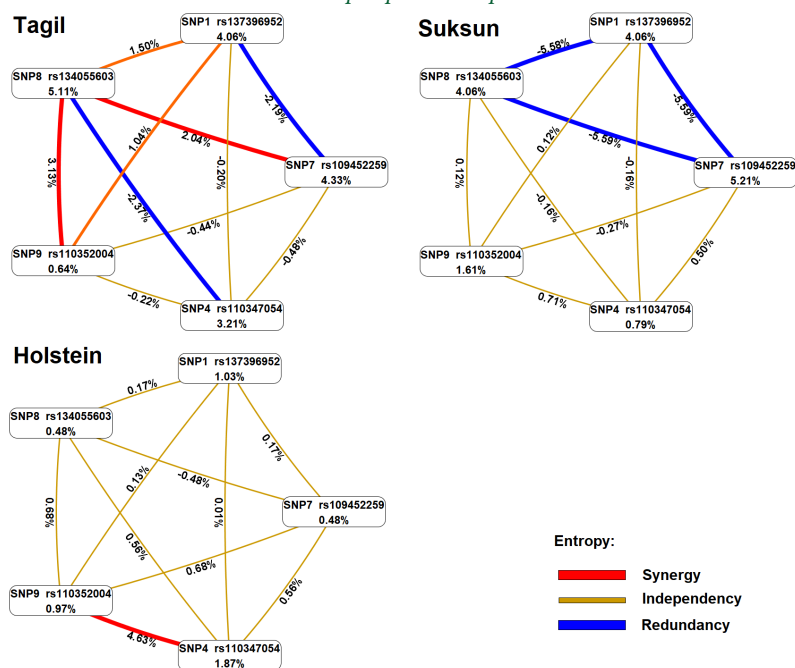


Fig. 2. Entropy graphs for assessing the contribution of loci and their interactions to the risk of developing mastitis for cows of different breeds



Таблица 7

Характеристика моделей прогноза развития клинического мастита у коров разных пород по результатам MDR-анализа

Модель	Чувствительность, % [95 % ДИ] Специфичность, % [95 % ДИ] Диагностическая эффективность	Отношение шансов OR [95 % ДИ]	Значимость модели	Надежность модели в кросс-проверке
Тагильская порода				
SNP7 / rs109452259	71,4 [56,7; 83,3]	6,25 [2,31; 16,9]	$\chi^2 = 14,05$ $p < 0,001$	10/10
SNP8 / rs134055603	71,4 [55,2; 84,3]			
SNP1 / rs137396952	71,4			
Суксунская порода				
SNP7 / rs109452259	50,0 [31,0; 69,0]	2,80 [1,04; 7,56]	$\chi^2 = 4,26$ $p = 0,039$	10/10
SNP8 / rs134055603	73,7 [61,3; 83,7]			
SNP1 / rs137396952	61,9			
Голштинская порода				
SNP4 / rs110347054	85,7 [71,5; 94,3]	4,50 [1,41; 14,3]	$\chi^2 = 7,00$ $p = 0,008$	10/10
SNP9 / rs110352004	42,9 [27,6; 59,3]			
	64,3			

Биология и биотехнологии

Table 7

Characteristics of models for predicting the development of clinical mastitis in cows of different breeds based on the results of MDR analysis

Model	Sensitivity, % [95 % C. I.] Specificity, % [95 % C. I.] Diagnostic efficacy	Odds Ratio [95 % C. I.]	Significance of a model	Model's reliability in cross-validation
Tagil breed				
SNP7 / rs109452259	71.4 [56.7; 83.3]	6.25 [2.31; 16.9]	$\chi^2 = 14.05$ $p < 0.001$	10/10
SNP8 / rs134055603	71.4 [55.2; 84.3]			
SNP1 / rs137396952	71.4			
Suksun breed				
SNP7 / rs109452259	50.0 [31.0; 69.0]	2.80 [1.04; 7.56]	$\chi^2 = 4.26$ $p = 0.039$	10/10
SNP8 / rs134055603	73.7 [61.3; 83.7]			
SNP1 / rs137396952	61.9			
Holstein breed				
SNP4 / rs110347054	85.7 [71.5; 94.3]	4.50 [1.41; 14.3]	$\chi^2 = 7.00$ $p = 0.008$	10/10
SNP9 / rs110352004	42.9 [27.6; 59.3]			
	64.3			

Таблица 8

Решающие правила «если, то» моделей прогноза риска развития мастита для крупного рогатого скота трех пород

ЕСЛИ	И	И	ТО
Тагильская порода			
rs109452259 (SNP7)	rs134055603 (SNP8)	rs137396952 (SNP1)	Риск =
C/C	G/A	C/C	1
C/C	G/G	C/C	1
C/C	G/G	C/C	1
C/A	G/G	C/T	1
C/A	G/A	C/T	0
C/A	G/G	C/T	0
A/A	G/A	C/T	1
A/A	G/A	T/T	0
A/A	G/G	C/T	0
A/A	G/G	T/T	0
A/A	G/G	C/T	1
A/A	G/G	T/T	1
Суксунская порода			
rs109452259 (SNP7)	rs134055603 (SNP8)	rs137396952 (SNP1)	Риск =
C/C	G/A	C/T	1

ЕСЛИ	И	И	ТО
C/C	G/G	C/C	1
C/A	G/A	C/T	0
A/A	G/A	C/T	0
A/A	G/G	T/T	0
Голштинская порода			
rs110347054 (SNP4)	rs110352004 (SNP9)	–	Риск =
G/G	T/T	–	1
G/G	C/C	–	0
G/G	T/C	–	1
G/A	T/T	–	0
G/A	C/C	–	0
G/A	T/C	–	1
A/A	T/T	–	0
A/A	C/C	–	1
A/A	T/C	–	1

Table 8  
*Decision rules of mastitis risk prediction models for three cattle breeds*

OR	AND	AND	THEN
<i>Tagil breed</i>			
rs109452259 (SNP7)	rs134055603 (SNP8)	rs137396952 (SNP1)	Risk =
C/C	G/A	C/C	1
C/C	G/G	C/C	1
C/C	G/G	C/C	1
C/A	G/G	C/T	1
C/A	G/A	C/T	0
C/A	G/G	C/T	0
A/A	G/A	C/T	1
A/A	G/A	T/T	0
A/A	G/G	C/T	0
A/A	G/G	T/T	0
A/A	G/G	C/T	1
A/A	G/G	T/T	1
<i>Suksun breed</i>			
rs109452259 (SNP7)	rs134055603 (SNP8)	rs137396952 (SNP1)	Risk =
C/C	G/A	C/T	1
C/C	G/G	C/C	1
C/A	G/A	C/T	0
A/A	G/A	C/T	0
A/A	G/G	T/T	0
<i>Holstein breed</i>			
rs110347054 (SNP4)	rs110352004 (SNP9)	–	Risk =
G/G	T/T	–	1
G/G	C/C	–	0
G/G	T/C	–	1
G/A	T/T	–	0
G/A	C/C	–	0
G/A	T/C	–	1
A/A	T/T	–	0
A/A	C/C	–	1
A/A	T/C	–	1

Как видно из таблицы 7, модели для всех пород были статистически значимыми и имели высокую оценку надежности в перекрестной проверке: 10 из 10. Считается, что модель прошла валидацию при значениях кросс-проверки 9/10 и больше [44; 45]. Диагностическая эффективность моделей для суксунской и голштинской пород была среднего качества (диапазон 60–70 %) и хорошей для тагильской породы (70–80 %). Решающие правила (табл. 8) позволяют использовать полученные модели на практике после генотипирования животных. Например, для коровы тагильской породы с генотипом *C/C* по rs109452259, *G/A* по rs134055603 и *C/C* по rs137396952 существует повышенный риск развития клинического мастита (риск = 1).

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Результат проведенного исследования согласуется с литературными данными о роли региона *GC-NPFFR2* хромосомы 6 в отношении признаков, связанных с риском развития мастита и качеством молока [13; 18; 24]. Из более частных фактов можно отметить подтвержденную нами протекторную роль rs109452259 в отношении развития мастита. Вместе с тем имеется также ряд особенностей. Во-первых, многие SNPs из региона *GC-NPFFR2* по результатам GWAS-исследований связаны также с риском развития кетоза. Поскольку в генетическую предрасположенность к кетозу вовлечено 10 категорий самых разных биологических процессов [46], очевидно, что ряд из них может иметь общие с маститом патогенетические механизмы. Их выявление – задача дальнейших исследований, поскольку на данный момент в обзорных статьях только начинают появляться сведения об общности генетической обусловленности различных фенотипических проявлений в рамках даже одной нозологии [2].

Генетические особенности пород крупного рогатого скота также требуют обсуждения. Большинство исследований по генетике мастита было выполнено на животных голштинской породы, и их результатами мы руководствовались при выборе SNPs. Однако в нашей работе именно животные голштинской породы не показали значимой связи между риском развития мастита и SNPs, анализируемыми по отдельности. С одной стороны, это может указывать на значительную региональную генетическую вариабельность даже внутри голштинской породы, а с другой – согласуется с данными о высокой специфике пород в отношении локусов, связанных с развитием мастита. Так, в одной из последних обзорных статей по генетике мастита у коров сделан вывод, что из 8784 генов устойчивости к маститу только 74 (0,84 %) были общими для голштинской, джерсейской и айрширской пород [2].

Наконец, необходимо отметить важность включения в модели рисков эффекта взаимодействия ге-

нов. В этом отношении показателен наш результат по голштинской породе, для которой все модели по 5 отдельным SNPs не имели высокого статистического влияния, в то время как модель с учетом взаимодействия двух локусов была достоверно значимой ( $p = 0,008$ ) и при низкой специфичности демонстрировала высокую чувствительность. При этом важен правильный выбор методов анализа и моделирования взаимодействий. В исследованиях, включающих большое число факторов (в нашем случае – SNPs), с добавлением каждого нового фактора количество их возможных комбинаций увеличивается экспоненциально. Обычно это приводит к увеличению ошибок I рода и получению оценок эффектов с большими стандартными ошибками [47]. Популярные модели на основе логистической регрессии не могут охарактеризовать эффекты взаимодействия факторов при отсутствии значимых эффектов самих этих факторов, поскольку такие модели являются иерархическими. Это приводит к увеличению ошибок II рода, то есть к снижению мощности исследования, особенно в случае небольших выборок [48]. Этим недостатком лишен MDR-анализ, который за счет уменьшения размерности исходного пространства большого числа факторов приводит к моделям решающих правил «если, то» с одной степенью свободы, которые могут включать различные неаддитивные взаимодействия факторов. Именно поэтому в последнее время данный метод и его модификации стали особенно популярными в генетических исследованиях «случай – контроль» для выявления наследственных факторов фенотипов [49]. В нашем случае он также показал свою эффективность, позволив получить подходящие для внедрения в практику модели риска развития мастита у коров.

Животные тагильской, суксунской и голштинской пород различаются уровнями заболеваемости клиническим маститом, а также генетической структурой по 5 SNPs из региона *GC-NPFFR2* хромосомы 6.

Для локальных пород установлена статистически значимая протекторная роль в отношении клинического мастита у аллелей *A\** для rs109452259 и *T\** для rs137396952. Обнаруженная зависимость была более выражена у суксунской породы. Для суксунской породы при *G\** у rs134055603 риск развития мастита снижается, для тагильской при *A\** риск увеличивается – наблюдается противоположное влияние разных аллелей на риск развития мастита.

Выбор по результатам информационного анализа наиболее перспективных SNPs и последующее их включение в MDR-модель позволили учесть их взаимодействие и построить диагностические модели для всех трех пород.

## Библиографический список

1. Андреева А. А., Евграфова В. А., Воронина М. С., Прунтова О. В., Шадрова Н. Б. Этиология и эпизоотология мастита коров (аналитический обзор) // Ветеринария сегодня. 2024. Т. 13, № 1. С. 27–35. DOI: 10.29326/2304-196X-2024-13-1-27-35.
2. Narayana S. G., Schenkel F., Miglior F., Chud T., Abdalla E. A., Naqvi S. A., Malchiodi F., Barkema H. W. Genetic analysis of pathogen-specific intramammary infections in dairy cows // Journal of Dairy Science. 2022. Vol. 104, No. 2. Pp. 1982–1992. DOI: 10.3168/jds.2020-19062.
3. Ряпосова М. В., Сивкова У. В., Исакова М. Н. Проблема заболеваемости высокопродуктивных коров маститом // БИО. 2020. Т. 4, № 235. С. 22–27.
4. Ateya A. I., Ibrahim S. S., Al-Sharif M. M. Single Nucleotide Polymorphisms, Gene Expression and Economic Evaluation of Parameters Associated with Mastitis Susceptibility in European Cattle Breeds // Veterinary Sciences. 2022. Vol. 9, No. 6 DOI: 10.3390/vetsci9060294.
5. Hogeveen H., Huijps K., Lam T.J. Economic aspects of mastitis: New developments // New Zealand Veterinary Journal. 2011. Vol. 59. Pp. 16–23. DOI: 10.1080/00480169.2011.547165.
6. Timonen A., Sammuli M., Taponen S., Kaart T., Mõtus K., Kalmus P. Antimicrobial Selection for the Treatment of Clinical Mastitis and the Efficacy of Penicillin Treatment Protocols in Large Estonian Dairy Herds // Antibiotics. 2022. Vol. 11. No. 1. DOI: 10.3390/antibiotics11010044.
7. Белкин Б. Л., Черепашина Л. А., Попкова Т. В., Скребнева Е. Н. Диагностика и нетрадиционные методы лечения субклинического мастита коров // Вестник ОрелГАУ. 2006. Т. 1. С. 31–36.
8. Li X., Xu C., Liang B., Kastelic J. P., Han B., Tong X., Gao J. Alternatives to antibiotics for treatment of mastitis in dairy cows // Frontiers in Veterinary Science. 2023. Vol. 10. DOI: 10.3389/fvets.2023.1160350.
9. Исакова М. Н. Биомедицинские аспекты применения бактериоцинов и глицеролатов – возможность использования для лечения мастита у коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2023. № 3. С. 185–203. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-185-203
10. Исакова М. Н., Красноперов А. С., Дроздова Л. И., Шкуратова И. А., Хонина Т. Г. Исследование хронической токсичности фармакологической композиции на основе бактериоцина-низина и глицеролатов кремния // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15, No. 4. Pp. 112–135. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-112-135.
11. Исакова М. Н., Сивкова У. В., Ряпосова М. В., Шкуратова И. А., Лысов А. В. Показатели качества молока высокопродуктивных коров на фоне применения противомаститной вакцины // Ветеринария сегодня. 2020. Т. 4. С. 255–260. DOI: 10.29326/2304-196X-2020-4-35-255-260.
12. Беликова А. О. Генетические основы устойчивости молочного скота к маститу // Генетика и разведение животных. 2022. Т. 1. С. 47–53. DOI: 10.31043/2410-2733-2022-1-47-53.
13. Olsen H. G., Knutsen T. M., Lewandowska-Sabat A. M., Grove H., Nome T., Svendsen M., Arnyasi M., Sodeland M., Sundsaasen K. K., Dahl S. R., Heringstad B., Hansen H. H., Olsaker I., Kent M. P., Lien S. Fine mapping of a QTL on bovine chromosome 6 using imputed full sequence data suggests a key role for the group-specific component (*GC*) gene in clinical mastitis and milk production // Genetics, Selection, Evolution: GSE. 2016. Vol. 48, No. 1. DOI: 10.1186/s12711-016-0257-2.
14. Бытов М. В., Соколова О. В., Безбородова Н. А., Красноперов А. С., Исаева А. Г. Методы генотипирования крупного рогатого скота для post-GWAS аннотирования SNPs // Аграрный вестник Урала. 2023. № 6. С. 67–75. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-67-75.
15. Kroezen V., Schenkel F. S., Miglior F., Baes C. F., Squires E. J. Candidate gene association analyses for ketosis resistance in Holsteins // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101, No. 6. Pp. 5240–5249. DOI: 10.3168/jds.2017-13374.
16. Лашнева И. А., Косицин А. А., Сермягин А. А., Зиновьева Н. А. Полногеномный анализ ассоциаций с количеством соматических клеток и их дифференциацией по видам в молоке коров // Молочное и мясное скотоводство. 2022. Т. 6. С. 12–17. DOI: 10.33943/MMS.2022.66.75.002.
17. Huang H., Cao J., Hanif Q., Wang Y., Yu Y., Zhang S., Zhang Y. Genome-wide association study identifies energy metabolism genes for resistance to ketosis in Chinese Holstein cattle. Animal Genetics. 2019. Vol. 50, No. 4. Pp. 376–380. DOI: 10.1111/age.12802.
18. Nayeri S., Schenkel F., Fleming A., Kroezen V., Sargolzaei M., Baes C., Cánovas A., Squires J., Miglior F. Genome-wide association analysis for  $\beta$ -hydroxybutyrate concentration in Milk in Holstein dairy cattle // BMC Genetics. 2019. Vol. 20. DOI: 10.1186/s12863-019-0761-9.
19. Yan Z., Huang H., Freebern E., Santos D. J. A., Dai D., Jingfang S., Ma Ch., Cao J., Guo G., Liu G. E., Ma L., Fang L., Zhang Yi. Integrating RNASeq with GWAS reveals novel insights into the molecular mechanism underpinning ketosis in cattle // BMC Genomics. 2020. Vol. 21, No. 489. DOI: 10.1186/s12864-020-06909-z.



20. Magdy T., Kuo H., Burridge P. W. Precise and Cost-Effective Nanopore Sequencing for Post-GWAS Fine-Mapping and Causal Variant Identification // *iScience*. 2020. Vol. 23. No. 4. DOI: 10.1016/j.isci.2020.100971.
21. Wu X., Lund M. S., Sahana G., Guldbbrandtsen B., Sun D., Zhang Q., Su G. Association analysis for udder health based on SNP-panel and sequence data in Danish Holsteins // *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2015. Vol. 47. No. 50. DOI: 10.1186/s12711-015-0129-1.
22. Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Gladyr E. A., Traspov A. A., Deniskova T. E., Kostyunina O. V., Reyer H., Wimmers K., Barbato M., Paronyan I. A., Plemyashov K. V., Sölkner J., Popov R. G., Brem G., Zinovieva N. A. Whole-genome SNP analysis elucidates the genetic structure of Russian cattle and its relationship with Eurasian taurine breeds // *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2018. Vol. 50. No. 37. DOI: 10.1186/s12711-018-0408-8.
23. Yurchenko A., Yudin N., Aitnazarov R., Plyusnina A., Brukhin V., Soloshenko V., Lhasaranov B., Popov R., Paronyan I. A., Plemyashov K. V., Larkin D. M. Genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds // *Heredity*. 2018. Vol. 120, No. 2. Pp. 125–137. DOI: 10.1038/s41437-017-0024-3.
24. Ковальчук С. Н. Гены-кандидаты устойчивости крупного рогатого скота к маститу (обзор) // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2021. Т. 3. С. 20–31. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.3.20-31.
25. Sahana G., Guldbbrandtsen B., Thomsen B., Holm L. E., Panitz F., Brøndum R. F., Bendixen C., Lund M. S. Genome-wide association study using high-density single nucleotide polymorphism arrays and whole-genome sequences for clinical mastitis traits in dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2014. Vol. 97, No. 11. Pp. 7258–7275. DOI: 10.3168/jds.2014-8141.
26. Wu Z. L., Chen S. Y., Qin C., Jia X., Deng F., Wang J., Lai S. J. Clinical ketosis-associated alteration of gene expression in Holstein cows // *Genes (Basel)*. 2020. Vol. 11, No. 219. DOI: 10.3390/genes11020219.
27. Cai Z., Guldbbrandtsen B., Lund M. S., Sahana G. Prioritizing candidate genes post-GWAS using multiple sources of data for mastitis resistance in dairy cattle // *BMC Genomics*. 2018. Vol. 19, No. 656. DOI: 10.1186/s12864-018-5050-x.
28. Cai Z., Dusza M., Guldbbrandtsen B., Lund M.S., Sahana G. Distinguishing pleiotropy from linked QTL between milk production traits and mastitis resistance in Nordic Holstein cattle // *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2020. Vol. 52, No. 19. Pp. 1–15. DOI 10.1186/s12711-020-00538-6.
29. Pausch H., Emmerling R., Schwarzenbacher H., Fries R. A multi-trait meta-analysis with imputed sequence variants reveals twelve QTL for mammary gland morphology in Fleckvieh cattle // *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2016. Vol. 48, No. 14. DOI: 10.1186/s12711-016-0190-4.
30. Zhang Q., Guldbbrandtsen B., Thomasen J. R., Lund M. S., Sahana G. Genome-wide association study for longevity with whole-genome sequencing in 3 cattle breeds // *Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99, No. 9. Pp. 7289–7298. DOI: 10.3168/jds.2015-10697.
31. McLaren W., Pritchard B., Rios D., Chen Y., Flicek P., Cunningham F. Deriving the consequences of genomic variants with the Ensembl API and SNP Effect Predictor // *Bioinformatics*. 2010. Vol. 26, No. 16. Pp. 2069–2070. DOI: 10.1093/bioinformatics/btq330.
32. Nicolazzi E. L., Caprera A., Nazzicari N., Cozzi P., Strozzi F., Lawley C., Pirani A., Soans Ch., Brew F., Jorjani H., Evans G., Simpson B., Tosser-Klopp G., Brauning R., Williams J. L., Stella Al. SNPchiMp v.3: integrating and standardizing single nucleotide polymorphism data for livestock species // *BMC Genomics*. 2015. Vol. 16. DOI: 10.1186/s12864-015-1497-1.
33. Jiang J., Ma L., Prakashenka D., VanRaden P. M., Cole J. B., Da Y. A Large-Scale Genome-Wide Association Study in U.S. Holstein Cattle // *Frontiers in Genetics*. 2019. Vol. 10. DOI: 10.3389/fgene.2019.00412.
34. Nayeri S., Sargolzaei M., Abo-Ismael M. K., Miller S., Schenkel F., Moore S. S., Stothard P. Genome-wide association study for lactation persistency, female fertility, longevity, and lifetime profit index traits in Holstein dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, No. 2. Pp. 1246–1258. DOI: 10.3168/jds.2016-11770.
35. Sergeant E. S. G. EpiTools Epidemiological Calculators [Электронный ресурс]. URL: <https://epitools.ausvet.com.au> (дата обращения: 05.08.2024).
36. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis [Электронный ресурс] // *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 1. URL: [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) (дата обращения: 05.08.2024).
37. Santos F. A. B., Lemes R. B., Otto P. A. HW\_TEST, a program for comprehensive HARDY-WEINBERG equilibrium testing // *Genetics and Molecular Biology*. 2020. Vol. 43, No. 2. DOI: 10.1590/1678-4685-GMB-2019-0380.
38. Hamilton N., Ferry M. ggtern: An Extension to 'ggplot2', for the Creation of Ternary Diagrams. Version 3.5.0. 2018. DOI: 10.32614/CRAN.package.ggtern.
39. Solé X., Guinó E., Valls J., Iniesta R., Moreno V. SNPStats: a web tool for the analysis of association studies // *Bioinformatics*. 2006. Vol. 22, No. 15. Pp. 1928–1929. DOI: 10.1093/bioinformatics/btl268.

40. Hahn L. W, Ritchie M. D, Moore J. H. Multifactor dimensionality reduction software for detecting gene-gene and gene-environment interactions // *Bioinformatics*. 2003. Vol. 19, No. 3. Pp. 376–382. DOI: 10.1093/bioinformatics/btf869.
41. Chen B., Cole J. W., Grond-Ginsbach C. Departure from Hardy Weinberg Equilibrium and Genotyping Error // *Frontiers in Genetics*. 2017. Vol. 8. DOI: 10.3389/fgene.2017.00167.
42. Кутихин А. Г., Южалин А. Е., Понасенко А. В. Современные тенденции статистической обработки данных и представления результатов в кандидатных генетико-эпидемиологических исследованиях // *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2017. Т. 2, № 2. С. 77–82. DOI: 10.23946/2500-0764-2017-2-2-77-82.
43. González J. R., Armengol L., Solé X., Guinó E., Mercader J. M., Estivill X., Moreno V. SNPAssoc: an R package to perform whole genome association studies // *Bioinformatics*. 2007. Vol. 23, No. 5. Pp. 654–655. DOI: 10.1093/bioinformatics/btm025.
44. Ritchie M. D., Hahn L. W., Roodi N., Bailey L. R., Dupont W. D., Parl F. F., Moore J. H. Multifactor-dimensionality reduction reveals high-order interactions among estrogen-metabolism genes in sporadic breast cancer // *American Journal of Human Genetics*. 2001. Vol. 69. Pp. 138–147. DOI: 10.1086/321276.
45. Ritchie M. D., Moutsier A. A. Multifactor dimensionality reduction for detecting gene-gene and gene-environment interactions in pharmacogenomics studies // *Pharmacogenomics*. 2005. Vol. 6, No. 8. Pp. 823–834. DOI: 10.2217/14622416.6.8.823.
46. Соколова О. В., Бытов М. В., Белоусов А. И., Безбородова Н. А., Зубарева В. Д., Мартынов Н. А., Зайцева О. С., Шкуратова И. А. Генетическая предрасположенность к кетозу у крупного рогатого скота: современное состояние // *Генетика*. 2023. Т. 59, № 3. С. 294–307. DOI: 10.31857/S0016675823030116.
47. Peduzzi P., Concato J., Kemper E., Holford T. R., Feinstein A. R. A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis // *Journal of Clinical Epidemiology*. 1996. Vol. 49, No. 12. Pp. 1373–1379. DOI: 10.1016/s0895-4356(96)00236-3.
48. Moore J. H. Detecting, characterizing, and interpreting nonlinear gene-gene interactions using multifactor dimensionality reduction // *Advances in Genetics*. 2010. Vol. 72. Pp. 101–116.
49. Пономаренко И. В. Использование метода Multifactor Dimensionality Reduction (MDR) и его модификаций для анализа ген-генных и генно-средовых взаимодействий при генетико-эпидемиологических исследованиях (обзор) // *Научные результаты биомедицинских исследований*. 2019. Т. 5, № 1. С. 4–21. DOI: 10.18413/2313-8955-2019-5-1-0-1.

#### Об авторах:

**Максим Владимирович Бытов**, младший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-3622-3770, AuthorID 1121043.

*E-mail: bytovmaks@mail.ru*

**Денис Юрьевич Нохрин**, кандидат биологических, старший научный сотрудник наук отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-4920-2338, AuthorID 397913. *E-mail: nokhrin8@mail.ru*

**Владлена Дмитриевна Зубарева**, младший научный сотрудник наук отдела геномных исследований и селекции животных, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-0284-0276, AuthorID 1109951.

*E-mail: zzub97@mail.ru*

**Альбина Геннадьевна Исаева**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических технологий отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717.

*E-mail: isaeva.05@bk.ru*

**Ольга Васильевна Соколова**, доктор ветеринарных наук, руководитель Уральского научно-исследовательского ветеринарного института, Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-1169-4090, AuthorID 648613. *E-mail: nauka\_sokolova@mail.ru*

#### References

1. Andreeva A. A., Evgrafova V. A., Voronina M. S., Pruntova O. V., Shadrova N. B. Etiology and epizootology of bovine mastitis (analytical review). *Veterinary Science Today*. 2024; 13 (1): 27–35. DOI: 10.29326/2304-196X-2024-13-1-27-35. (In Russ.)

2. Narayana S. G., Schenkel F., Miglior F., Chud T., Abdalla E. A., Naqvi S. A., Malchiodi F., Barkema H. W. Genetic analysis of pathogen-specific intramammary infections in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2022; 104 (2): 1982–1992. DOI: 10.3168/jds.2020-19062.
3. Ryapsova M. V., Sivkova U. V., Isakova M. N. The problem of mastitis in highly productive cows. *BIO*. 2020; 4 (235): 22–27. (In Russ.)
4. Ateya A. I., Ibrahim S. S., Al-Sharif M. M. Single Nucleotide Polymorphisms, Gene Expression and Economic Evaluation of Parameters Associated with Mastitis Susceptibility in European Cattle Breeds. *Veterinary sciences*. 2022; 9 (6). DOI: 10.3390/vetsci9060294.
5. Hogeveen H., Huijps K., Lam T. J. Economic aspects of mastitis: New developments. *New Zealand Veterinary Journal*. 2011; 59: 16–23. DOI: 10.1080/00480169.2011.547165.
6. Timonen A., Sammuli M., Taponen S., Kaart T., Mõtus K., Kalmus P. Antimicrobial Selection for the Treatment of Clinical Mastitis and the Efficacy of Penicillin Treatment Protocols in Large Estonian Dairy Herds. *Antibiotics*. 2022; 11 (1). DOI: 10.3390/antibiotics11010044.
7. Belkin B. L., Cherepakhina L. A., Popkova T. V., Skrebneva E. N. Diagnostics and alternative methods of treatment of subclinical mastitis in cows. *Vestnik OrelGAU*. 2006; 1: 31–36. (In Russ.)
8. Li X., Xu C., Liang B., Kastelic J. P., Han B., Tong X., Gao J. Alternatives to antibiotics for treatment of mastitis in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023; 10. DOI: 10.3389/fvets.2023.1160350.
9. Isakova M. N. Biomedical aspects of the use of bacteriocins and glycerolates – possibility of use for the treatment of mastitis in cows. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023; 3: 185–203. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-68-3-185-203. (In Russ.)
10. Isakova M. N., Krasnoperov A. S., Drozdova L. I., Shkuratova I. A., Khonina T. G. Investigation of chronic toxicity of a pharmacological composition based on bacteriocin-nisin and silicon glycerolates. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023; 15 (4): 112–135. DOI: 10.12731/2658-6649-2023-15-4-112-135. (In Russ.)
11. Isakova M. N., Sivkova U. V., Ryapsova M. V., Shkuratova I. A., Lysov A. V. Quality profile of milk from high producing dairy cows vaccinated against mastitis. *Veterinary Science Today*. 2020; 4: 255–260. DOI: 10.29326/2304-196X-2020-4-35-255-260. (In Russ.)
12. Belikova A. Genetics of mastitis resistance in dairy cattle. *Genetics and breeding of animals*. 2022; 1: 47–53. DOI: 10.31043/2410-2733-2022-1-47-53 (In Russ.)
13. Olsen H. G., Knutsen T. M., Lewandowska-Sabat A. M., Grove H., Nome T., Svendsen M., Arnyasi M., Sodeland M., Sundsaasen K. K., Dahl S. R., Heringstad B., Hansen H. H., Olsaker I., Kent M. P., Lien S. Fine mapping of a QTL on bovine chromosome 6 using imputed full sequence data suggests a key role for the group-specific component (GC) gene in clinical mastitis and milk production. *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2016; 48 (1). DOI: 10.1186/s12711-016-0257-2.
14. Bytov M. V., Sokolova O. V., Bezborodova N. A., Krasnoperov A. S., Isaeva A. G. Cattle genotyping methods for post-GWAS annotation of SNPs. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 06 (235): 67–75. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-235-06-67-75. (In Russ.)
15. Kroezen V., Schenkel F. S., Miglior F., Baes C. F., Squires E. J. Candidate gene association analyses for ketosis resistance in Holsteins. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101 (6): 5240–5249. DOI: 10.3168/jds.2017-13374.
16. Lashneva I. A., Kositsin A. A., Sermyagin A. A., Zinovieva N. A. Genome-wide association studies for somatic cells count and their morphological differentiation in cows' milk. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2022; 6: 12–17. DOI: 10.33943/MMS.2022.66.75.002. (In Russ.)
17. Huang H., Cao J., Hanif Q., Wang Y., Yu Y., Zhang S., Zhang Y. Genome-wide association study identifies energy metabolism genes for resistance to ketosis in Chinese Holstein cattle. *Animal Genetics*. 2019; 50 (4): 376–380. DOI: 10.1111/age.12802.
18. Nayeri S., Schenkel F., Fleming A., Kroezen V., Sargolzaei M., Baes C., Cánovas A., Squires J., Miglior F. Genome-wide association analysis for  $\beta$ -hydroxybutyrate concentration in Milk in Holstein dairy cattle. *BMC Genetics*. 2019; 20. DOI: 10.1186/s12863-019-0761-9.
19. Yan Z., Huang H., Freebern E., Santos D. J. A., Dai D., Jingfang S., Ma Ch., Cao J., Guo G., Liu G. E., Ma L., Fang L., Zhang Yi. Integrating RNASeq with GWAS reveals novel insights into the molecular mechanism underpinning ketosis in cattle. *BMC Genomics*. 2020; 21 (489). DOI: 10.1186/s12864-020-06909-z.
20. Magdy T., Kuo H., Burridge P. W. Precise and Cost-Effective Nanopore Sequencing for Post-GWAS Fine-Mapping and Causal Variant Identification. *iScience*. 2020; 23 (4). DOI: 10.1016/j.isci.2020.100971.
21. Wu X., Lund M. S., Sahana G., Guldbbrandtsen B., Sun D., Zhang Q., Su G. Association analysis for udder health based on SNP-panel and sequence data in Danish Holsteins. *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2015; 47 (50). DOI: 10.1186/s12711-015-0129-1.
22. Sermyagin A. A., Dotsev A. V., Gladyr E. A., Trasnov A. A., Deniskova T. E., Kostyunina O. V., Reyer H., Wimmers K., Barbato M., Paronyan I. A., Plemyashov K. V., Sölkner J., Popov R. G., Brem G., Zinovieva N. A.



Whole-genome SNP analysis elucidates the genetic structure of Russian cattle and its relationship with Eurasian taurine breeds. *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2018; 50 (37). DOI: 10.1186/s12711-018-0408-8. (In Russ.)

23. Yurchenko A., Yudin N., Aitnazarov R., Plyusnina A., Brukhin V., Soloshenko V., Lhasaranov B., Popov R., Paronyan I. A., Plemyashov K. V., Larkin D. M. Genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds. *Heredity*. 2018; 120 (2): 125–137. DOI: 10.1038/s41437-017-0024-3. (In Russ.)

24. Kovalchuk S. N. Candidate genes for mastitis resistance in cattle: a review. *Problems of Productive Animal Biology*. 2021; 3: 20–31. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.3.20-31. (In Russ.)

25. Sahana G., Guldbandsen B., Thomsen B., Holm L. E., Panitz F., Brøndum R. F., Bendixen C., Lund M. S. Genome-wide association study using high-density single nucleotide polymorphism arrays and whole-genome sequences for clinical mastitis traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2014; 97 (11): 7258–75. DOI: 10.3168/jds.2014-8141.

26. Wu Z. L., Chen S. Y., Qin C., Jia X., Deng F., Wang J., Lai S. J. Clinical ketosis-associated alteration of gene expression in Holstein cows. *Genes (Basel)*. 2020; 11 (219). DOI: 10.3390/genes11020219.

27. Cai Z., Guldbandsen B., Lund M. S., Sahana G. Prioritizing candidate genes post-GWAS using multiple sources of data for mastitis resistance in dairy cattle. *BMC Genomics*. 2018; 19 (656). DOI: 10.1186/s12864-018-5050-x.

28. Cai Z., Dusza M., Guldbandsen B., Lund M. S., Sahana G. Distinguishing pleiotropy from linked QTL between milk production traits and mastitis resistance in Nordic Holstein cattle. *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2020; 52 (19). DOI: 10.1186/s12711-020-00538-6.

29. Pausch H., Emmerling R., Schwarzenbacher H., Fries R. A multi-trait meta-analysis with imputed sequence variants reveals twelve QTL for mammary gland morphology in Fleckvieh cattle. *Genetics, Selection, Evolution: GSE*. 2016; 48 (14). DOI: 10.1186/s12711-016-0190-4.

30. Zhang Q., Guldbandsen B., Thomasen J. R., Lund M. S., Sahana G. Genome-wide association study for longevity with whole-genome sequencing in 3 cattle breeds. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99 (9): 7289–7298. DOI: 10.3168/jds.2015-10697

31. McLaren W., Pritchard B., Rios D., Chen Y., Flicek P., Cunningham F. Deriving the consequences of genomic variants with the Ensembl API and SNP Effect Predictor. *Bioinformatics*. 2010; 26 (16): 2069–2070. DOI: 10.1093/bioinformatics/btq330.

32. Nicolazzi E. L., Caprera A., Nazzicari N., Cozzi P., Strozzi F., Lawley C., Pirani A., Soans Ch., Brew F., Jorjani H., Evans G., Simpson B., Tosser-Klopp G., Brauning R., Williams J. L., Stella Al. SNPchiMp v.3: integrating and standardizing single nucleotide polymorphism data for livestock species. *BMC Genomics*. 2015; 16. DOI: 10.1186/s12864-015-1497-1.

33. Jiang J., Ma L., Prakapenka D., VanRaden P. M., Cole J. B., Da Y. A Large-Scale Genome-Wide Association Study in U.S. Holstein Cattle. *Frontiers in Genetics*. 2019; 10. DOI: 10.3389/fgene.2019.00412.

34. Nicolazzi E. L., Caprera A., Nazzicari N., Cozzi P., Strozzi F., Lawley C., Pirani A., Soans Ch., Brew F., Jorjani H., Evans G., Simpson B., Tosser-Klopp G., Brauning R., Williams J. L., Stella Al. SNPchiMp v.3: integrating and standardizing single nucleotide polymorphism data for livestock species. *BMC Genomics*. 2015; 16. DOI: 10.1186/s12864-015-1497-1.

35. Sergeant E. S. G. Epitools Epidemiological Calculators [Internet] [cited 2024 Aug 5]. Available from: <https://epitools.ausvet.com.au>.

36. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* [Internet]. 2001 [cited 2024 Aug 5]; 1. Available from: [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm). Date of access: August 7th, 2024.

37. Santos F. A. B., Lemes R. B., Otto P. A. HW\_TEST, a program for comprehensive HARDY-WEINBERG equilibrium testing. *Genetics and Molecular Biology*. 2020; 43 (2). DOI: 10.1590/1678-4685-GMB-2019-0380.

38. Hamilton N., Ferry M. ggtern: An Extension to ‘ggplot2’, for the Creation of Ternary Diagrams. Version 3.5.0. 2018. DOI: 10.32614/CRAN.package.ggtern.

39. Solé X., Guinó E., Valls J., Iniesta R., Moreno V. SNPStats: a web tool for the analysis of association studies. *Bioinformatics*. 2006; 22 (15): 1928–1929. DOI: 10.1093/bioinformatics/btl268.

40. Hahn L. W., Ritchie M. D., Moore J. H. Multifactor dimensionality reduction software for detecting gene-gene and gene-environment interactions. *Bioinformatics*. 2003; 19 (3): 376–382. DOI: 10.1093/bioinformatics/btf869.

41. Chen B., Cole J. W., Grond-Ginsbach C. Departure from Hardy Weinberg Equilibrium and Genotyping Error. *Frontiers in Genetics*. 2017; 8. DOI: 10.3389/fgene.2017.00167.

42. Kutikhin A. G., Yuzhalin A. E., Ponasenko A. V. How to analyze and present genetic epidemiology data in candidate studies. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2017; 2 (2): 77–82. DOI: 10.23946/2500-0764-2017-2-2-77-82. (In Russ.)



43. González J. R., Armengol L., Solé X., Guinó E., Mercader J. M., Estivill X., Moreno V. SNPAssoc: an R package to perform whole genome association studies. *Bioinformatics*. 2007; 23 (5): 654–655. DOI: 10.1093/bioinformatics/btm025.

44. Ritchie M. D., Hahn L. W., Roodi N., Bailey L. R., Dupont W. D., Parl F. F., Moore J. H. Multifactor-dimensionality reduction reveals high-order interactions among estrogen-metabolism genes in sporadic breast cancer. *American Journal of Human Genetics*. 2001; 69: 138–147. DOI: 10.1086/321276.

45. Ritchie M. D., Moutsier A. A. Multifactor dimensionality reduction for detecting gene-gene and gene-environment interactions in pharmacogenomics studies. *Pharmacogenomics*. 2005; 6 (8): 823–834. DOI: 10.2217/14622416.6.8.823.

46. Sokolova O. V., Bytov M. V., Belousov A. I., Bezborodova N. A., Zubareva V. D., Martynov N. A., Zaitseva O. S., Shkuratova I. A. Genetic Susceptibility to Ketosis in Cattle: Current State of Research. *Russian Journal of Genetics*. 2023; 59 (3): 294–307. DOI: 10.31857/S0016675823030116. (In Russ.)

47. Peduzzi P., Concato J., Kemper E., Holford T. R., Feinstein A. R. A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*. 1996; 49 (12): 1373–1379. DOI: 10.1016/s0895-4356(96)00236-3.

48. Moore J. H. Detecting, characterizing, and interpreting nonlinear gene-gene interactions using multifactor dimensionality reduction. *Advances in Genetics*. 2010; 72: 101–116.

49. Ponomarenko I. V. Using the method of Multifactor Dimensionality Reduction (MDR) and its modifications for analysis of gene-gene and gene-environment interactions in genetic-epidemiological studies (review). *Research Results in Biomedicine*. 2019; 5 (1): 4–21. DOI: 10.18413/2313-8955-2019-5-1-0-1. (In Russ.)

#### **Authors' information:**

**Maksim V. Bytov**, junior researcher, department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-3622-3770, AuthorID 1121043. *E-mail: bytovmaks@mail.ru*

**Denis Yu. Nokhrin**, candidate of biological sciences, senior researcher, department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-4920-2338, AuthorID 397913. *E-mail: nokhrin8@mail.ru*

**Vladlena D. Zubareva**, junior researcher, department of genomic research and animal breeding, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-0284-0276, AuthorID 1109951. *E-mail: zzub97@mail.ru*

**Albina G. Isaeva**, doctor of biological sciences, leading researcher, laboratory of biological technologies of the department of veterinary laboratory diagnostics with a testing laboratory, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8395-1247, AuthorID 665717. *E-mail: isaeva.05@bk.ru*

**Olga V. Sokolova**, doctor of veterinary sciences, head of Ural Scientific Research Veterinary Institute, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-1169-4090, AuthorID 648613. *E-mail: nauka\_sokolova@mail.ru*

## Определение волновых чисел, характеризующих липидный профиль молока с применением Фурье-ИК-спектроскопии

Т. В. Вобликова<sup>1,2</sup>✉, И. А. Лиханова<sup>1</sup>, Я. Н. Мануриков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия

<sup>2</sup>Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

✉E-mail: [tppshp@mail.ru](mailto:tppshp@mail.ru)

**Аннотация.** Фальсификация пищевых продуктов является одной из основных проблем в настоящее время во всем мире, особенно в развивающихся или слаборазвитых странах. Для увеличения количества продукта для фальсификации добавляют менее дорогие ингредиенты (ради получения высокой прибыли), которые могут быть вредны для здоровья потребителя или не содержат питательных веществ. Ценнейшие пищевые продукты и ингредиенты наиболее подвержены фальсификации. Таким образом, определение подлинности пищевых продуктов и обнаружение примесей стали важными для эффективного контроля качества и безопасности пищевых продуктов. Добавление растительных масел и удаление натурального молочного жира из молока и молочных продуктов приводят к ухудшению качества и потере питательных веществ. **Целью** данного исследования была оценка возможности применения инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье в качестве инструмента для получения липидного профиля коровьего молока и сливок, а также применения новых данных для их аутентификации. **Методы.** В работе были исследованы образцы коровьего молока и сливок из различных экогеографических районов Российской Федерации при помощи стандартных аналитических методов и Фурье-ИК-спектроскопии на предмет выявления областей волновых чисел характеризующих жировую фазу молока и сливок. **В результате** проведенных исследований выполнена оценка изменения структуры ИК-спектров коровьего молока и сливок в зависимости от массовой доли жира, температурной обработки исходного сырья и сезона изготовления. Выявлены области волновых чисел, характеризующих специфичность образцов. Установлены различия в спектрах коровьего молока и сливок, а также определена общность волновых чисел свойственных для рассматриваемых образцов. При оценке полученных спектров было выделено три основных информативных области волновых чисел. Методы инфракрасной спектроскопии могут обеспечить альтернативу традиционным аналитическим стратегиям, которые обычно основаны на химии во влажном состоянии для определения количества маркерного соединения. **Научная новизна.** Данные, полученные в ходе исследований, станут информационной основой для разработки нового малозатратного подхода в оценке безопасности молочного сырья и молочных продуктов с использованием ИК-Фурье-спектроскопии.

**Ключевые слова:** фальсификация; молочные продукты; качество пищевых продуктов; спектроскопические методы

**Благодарности.** Работа выполнена за счет гранта Российского научного Фонда № 24-26-00160, <https://rscf.ru/project/24-26-00160/>

**Для цитирования:** Вобликова Т. В., Лиханова И. А., Мануриков Я. Н. Определение волновых чисел, характеризующих липидный профиль молока с применением Фурье-ИК-спектроскопии // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1673–1683. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1673-1683>.

**Дата поступления статьи:** 05.09.2024, **дата рецензирования:** 11.11.2024, **дата принятия:** 20.11.2024.

# Determination of wave numbers characterizing the lipid profile of milk using Fourier transform infrared spectroscopy title

T. V. Voblikova<sup>1,2✉</sup>, I. A. Likhanova<sup>1</sup>, Ya. N. Manurikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia

<sup>2</sup> Kuban State Technical University, Krasnodar, Russia

✉ E-mail: [tppshp@mail.ru](mailto:tppshp@mail.ru)

**Abstract.** Food adulteration is one of the major problems worldwide nowadays, especially in developing or underdeveloped countries. In order to increase the quantity of the product for adulteration, less expensive ingredients are added (for the sake of high profit), which may be harmful to consumer health or do not contain nutrients. The most valuable food products and ingredients are most susceptible to adulteration. Therefore, the determination of food authenticity and detection of adulteration have become important for effective quality control and food safety. Addition of vegetable oils and removal of natural milk fat from milk and dairy products lead to deterioration of quality and loss of nutrients. **The purpose** of this study was to evaluate the possibility of using Fourier transform infrared spectroscopy as a tool for obtaining the lipid profile of cow's milk and cream, as well as the application of new data for their authentication. **Methods.** In this work, cow's milk and cream samples from different ecogeographical regions of the Russian Federation were investigated using standard analytical methods and Fourier transform infrared spectroscopy to identify the wavenumber regions characterizing the fat phase of milk and cream. The conducted studies **resulted** in an assessment of changes in the structure of IR spectra of cow's milk and cream depending on the mass fraction of fat, temperature treatment of the raw material and the season of manufacture. The areas of wave numbers characterizing the specificity of the samples were identified. Differences in the spectra of cow's milk and cream were established, and the commonality of wave numbers characteristic of the considered samples was determined. When evaluating the obtained spectra, three main informative areas of wave numbers were identified. Infrared spectroscopy methods can provide an alternative to traditional analytical strategies, which are usually based on wet chemistry to determine the amount of marker compound. **The scientific novelty.** The data obtained during the studies will become an information basis for the development of a new low-cost approach to assessing the safety of dairy raw materials and dairy products using IR Fourier spectroscopy.

**Keywords:** adulteration; dairy products; food quality; spectroscopic methods

**Acknowledgements.** The work was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 24-26-00160, <https://rscf.ru/project/24-26-00160/>

**For citation:** Voblikova T. V., Likhanova I. A., Manurikov Ya. N. Selection of the most informative wave numbers for assessing the profile of fatty acids in milk and milk fat based on near and mid-infrared spectra. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1673–1683. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1673-1683>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 05.09.2024, **date of review:** 11.11.2024, **date of acceptance:** 20.11.2024.

## Постановка проблемы (Introduction)

Верификация и тестирование компонентов пищевых продуктов включают проверку их безопасности, качества и соответствия спецификациям на этикетке, законам о защите прав потребителей и соответствующим стандартам [1; 2].

Фальсификация пищевых продуктов, часто продиктованная экономическими мотивами, предполагает снижение качества пищевых продуктов путем включения веществ или их замены неизвестными альтернативами. Этот вопрос вызывает все большую озабоченность из-за сложного и глобально взаимосвязанного характера цепочек поставок

продуктов питания [1; 2]. Наличие фальсификатов или посторонних веществ, которые отличаются от заявленных в маркированных продуктах, является серьезным вопросом для всех заинтересованных сторон, включая потребителей, производителей и регулирующие органы. Анализ подлинности пищевых продуктов необходим для обеспечения их качества [3–7].

Новой темой в пищевой промышленности аутентичность пищевых продуктов – это процесс, посредством которого пищевые продукты регулярно проверяются на качество, безопасность и правильность их описания на маркированных продуктах с использованием стандартизированных методов.

Аутентификация молочных продуктов включает в себя некоторые аналитические методы, способные подтвердить, что молочный продукт соответствует заявленным данным на этикетке, которые соответствуют действующим законам и нормативным актам. Молочный жир и состав жирных кислот важны для производства молочных продуктов и здоровья человека. Структура липидного профиля молочного жира может иметь существенные различия [8; 9; 11; 12]. Поэтому особое внимание уделяется методам аутентификации молочного сырья, компонентов и продуктов на их основе.

В настоящее время применяется несколько методов обнаружения фальсификатов в молоке и продуктах на его основе. Однако основным недостатком классических методов является то, что они отнимают много времени и не дают немедленных результатов. Для решения этой проблемы необходимы быстрые и эффективные методы или системы определения качества молока и молочных продуктов [13; 14].

Установленные методы определения профиля жирных кислот в молоке основаны на газовой хроматографии с различными детекторами, такими как пламенно-ионизационные детекторы или масс-спектрометрия. Эти методы обеспечивают превосходную чувствительность и точность, но имеют серьезные недостатки, такие как дорогостоящее оборудование, длительные хроматографические циклы и трудоемкий этап дериватизации перед анализом, обычно включающий опасные химические вещества.

Состав жирных кислот молочного жира, определенный методом газовой хроматографии с капиллярными колонками, изучался в течение многих десятилетий и по-прежнему имеет большое значение для исследований молочной промышленности и исследований по аутентификации. Анализ жирных кислот молока представляет некоторую сложность из-за широкого диапазона размеров молекул и наличия относительно большого количества короткоцепочечных жирных кислот. Хотя проблема преобразования жирных кислот молока в метиловые эфиры для анализа методом газовой хроматографии была решена с помощью эталонной процедуры быстрого метилирования, проблема разделения молочного жира остается для анализа большого количества образцов.

Таким образом, существует потребность в быстром, надежном и простом методе, который можно было бы использовать для анализа большого количества образцов в лаборатории контроля качества или в исследовательской области.

В настоящее время отсутствуют надежный верифицированный метод аутентификации видовой принадлежности молока при помощи оценки жировой фазы молока на основании данных, полученных

при помощи методов Фурье-ИК-спектроскопии.

Результаты, полученные в ходе исследований, станут информационной основой для нового подхода в оценке экологической безопасности сырья и готовых продуктов, а также видовой аутентификации молока.

В этом контексте спектроскопические методы могут эффективно решать проблемы фальсификации пищевых продуктов, предоставляя правдивую информацию. Данные о содержании жирных кислот (ЖК) возможно применять как биомаркер контроля физиологического состояния животных, а также критерий оценки показателей качества сырого молока [14]. Эти методы обеспечивают повышенную чувствительность, скорость, простоту и высокую пропускную способность [15]. Спектроскопия в среднем инфракрасном диапазоне способна предоставлять качественную и количественную информацию о клинически значимых параметрах путем обнаружения поглощения ИК-излучения посредством фундаментальных молекулярных колебаний. Приборы с преобразованием Фурье в инфракрасном диапазоне в настоящее время считаются золотым стандартом, обеспечивающим быстрое получение спектров и высокую точность при охвате всего среднего ИК-диапазона ( $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ ). По сравнению с газовой хроматографией с масс-спектрометрией этот метод имеет преимущества с точки зрения сокращенного времени измерения, более низкой стоимости, минимальной или нулевой подготовки образца и неразрушающей операции. Однако для проведения аутентификации с применением данных методов необходимо сформировать достаточную базу данных ИК-спектров, характеризующих видовые особенности молока, периоды лактации, рационы кормления, породу животных, географическое положение хозяйств, влияние технологических параметров производства на конечный продукт.

В основу метода аутентификации с использованием Фурье-ИК-спектроскопии в данном исследовании положена теория распознавания образов с помощью современных инструментальных приборов. Определяемые совокупностью физико-химических и биологических показателей абсолютные количественные значения и интервалы, изменения которых обоснованы природными свойствами сырья и допустимым технологическим воздействием при получении готовых пищевых продуктов, станут основой определения подлинности и обнаружения фальсификации молочных продуктов. Распознавание образов – это отнесение исходных данных к определенному классу с помощью выделения существенных признаков, характеризующих эти данные, из общей массы несущественных данных.

Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье обладает потенциалом для детально-



го прогнозирования состава жира в молоке. Некоторые исследователи утверждают, что успешное предсказание содержания отдельных жирных кислот в молоке с использованием метода инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье обусловлено ковариацией между отдельными жирными кислотами и общим содержанием жира. Данный метод с помощью молекулярной дактилоскопии может быть использован для определения состава, взаимосвязи с текстурой, сроком годности, сезонной изменчивостью и различными биохимическими изменениями в пищевых продуктах в процессе обработки, хранения и порчи. Инфракрасная спектроскопия – это тип атомно-абсорбционной спектроскопии, который основан на принципе атомных колебаний молекул после поглощения определенных частот и энергий в инфракрасной области [15].

Традиционно качество молока от молочного скота определяется содержанием жира и белка, количеством соматических клеток или общим количеством бактерий в молоке. Однако существует растущая озабоченность потребителей по поводу взаимосвязи между составом пищи и заболеваниями человека [16].

Взаимосвязь между диетой и здоровьем в настоящее время хорошо известна как один из ключей к профилактике заболеваний и укреплению благополучия организма. Действительно, именно на этой основе наблюдается значительный рост рынка функциональных продуктов питания. Благодаря особенностям сконструированной пищевой матрицы и рациональному компонентному составу продукты, которые способны оказывать положительное влияние на здоровье человека, а не только удовлетворять его пищевую потребность, можно отнести в группе продуктов функционального питания.

Молоко представляет собой конечную модель для разработки функциональных продуктов питания, поскольку оно наделено питательными, иммунологическими и биологически активными компонентами. Действительно, многие компоненты молока в настоящее время используются в качестве ингредиентов, способствующих укреплению здоровья, в других пищевых системах.

Концентрация компонентов молока определяет его ценность. Известно, что непитательные факторы, такие как сезон, генетика, стадия лактации и мастит, влияют на состав молока. Молочный жир является наиболее изменчивым и энергетически плотным компонентом молока и легко подвержен влиянию питания, за ним следуют белок и лактоза, которые остаются относительно стабильными.

Молоко содержит основные питательные вещества, полезные для здоровья человека, такие как жирорастворимые витамины, каротиноиды, кальция, биоактивные пептиды, незаменимые жирные кислоты и сфинголипиды. Однако холестерин, на-

сыщенные жирные кислоты и трансжирные кислоты связаны с повышенным риском диабета II типа, ожирения и сердечно-сосудистых заболеваний, что побудило органы здравоохранения рекомендовать низкое потребление молочных продуктов. Кроме того, сообщается, что некоторые насыщенные жирные кислоты в молоке оказывают положительное влияние на здоровье. Масляная кислота является известным модулятором функции генов и может также играть роль в профилактике рака; каприновая и каприловая жирные кислоты могут играть роль в противовирусной активности, а каприловая еще и задерживает рост опухолей [16; 17].

Большая часть потребляемого людьми молока проходит термическую обработку для обеспечения микробиологической безопасности и продления срока годности. Изучение влияния термической обработки на свойства молочных липидов имеет особое значение с точки зрения пищевой и функциональной ценности, а также для регулирования технологических процессов в молочной промышленности.

Липидный состав молочных продуктов претерпевает изменения во время хранения, что может сократить срок годности. Липолиз в молоке заключается в гидролизе триглицеридов в свободные жирные кислоты и частичные глицериды. Этот процесс может быть опосредован липопротеинлипазой, естественным образом встречающейся в молоке, или микробными липазами из психотрофных бактерий, загрязняющих сырое молоко во время хранения в холодильнике. Поскольку липопротеинлипаза относительно нестабильна при нагревании, пастеризация инактивирует большую часть фермента, так что скорость липолиза значительно снижается в пастеризованном гомогенизированном молоке. Высвобождение коротко- и среднецепочечных (от C4 до C10) кислот и их последующее преобразование в другие кислоты и/или этиловые эфиры микробными липазами приводит к появлению вредных свойств, таких как прогорклый запах и вкус, а также дефекты функциональности.

Определение профиля жирных кислот представляет полезные данные об окислительном статусе молока и молочных продуктов в условиях обработки и хранения, поскольку условия ускоренного окисления обычно не используются для молока и молочных продуктов.

В последние десятилетия оценка состава жирных кислот, присутствующих в молоке жвачных животных, стала предметом ряда исследований. Этот интерес возник именно из-за наличия изомеров конъюгированных линолевых кислот (CLA) цис-9, транс-11 и транс-10, цис-12, которые продемонстрировали полезные биологические эффекты, подтвержденные в питании человека: например, профилактика некоторых видов рака, снижение ате-

росклероза, усиление иммунного ответа и помощь в развитии человека [15–18].

#### Методология и методы исследования (Methods)

В работе были исследованы образцы коровьего молока и сливок из различных экогеографических районов Российской Федерации при помощи стандартных аналитических методов и Фурье-ИК-спектроскопии на предмет выявления областей волновых чисел, характеризующих качественный и количественный состав молочного жира, в том числе при различной температурной обработке. Инфракрасная (ИК) спектроскопия – фундаментальный метод исследования структуры химических соединений – может использоваться для определения подлинности пищевых продуктов по их характерным признакам. Метод ИК-спектроскопии основан на поглощении электромагнитного излучения ИК-диапазона молекулами изучаемого вещества, при котором происходит возбуждение колебательных и вращательных состояний. Спектроскопия «ближнего ИК-диапазона» позволяет получить спектр обертонов и комбинационных частот, дающих необходимую информацию для анализа исследуемого продукта. В этой области лежат основные полосы и линии поглощения таких компонентов молочных продуктов, как жирные кислоты, белки, серосодержащие соединения, эфиры, кетоны, альдегиды, лактоноиды и др. В этот же диапазон попадают полосы поглощения, отвечающие колебаниям групп C–C, C–O, C–N и др., а также деформационные колебания. ИК-спектры поглощения, отражения или рассеяния несут чрезвычайно богатую информацию о составе и свойствах пробы. Сопоставляя ИК-спектр исследуемого «неизвестного» образца продукта со спектрами известных, можно идентифицировать исследуемый, определить основной состав пищевых продуктов, обнаружить примеси, провести фракционный или структурно-групповой анализ.

Молочный жир является одним из сложных жиров и наиболее чувствительных биохимических соединений к самоокислению. Для увеличения срока годности молоко подвергается температурной обработке с последующей асептической упаковкой. Во время хранения в липидной фракции молока происходит несколько химических и биохимических изменений. В текущем исследовании влияние высокотемпературной обработки определялось путем сравнения областей волновых чисел, характеризующих качественный и количественный состав молочного жира пастеризованного и ультрапастеризованного молока. Для выполнения каждой серии экспериментов приобретаемые в розничных торговых сетях образцы, изготовленные в период с марта по июнь, доставлялись в лабораторию для проведения исследования при температуре +4 С. В работе приняли участие образцы коровьего молока и сливок, произведенных на территории Новгородской

области (СПК «Левочский», ЗАО ПК «Корона»); Московской области (АО «ВВД»), Белгородской области (АО «Белгородский молочный комбинат»), Воронежской области (АО Молочный комбинат «Воронежский»), Ленинградской области (ООО «ГАЛАКТИКА»). Измерения проводились с использованием ИК-Фурье-спектрометра ФСМ 2201 в диапазоне длин волн от 7000 до 400 см<sup>-1</sup>. Три копии из каждого образца были проанализированы в рандомизированном порядке на носителе образца. В качестве носителя для образцов были использованы пластины ZnSe, все спектры были собраны с разрешением 4 см<sup>-1</sup>.

#### Результаты (Results)

С использованием инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье были собраны спектры образцов коровьего молока и сливок разных производителей и с различной массовой долей жира. Полученные ИК-спектры наблюдались на основе развития пиков в разных областях.

Целью данного исследования являлось определение волновых чисел, характеризующих липидный профиль исследуемых образцов коровьего молока и сливок, для оценки возможности применения Фурье-ИК-спектроскопии в качестве метода для проведения их аутентификации. При оценке полученных спектров было выделено три области волновых чисел: от 924 до 1585 см<sup>-1</sup>, от 1717 до 1781 см<sup>-1</sup> и от 2653 до 2985 см<sup>-1</sup>. Они называются информативными ИК-волновыми числами, а колебания являются информативными для количественной оценки молочного жира. В этих областях волновые числа обусловлены определенными колебаниями соответствующих химических связей, такими как растяжение C=O и симметричное и асимметричное растяжение ацильной цепи C–H, симметричное растяжение связи триацилглицеринового эфира C–O. Частота 1745 см<sup>-1</sup> коррелирует с колебаниями карбонильной группы жирной кислоты.

Образцы молока разной жирности были исследованы при помощи спектроскопии с преобразованием Фурье, полученные ИК-спектры представлены на рис. 1. При оценке полученных ИК-спектров (рис. 1) необходимо отметить, что в области волновых чисел от 4000 до 1500 см<sup>-1</sup> наблюдается присутствие идентичных пиков характерных для всех образцов молока полученного в разных регионах Российской Федерации.

Область от 1500 до 500 см<sup>-1</sup> характеризует уникальные особенности биохимической конфигурации исследуемых образцов.

Области волновых чисел от 1736 до 1805 см<sup>-1</sup> и между 2823 и 3016 см<sup>-1</sup> являются информативными для оценки профиля жирных кислот.

На рис. 2 представлены рассматриваемые области спектров коровьего молока с различной массовой долей жира.

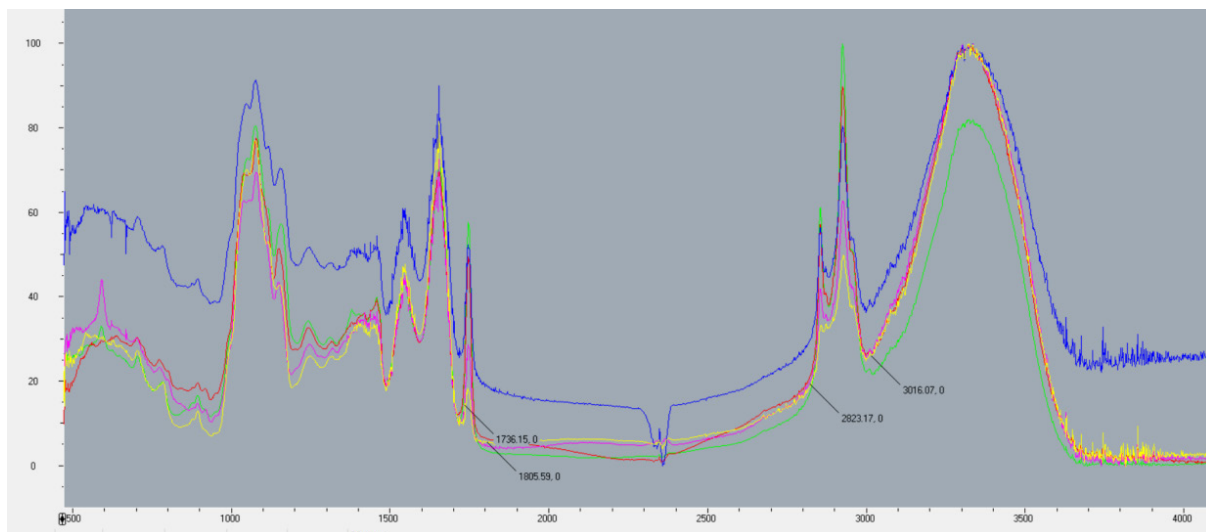


Рис. 1. ИК-спектры коровьего молока с массовой долей жира:  
 — 4,2 % («Любони», изготовитель: ЗАО ПК «Корона»);  
 — 3,5 % (Parmalat comfort, изготовитель: АО «Белгородский молочный комбинат»);  
 — 2,5 % («Левоческое», изготовитель: СПК «Левочский»);  
 — 1,8 % (Parmalat comfort, изготовитель: АО «Белгородский молочный комбинат»);  
 — 0,05 % (молоко коровье обезжиренное VIOLA, изготовитель: ООО «ГАЛАКТИКА»)  
 Fig. 1. IR-spectra of cow's milk with a mass fraction of fat:  
 — 4.2 % (Lyuboni, manufacturer: CJSC CP "Korona");  
 — 3.5 % (Parmalat comfort, manufacturer: JSC "Belgorod Dairy Plant");  
 — 2.5 % (Levocheskoe, manufacturer: APC "Levochskiy");  
 — 1.8 % (Parmalat comfort, manufacturer: JSC "Belgorod Dairy Plant");  
 — 0.05 % (skimmed cow's milk VIOLA, manufacturer: LLC "GALAKTIKA").

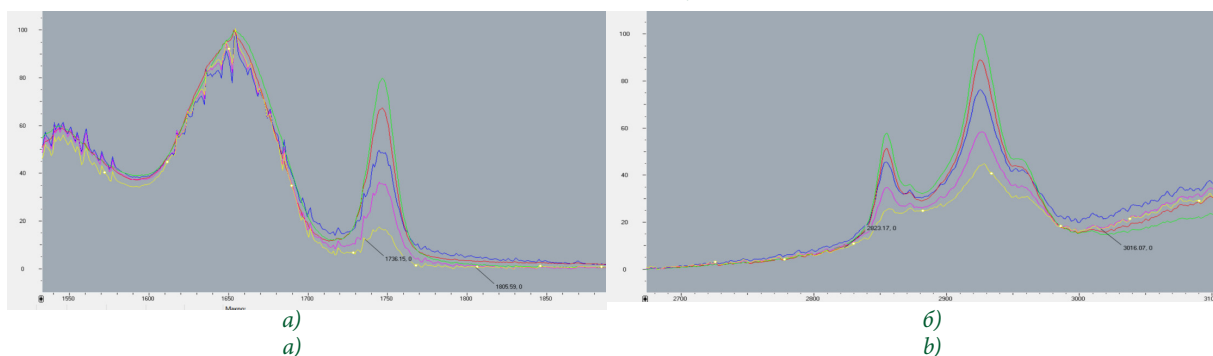


Рис. 2. ИК-спектры молока с массовой долей жира:  
 а) волновой области 1736 и 1805  $\text{cm}^{-1}$ , б) волновой области 2823 и 3016  $\text{cm}^{-1}$   
 — 4,2 %; — 3,5 %; — 2,5 %; — 1,8 %; — 0,05 %  
 Fig. 2. IR-spectra of cow's milk with fat mass fraction:  
 а) wave region 1736 and 1805  $\text{cm}^{-1}$ , б) wave region 2823 and 3016  $\text{cm}^{-1}$   
 — 4.2 %; — 3.5 %; — 2.5 %; — 1.8 %; — 0.05 %

Зависимость относительной площади пиков от массовой доли жира в волновой области 1736 и 1805 отражена на рис. 2, а.

В выделенной области спектров (рис. 2, а) обезжиренное молоко имеет наименьший пик по сравнению с образцами молока с массовой долей жира 1,8 %, 2,5 %, 3,2 %. Данная область несет информацию о количественном и качественном составе молочного жира.

Можно отметить, что в выделенной волновой области на рис. 2, б обезжиренное молоко также имеет наименьшие пики, а молоко с массовой долей жира 4,2 % – наибольшие.

В работе выполнена оценка полученных ИК-спектров сливок с массовой долей жира 10 % трех производителей (рис. 3).

В ходе выполнения исследований была проведена сравнительная оценка волновых чисел характеризующих липиды в структуре ИК-спектров обезжиренного коровьего молока и сливок (рис. 4).

Оценивая полученные результаты, представленные на рис. 4, необходимо отметить, что в структуре ИК-спектра обезжиренного молока отсутствуют пики с максимумами 1746 и 2854, характеризующие группу липидов, свойственных для структуры ИК-спектров сливок.

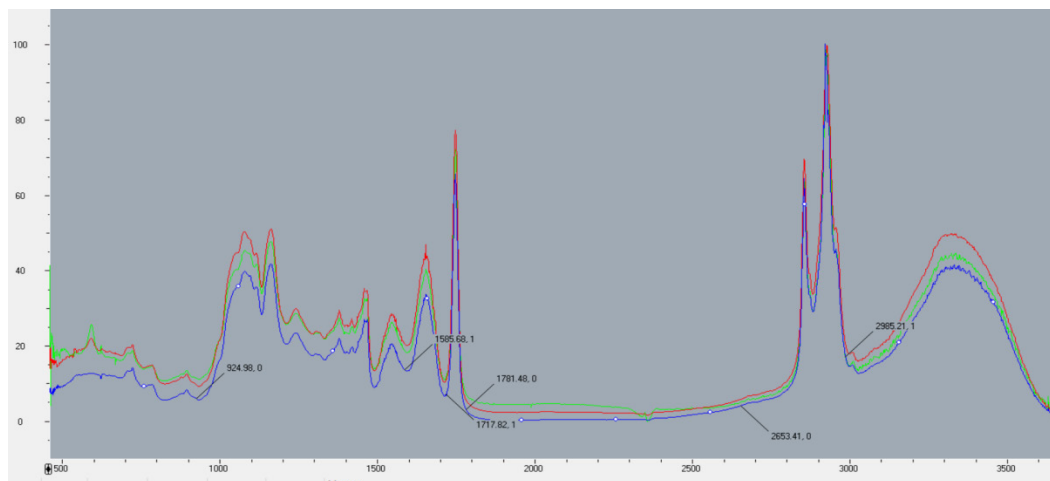


Рис. 3. ИК-спектры сливок с массовой долей жира 10 %:

— «Большая кружка», ООО «ГАЛАКТИКА», Ленинградская область;  
— «Домик в деревне», АО «ВВД», Москва;

— «Вкуснотеево», АО Молочный комбинат «Воронежский», Воронежская область

Fig. 3. IR-spectra of cream with a fat content of 10 %:

— "Bol'shaya kruzhka", LLC "GALAKTIKA", Leningrad region;

— "Domik v derevne", JSC "VBD", Moscow;

— "Vkusnoteevo", JSC Dairy Plant "Voronezhskiy", Voronezh region

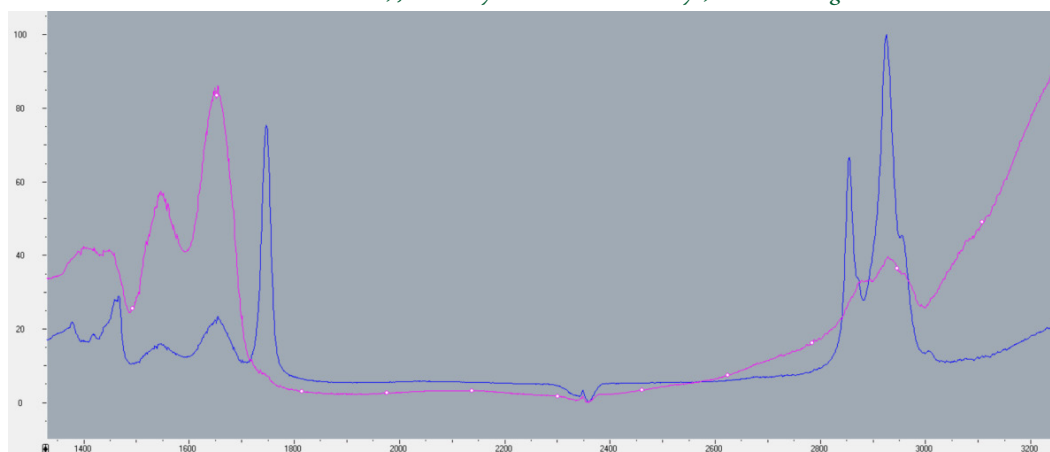


Рис. 4. ИК-спектры:

— сливок с массовой долей жира 20 % «Домик в деревне»;

— молока коровьего с массовой долей жира 0,05 % VIOLA

Fig. 4. IR-spectra:

— cream with a fat content of 20 % "Domik v derevne";

— cow's milk with a fat content of 0.05 % VIOLA

Для оценки возможности получения информации при помощи ИК-спектров о влиянии температурного воздействия на основные компоненты состава молока были исследованы образцы пастеризованного коровьего молока («Левоческое», изготовитель СПК «Левочский», с массовой долей жира 2,5 %) и ультрапастеризованного («Светлогорье», изготовитель ОАО «Милкавита», с массовой долей жира 2,5 %) (рис. 5).

Данные, представленные на рис. 5, свидетельствуют о том, что получение молока с применением режима ультрапастеризации, привело к изменению состава липидной фракции, что отражается в ИК-спектрах на участках волновой области от 1736 до 1805  $\text{cm}^{-1}$  и волновой области от 2823 до 3016  $\text{cm}^{-1}$ . Ультрапастеризация вносит изменения в профили

триглицеридов молока и оказывает влияние на частичные суммы жирных кислот.

Фурье-инфракрасная спектроскопия также дает информацию о вторичной структуре белков. Образец освещается инфракрасным излучением, и можно наблюдать, какие длины волн излучения в инфракрасной области спектра поглощаются образцом. Характерные полосы, обнаруженные в инфракрасных спектрах белков, попадают в амид I и амид II ( $1800\text{--}1400\text{cm}^{-1}$ ) областей, которые возникают из амидных связей, соединяющих аминокислоты. Поскольку как связи  $\text{C}=\text{O}$ , так и связи  $\text{N}-\text{H}$  участвуют в водородных связях, которые имеют место между различными элементами вторичной структуры, расположение полос амида I и амида II чувствительно к содержанию вторичной структуры белка.



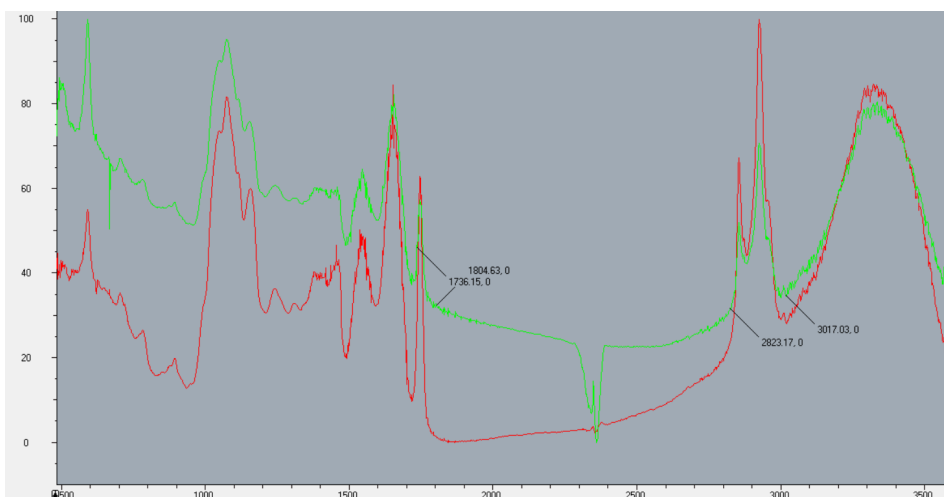


Рис. 5. ИК-спектры коровьего молока:  
 — пастеризованного «Любони», изготовитель: ЗАО ПК «Корона»;  
 — ультрапастеризованного «Светлогорье», изготовитель: ОАО «Милкавита»

Fig. 5. IR-spectra:  
 — pasteurized cow's milk "Lyuboni", manufacturer: CJSC PC "Korona";  
 — ultra-pasteurized cow's milk "Svetlogor'ye", manufacturer: OJSC "Milkavita"

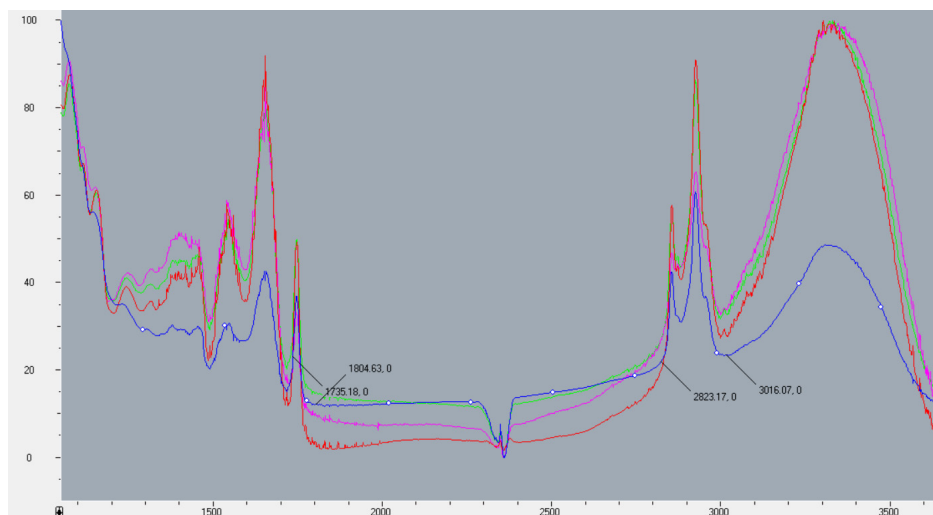


Рис. 6. ИК-спектры пастеризованного коровьего молока с массовой долей жира 2,5 %, изготовленного:

- в марте 2024 года;
- в апреле 2024 года;
- в мае 2024 года;
- в июне 2024 года

Fig. 6. IR-spectra of pasteurized cow's milk with a fat content of 2.5 % produced:  
 — in March 2024;  
 — in April 2024;  
 — in May 2024;  
 — in June 2024

Информация, содержащаяся в профиле жирных кислот молока, может предоставить ценный инструмент, который характеризует рацион кормления и период лактации. В работе были оценены ИК-спектры коровьего молока, полученного в разные периоды лактации (рис. 6).

На рис. 5 отмечены участки волновых чисел ИК-спектра, характеризующие качественные и количественные изменения липидного профиля. При аутентификации коровьего молока необходимо учитывать сезонную вариабельность липидного профиля.

1680

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

ИК-спектры были собраны для всех рассматриваемых образцов и наблюдались на основе развития пиков в разных областях. Взаимосвязь функциональных групп молочного жира определяет характерные волновые числа и режимы вибрации: 723 -HC=CH- (цис) изгиб, 968 -HC=CH- (транс) изгиб, 1654 -HC=CH- (цис) растяжение, 1746 -C=O (эфирное) растяжение, 3006 -HC=CH- (цис) растяжение, 3025 -HC=CH- (транс) растяжение.

В области 1600–1500 см<sup>-1</sup> амиды имеют интенсивные полосы поглощения, обусловленные валентными колебаниями карбонильной группы и деформационными колебаниями аминогруппы. Пик с максимумом в 1466 см<sup>-1</sup> и следующий, возникающий в результате изгибной вибрации N–H, скорее всего, связаны с амидными I и амидными II полосами белков. При оценке полученных ИК-спектров коровьего молока, подвергнутого различной температурной обработке, установлено, что применение ультрапастеризации в ходе технологического процесса вызывает не только изменения в составе белка, но и значительную потерю вторичной структуры, а также уменьшение третичного структурного контакта.

Пики, наблюдаемые при 2925 и 2853 см<sup>-1</sup>, в основном описывают колебания растяжения C–H (CH<sub>2</sub> и CH<sub>3</sub>). Пик, полученный при 2917 см<sup>-1</sup>, связан с группами растяжения C=C–H цис-ненасыщенности. При 1655 см<sup>-1</sup> был зарегистрирован еще один сильный пик, который в основном связан с колебаниями растяжения C=O кислот и сложных эфиров. В части полос (1300–1000 см<sup>-1</sup>) пики демонстрировали растягивающие колебания связи C–O сложных эфиров и изгибные колебания метиленовой группы.

Выявлены различия в спектрах коровьего молока и сливок, а также определена общность волновых чисел, свойственных для рассматриваемых образцов. При оценке полученных спектров было выделено три информативных области волновых чисел: от 924 до 1585 см<sup>-1</sup>, от 1717 до 1781 см<sup>-1</sup> и от 2653 до 2985 см<sup>-1</sup>. Метод ИК-Фурье-спектроскопии

при формировании достаточной базы данных может быть использован в качестве альтернативного метода для рутинного анализа при контроле подлинности происхождения молока и его аутентичности.

В результате исследования получены новые данные в формате ИК-спектров о характере развития пиков в разных областях в образцах молока с массовой долей жира 0,05 %, 1,8 %, 2,5 %, 3,2 %, 4,2 % и сливок с массовой долей жира 10 % и 20 %. Выполнена оценка развития пиков ИК-спектров в образцах коровьего молока и сливок, произведенных в различные сезоны года на территории Новгородской области (СПК «Левочский, ЗАО ПК «Корона»); Московской области (АО «ВВД»), Белгородской области (АО «Белгородский молочный комбинат»), Воронежской области (АО Молочный комбинат «Воронежский»), Ленинградской области (ООО «ГАЛАКТИКА»).

Результаты, полученные в ходе исследований, станут информационной основой для разработки нового эффективного малозатратного подхода в оценке безопасности молочного сырья и молочных продуктов с использованием ИК-Фурье-спектроскопии; являются вкладом в развитие методологической базы товароведческой экспертизы при подтверждении соответствия подлинности. Продолжение исследований в рамках проекта позволит в сочетании с хемометрией верно и разносторонне интерпретировать большой массив полученных данных для оценки качества и аутентичности молока, в том числе различных видов животных.

#### Библиографический список

1. Rohman A., Ghazali M. A. B., Windarsih A., Irnawati, Riyanto S., Yusof F.M., Mustafa S. Comprehensive Review on Application of FTIR Spectroscopy Coupled with Chemometrics for Authentication Analysis of Fats and Oils in the Food Products // *Molecules*. 2020. Vol. 22, No. 25. Article number 5485. DOI: 10.3390/molecules25225485.
2. Chaudhary V., Kajla P., Dewan A., Pandiselvam R., Socol C. T., Maerescu C. M. Spectroscopic techniques for authentication of animal origin foods // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. Article number 979205. DOI: 10.3389/fnut.2022.979205.
3. Caballero D., Ríos-Reina R., Amigo J. M. Chemometrics and Food Traceability // *Reference Module in Food Science*. 2021. Pp. 387–406. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22859-X.
4. Balan B., Dhaulaniya A. S., Jamwal R., Amit, Sodhi K. K., Kelly S., Cannavan A., and Singh D. K., Application of Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) spectroscopy coupled with chemometrics for detection and quantification of formalin in cow milk. *Vibrational Spectroscopy*. 2020. Vol. 107. Article number 103033. DOI: 10.1016/j.vibspec.2020.103033.
5. González-Domínguez R., Sayago A., Fernández-Recamales Á. An Overview on the Application of Chemometrics Tools in Food Authenticity and Traceability // *Foods*. 2022; Vol. 11. No. 23. Article number 3940. DOI: 10.3390/foods11233940.
6. Du C., Zhao X., Chu C., Nan L., Ren X., Yan L., Zhang X., Zhang S., Teng Z. Identification and quantification of goat milk adulteration using mid-infrared spectroscopy and chemometrics // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2024. Vol. 324. Article number 124969. DOI: 10.1016/j.saa.2024.124969.
7. Hassoun A., Måge I., Schmidt W. F., Temiz H. T., Li L., Kim H. Y., Nilsen H., Biancolillo A., Ait-Kaddour A., Sikorski M., Sikorska E., Grassi S., Cozzolino D. Fraud in Animal Origin Food Products: Advances in Emerging Spectroscopic Detection Methods over the Past Five Years // *Foods*. 2020. Vol. 9, Iss. 8. Article number 1069. DOI: 10.3390/foods9081069.

8. Ji Z., Zhang J., Deng C., Guo T., Han R., Yang Y., Zang C., Chen Y. Identification of pasteurized mare milk and powder adulteration with bovine milk using quantitative proteomics and metabolomics approaches // *Food Chemistry*: X. 2024. Vol. 22. Article number 101265. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101265.

9. Ji Z., Zhang J., Deng C., Hu Z., Du Q., Guo T., Wang J., Fan R., Han R., Yang Y. Identification of mare milk adulteration with cow milk by liquid chromatography-high resolution mass spectrometry based on proteomics and metabolomics approaches // *Food Chemistry*. 2023. Vol. 405, Part B. Article number 134901. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134901.

10. Li F., Zhang J., Wang Y. Vibrational Spectroscopy Combined with Chemometrics in Authentication of Functional Foods // *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2024. No. 54 (2). Pp. 333–354. DOI: 10.1080/10408347.2022.2073433.

11. Li W., Huang W., Fan D., Gao X., Zhang X., Meng Y., Liu T. C. Rapid quantification of goat milk adulteration with cow milk using Raman spectroscopy and chemometrics // *Anal Methods*. 2023. Vol. 15, No. 4. Pp. 455–461. DOI: 10.1039/d2ay01697d.

12. Mousa M. A. A., Wang Y., Antora S. A., Al-Qurashi A. D., Ibrahim O. H. M., He H. J., Liu S., Kamruz-zaman M. An overview of recent advances and applications of FT-IR spectroscopy for quality, authenticity, and adulteration detection in edible oils // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Vol. 62, No. 29. Pp. 8009–8027. DOI: 10.1080/10408398.2021.1922872.

13. Windarsih A., Rohman A., Irnawati I., Riyanto S. The Combination of Vibrational Spectroscopy and Chemometrics for Analysis of Milk Products Adulteration // *International Journal of Food Sciences*. 2021. No. 29. Article number 8853358. DOI: 10.1155/2021/8853358.

14. Сермягин А. А., Игнатъева Л. П., Лашнева И. А., Косицин А. А., Косицина О. В., Абдельманова А. С., Зиновьева Н. А. Использование высокопроизводительной инфракрасной спектроскопии при изучении полногеномных ассоциаций с жирнокислотным и компонентным составом молока у коров (*Bos Taurus*) // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57, № 6. С. 1083–1100. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.6.1083rus.

15. Parsain T., Tripathi A., Tiwari A. Detection of milk adulteration using coffee ring effect and convolutional neural network // *Food Additives and Contaminants. Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2024. Vol. 41, No. 7. Pp. 730–741. DOI: 10.1080/19440049.2024.2358518.

16. Anagaw Y. K., Ayenew W., Limenh L. W., Geremew D. T., Worku M. C., Tessema T. A., Simegn W., Mitku M. L. Food adulteration: causes, risks, and detection techniques-review // *SAGE Open Medicine*. 2024. Vol. 12. Article number 20503121241250184. DOI: 10.1177/20503121241250184.

17. Woźniak D., Cichy W., Dobrzyńska M., Przysławski J., Drzymała-Czyż S. Reasonableness of Enriching Cow's Milk with Vitamins and Minerals // *Foods*. 2022. Vol. 11, No. 8. Article number 1079. DOI: 10.3390/foods11081079.

18. Тишкина Т. Н., Вельматов А. А., Ерофеев В. И. Влияние периода года на жирнокислотный состав молочного жира и качество масла // *Вестник Ульяновской ГСХА*. 2023. Т. 61, № 1. С. 155–161. DOI: 10.18286/1816-4501-2023-1-155-160.

#### Об авторах:

**Татьяна Владимировна Вобликова**, доктор технических наук, профессор, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия; главный научный сотрудник, Кубанский технологический университет, Краснодар, Россия; ORCID 0000-0001-6306-8414, AuthorID 618609. E-mail: [tppshp@mail.ru](mailto:tppshp@mail.ru)

**Ирина Алексеевна Лиханова**, ассистент, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия; ORCID 0009-0004-7839-7711, AuthorID 1157981. E-mail: [irina.nerungry@gmail.com](mailto:irina.nerungry@gmail.com)

**Яков Николаевич Мануриков**, ассистент, Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого, Великий Новгород, Россия; ORCID 0009-0003-8781-8808, AuthorID 1175045. E-mail: [s232918@std.novsu.ru](mailto:s232918@std.novsu.ru)

#### References

1. Rohman A., Ghazali M. A. B., Windarsih A., Irnawati, Riyanto S., Yusof F.M., Mustafa S. Comprehensive Review on Application of FTIR Spectroscopy Coupled with Chemometrics for Authentication Analysis of Fats and Oils in the Food Products. *Molecules*. 2020; 22 (25): 5485. DOI: 10.3390/molecules25225485.

2. Chaudhary V., Kajla P., Dewan A., Pandiselvam R., Socol C. T., Maerescu C. M. Spectroscopic techniques for authentication of animal origin foods. *Frontiers in Nutrition*. 2022; 9: 979205. DOI: 10.3389/fnut.2022.979205.

3. Caballero D., Ríos-Reina R., Amigo J. M. Chemometrics and Food Traceability. *Reference Module in Food Science*. 2021: 387–406. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22859-X.

4. Balan B., Dhaulaniya A. S., Jamwal R., Amit, Sodhi K. K., Kelly S., Cannavan A., and Singh D. K., Application of Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) spectroscopy coupled with chemometrics for detection and quantification of formalin in cow milk. *Vibrational Spectroscopy*. 2020; 107: 103033. DOI: 10.1016/j.vibspec.2020.103033.
5. González-Domínguez R., Sayago A., Fernández-Recamales Á. An Overview on the Application of Chemometrics Tools in Food Authenticity and Traceability. *Foods*. 2022; 11 (23): 3940. DOI: 10.3390/foods11233940.
6. Du C., Zhao X., Chu C., Nan L., Ren X., Yan L., Zhang X., Zhang S., Teng Z. Identification and quantification of goat milk adulteration using mid-infrared spectroscopy and chemometrics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2024; 324: 124969. DOI: 10.1016/j.saa.2024.124969.
7. Hassoun A., Mâge I., Schmidt W. F., Temiz H. T., Li L., Kim H. Y., Nilsen H., Biancolillo A., Aït-Kaddour A., Sikorski M., Sikorska E., Grassi S., Cozzolino D. Fraud in Animal Origin Food Products: Advances in Emerging Spectroscopic Detection Methods over the Past Five Years. *Foods*. 2020; 9 (8): 1069. DOI: 10.3390/foods9081069.
8. Ji Z., Zhang J., Deng C., Guo T., Han R., Yang Y., Zang C., Chen Y. Identification of pasteurized mare milk and powder adulteration with bovine milk using quantitative proteomics and metabolomics approaches. *Food Chemistry: X*. 2024; 22: 101265. DOI: 10.1016/j.fochx.2024.101265.
9. Ji Z., Zhang J., Deng C., Hu Z., Du Q., Guo T., Wang J., Fan R., Han R., Yang Y. Identification of mare milk adulteration with cow milk by liquid chromatography-high resolution mass spectrometry based on proteomics and metabolomics approaches. *Food Chemistry*. 2023; 405 (B): 134901. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134901.
10. Li F., Zhang J., Wang Y. Vibrational Spectroscopy Combined with Chemometrics in Authentication of Functional Foods. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2024; 54 (2): 333–354. DOI: 10.1080/10408347.2022.2073433.
11. Li W., Huang W., Fan D., Gao X., Zhang X., Meng Y., Liu T. C. Rapid quantification of goat milk adulteration with cow milk using Raman spectroscopy and chemometrics. *Anal Methods*. 2023; 15 (4): 455–461. DOI: 10.1039/d2ay01697d.
12. Mousa M. A. A., Wang Y., Antora S. A., Al-Qurashi A. D., Ibrahim O. H. M., He H. J., Liu S., Kamruzaman M. An overview of recent advances and applications of FT-IR spectroscopy for quality, authenticity, and adulteration detection in edible oils. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022; 62 (29): 8009–8027. DOI: 10.1080/10408398.2021.1922872.
13. Windarsih A., Rohman A., Irnawati I., Riyanto S. The Combination of Vibrational Spectroscopy and Chemometrics for Analysis of Milk Products Adulteration. *International Journal of Food Sciences*. 2021; 29: 8853358. DOI: 10.1155/2021/8853358.
14. Sermiyagin A. A., Ignat'yeva L. P., Lashneva I. A., Kositsin A. A., Kositsina O. V., Abdel'manova A. S., Zinov'yeva N. A. Using of infrared high-performance spectrometry data for genome-wide associations study of fatty acid composition and milk components in dairy cattle (*Bos taurus*). *Agricultural Biology*. 2022; 57 (6): 1083–1100. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.6.1083rus. (In Russ.)
15. Parsain T., Tripathi A., Tiwari A. Detection of milk adulteration using coffee ring effect and convolutional neural network. *Food Additives and Contaminants. Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. 2024; 41 (7): 730–741. DOI: 10.1080/19440049.2024.2358518.
16. Anagaw Y. K., Ayenew W., Limenh L. W., Geremew D. T., Worku M. C., Tessema T. A., Simegn W., Mitku M. L. Food adulteration: Causes, risks, and detection techniques-review. *SAGE Open Medicine*. 2024; 12: 20503121241250184. DOI: 10.1177/20503121241250184.
17. Woźniak D., Cichy W., Dobrzyńska M., Przysławski J., Drzymała-Czyż S. Reasonableness of Enriching Cow's Milk with Vitamins and Minerals. *Foods*. 2022; 11 (8): 1079. DOI: 10.3390/foods11081079.
18. Tishkina T. N., Vel'matov A. A., Erofeev V. I. The influence of the period of the year on the fatty acid composition of milk fat and oil quality. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023; 61 (1): 155–161. DOI: 10.18286/1816-4501-2023-1-155-160. (In Russ.)

#### Authors' information:

**Tatyana V. Voblikova**, doctor of technical sciences, professor, Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia; chief researcher, Kuban Technological University, Krasnodar, Russia; ORCID 0000-0001-6306-8414, AuthorID 618609. *E-mail: tppshp@mail.ru*

**Irina A. Likhanova**, assistant, Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia; ORCID 0009-0004-7839-7711, AuthorID 1157981. *E-mail: irina.nerungry@gmail.com*

**Yakov N. Manurikov**, assistant, Yaroslav the Wise Novgorod State University, Veliky Novgorod, Russia; ORCID 0009-0003-8781-8808, AuthorID 1175045. *E-mail: s232918@std.novsu.ru*



## Морфометрические показатели медоносных пчел разных пород на территории Удмуртской Республики

С. Л. Воробьева<sup>1</sup>✉, А. С. Тронина<sup>1</sup>, В. М. Юдин<sup>1</sup>, В. В. Равилов<sup>1</sup>, О. П. Неверова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия

<sup>2</sup> Уральский государственный аграрный университет

✉ E-mail: vorobievasveta@mail.ru

**Аннотация.** В условиях Удмуртской Республики проведено изучение морфометрических показателей пчел разных пород. **Цель** работы – установить соответствие среднерусской породы, бакфаст и карника, разводимых на территории Удмуртской Республики, принятым стандартам породы. **Методы.** Исследования осуществлялись на стационарной пасеке Увинского района Удмуртской Республики. Формирование групп осуществлялось методом пар-аналогов с учетом силы пчелиной семьи, количества печатного расплода и конструкции улья по 10 семей каждой породы. Оценка морфометрических показателей проводилась согласно методике А. А. Алпатова (1948) с использованием бинокулярного микроскопа МИКМЕД-5 и линейки окуляр-микрометра. Результаты оценки сравнивались со стандартами исследуемых пород. **Научная новизна.** Впервые в условиях Удмуртской Республики проведена сравнительная оценка морфометрических показателей разных пород пчел. **Результаты.** Морфометрическая оценка пчел разных пород выявила, что анализируемые пчелы в целом соответствуют породным стандартам, отличительными особенностями пчел разных пород является наиболее длинный хоботок пчел породы карника (на 0,29 мм, или 4,6 %, длиннее, чем у помесей среднерусской породы, и на 0,12 мм, или 1,9 %, длиннее, чем у пчел породы бакфаст). Пчелы среднерусской породы отличаются наибольшим кубитальным индексом – 60,9 %, что больше, чем у пород карника и бакфаст, на 18,4–18,6 %, также отличительной чертой в строении крыльев пчел является положительное дискоидальное смещение у импортных пород в сравнении со среднерусской. Строение брюшка пчел по данным длины и ширины тергитов и стернитов характеризует массивность тельца пчел и косвенно размеры медового зобика: 10 мм – у особи среднерусской породы, 9,8 мм – у пчел породы карника, 9,79 мм – у пчел породы бакфаст. Длина данных промеров демонстрирует большие значения у среднерусской породы, характеризуя особей более удлиненным брюшком.

**Ключевые слова:** пчеловодство, порода, бакфаст, карника, среднерусская порода, морфометрические показатели, кубитальный индекс, длина хоботка

**Для цитирования:** Воробьева С. Л., Тронина А. С., Юдин В. М., Равилов В. В., Неверова О. П. Морфометрические показатели медоносных пчел разных пород на территории Удмуртской Республики // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1684–1693. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1684-1693>.

**Благодарности.** Данные исследования проводились в рамках исполнения гранта Российского научного фонда по теме «Изучение генетического разнообразия пород медоносных пчел, распространенных на территории Удмуртской Республики», конкурсе «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами».

**Дата поступления статьи:** 06.09.2024, **дата рецензирования:** 01.10.2024, **дата принятия:** 07.10.2024.

## Morphometric indices of honey bees of different breeds in the territory of the Udmurt Republic

S. L. Vorobyeva<sup>✉</sup>, A. S. Tronina<sup>1</sup>, V. M. Yudin<sup>1</sup>, V. V. Ravilov<sup>1</sup>, O. P. Neverova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia

<sup>2</sup> Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: vorobievsveta@mail.ru

**Abstract.** The morphometric parameters of different bee breeds were studied in the Udmurt Republic. **The purpose** of the work was to establish the compliance of the Central Russian, Buckfast and Carnica breeds bred in the Udmurt Republic with the accepted breed standards. **Methods.** The studies were carried out at a stationary apiary in the Uvinskiy District of the Udmurt Republic. Groups were formed using the pair-analogue method, taking into account the strength of the bee colony, the amount of sealed brood and the design of the hive for 10 colonies of each breed. The morphometric parameters were assessed according to the method of A. A. Alpatov (1948), using a MIKMED-5 binocular microscope and an eyepiece-micrometer ruler, the results of which were compared with the standards of the studied breeds. **Scientific novelty.** For the first time in the Udmurt Republic, a comparative assessment of the morphometric parameters of different bee breeds was carried out. **Results.** Morphometric assessment of bees of different breeds revealed that the analyzed bees generally correspond to breed standards, distinctive features of bees of different breeds include the longest proboscis of bees of the Carnica breed (0.29 mm or 4.6 % longer than that of crossbreeds of the Central Russian breed and 0.12 mm or 1.9 % longer than that of bees of the Buckfast breed). Bees of the Central Russian breed are distinguished by the highest cubital index – 60.9 %, which is 18.4–18.6 % more than that of the Carnica and Buckfast breeds, also a distinctive feature in the structure of the bees' wings is the positive discoidal displacement of imported breeds in comparison with the Central Russian. The structure of the abdomen of bees according to the length and width of the tergites and sternites characterizes the massiveness of the bees' body and indirectly the size of the honey stomach, so in bees of the three studied breeds it is 10 mm for individuals of the Central Russian breed, 9.8 mm for bees of the Carnica breed and 9.79 mm for bees of the Buckfast breed. The length of these measurements demonstrates greater values with Central Russian breeds, characterizing individuals with a more elongated abdomen.

**Keywords:** beekeeping, breed, Buckfast, Carnica, Central Russian breed, morphometric parameters, cubital index, proboscis length

**Acknowledgments.** These studies were conducted within the framework of the Russian Science Foundation grant on the topic of “Study of the genetic diversity of honey bee breeds common in the territory of the Udmurt Republic”, competition “Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by small individual scientific groups”.

**For citation:** Vorobyeva S. L., Tronina A. S., Yudin V. M., Ravilov V. V., Neverova O. P. Morphometric indices of honey bees of different breeds in the territory of the Udmurt Republic. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1684–1693. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1684-1693>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 06.09.2024, **date of review:** 01.10.2024, **date of acceptance:** 07.10.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Продовольственная безопасность населения по всему миру зависит от благополучности урожая энтомофильных культур. Значимый вклад в опыление растений вносят медоносные пчелы, способные опылять 30 % культурных и 90 % дикорастущих растений, внося в мировую экономику порядка 160 млрд долларов ежегодно [1].

Медоносная пчела *Apis mellifera* имеет порядка 30 подвидов, распространенных по всему миру. Достаточно широкий географический охват имеют подвиды *Apis mellifera carnica* (карника), *Apis mel-*

*lifera carpatica* (карпатская), *Apis mellifera caucasica* (серая горная кавказская) и порода бакфаст, искусственно выведенная в Англии длительной селекцией и сочетающая в себе лучшие качества итальянской *Apis mellifera ligustica*, английской *Apis mellifera mellifera*, греческой *Apis mellifera cecropia*, египетской *Apis mellifera tamarckii*, македонской *Apis mellifera macedonica* и азиатской *Apis mellifera anatoliaca* пчелы. Однако самой приспособленной к условиям холодного климата Северной Европы является подвид *Apis mellifera mellifera* (темная лесная) [2].

Среднерусская темная лесная порода медоносных пчел (*Apis mellifera mellifera*) является самой распространенной на территории Российской Федерации и рекомендуется к разведению в большинстве регионов страны согласно плану породного районирования. Широкий ареал обитания данной породы обуславливается рядом хозяйственно полезных признаков: высокий уровень акклиматизации и зимостойкости в суровых климатических условиях, резистентность к инфекционным заболеваниям расплода, значимая медовая продуктивность [3–5]. Однако среднерусская порода пчел характеризуется также злобливостью и высокой склонностью к роению, что мотивирует пчеловодов как промышленных пасек, так и пчеловодов-любителей использовать более миролюбивые породы медоносных пчел для оптимизации рабочих процессов на пасеке.

В результате деятельности человека система районирования разных пород на территории России в настоящее время не работает. Происходит активный завоз медоносных пчел южных пород, таких как карпатская, карника, итальянская, кавказская, бакфаст. В результате бессистемного и зачастую нецелесообразного завоза южных пород в зоны разведения среднерусской породы произошло существенное изменение в генотипе последних, что нарушает эволюционно сложившуюся адаптационную систему сообществ. Особенно ярко проявляются следы видоизменений в наследственной форме. Появившиеся в результате постоянной и интенсивной межпородной гибридизации особи теряют ряд отличительных черт, характерных для определенных пород, а также снижается возможность передачи стабильных свойств на генетическом уровне [6–8].

Хозяйственно полезные признаки пчелиных семей, такие как медовая и восковая продуктивность, зимостойкость, устойчивость к различного рода заболеваниям, сформировались под влиянием как естественного отбора, так и дальнейшей селекции их генотипа. Образовавшиеся в результате генетические комплексы представляют собой ценный материал, сохранение которого имеет селекционную значимость. Однако возникающие от хаотичного скрещивания особи представляют собой сочетание нескольких генетических структур, что приводит к деградации и размытию ценного генофонда медоносных пчел, в результате чего возникают проблемы с идентификацией особей и характеристикой их свойств, потере ценных признаков. Генотип пчелиных семей определяет их племенную ценность и обеспечивает передачу продуктивных качеств потомкам. Одно из условий сохранения чистоты генофонда любого биологического вида – его достоверная идентификация.

Цель работы – установить соответствие среднерусской породы, бакфаст и карники, разводимых на территории Удмуртской Республики, принятым стандартам породы.

### Методология и методы исследования (Methods)

Исследования осуществлялись на стационарной пасеке Увинского района Удмуртской Республики. Для проведения исследования было сформировано три опытные группы по 10 семей в каждой разной породной принадлежности. Формирование групп осуществлялось методом пар-аналогов с учетом силы пчелиной семьи, количеству печатного расплода и конструкции улья. Морфометрическая оценка проводилась на рабочих пчелах летней генерации согласно методике А. А. Алпатова (1948) по следующим показателям: длина хоботка, ширина и длина третьего тергита, ширина и третьего стернита, длина и ширина воскового зеркала и дискоидальное смещение с использованием бинокулярного микроскопа МИКМЕД-5 и линейки окуляр-микрометра. На основании полученных данных рассчитаны кубитальный и тарзальный индексы. Полученные результаты сравнивались со стандартами исследуемых пород [9–11]. Полученные данные подвергались статистической обработке с использованием прикладных программ MS Office (Microsoft Excel) [12; 13].

### Результаты (Results)

Оценка экстерьерных признаков является решающим фактором в определении породности пчел. Соответствие медоносных пчел заявленным породам осуществлялось при проведении морфометрической оценки с учетом наиболее важных показателей, характеризующих породную принадлежность, таких как длина хоботка, ширина и длина третьего тергита и стернита, ширина и длина воскового зеркала, тарзальный и кубитальный индексы, дискоидальное смещение (таблица 1) [14].

Некоторые промеры косвенно или прямо указывают на такие недостатки или преимущества в характеристике хозяйственно полезных признаков, как, например, длина хоботка, отражающая способность пчелы эффективно работать на различных медоносах, добывать нектар, залегающий глубоко в цветке [15; 16]. При оценке данного промера у представленных особей среднерусской породы пчел отметим, что значение длины хоботка соответствует стандартным показателям породы и составляет в среднем 6,27 мм. Однако наблюдается высокая вариабельность данного признака ( $Cv = 9,2\%$ ), значения которого находятся в пределах 5,75–6,67 мм, что может свидетельствовать о неоднородности пчел, так как данный показатель стабильно передается по наследству и обладает независимой селекционной значимостью.

Промеры элементов брюшной части тела пчел характеризуют размеры тела пчел, что, в свою очередь, влияет на уровень работоспособности и продуктивности особей. Так, от размеров тела пчелы зависят объем медового зобика, работа пищеварительного канала и дыхательной системы особей. Длина третьего тергита (спинное полукольцо) на

0,06 мм ниже стандарта породы, длина третьего стернита (брюшное полукольцо) на 0,10 мм ниже стандарта породы. Ширина третьего тергита и третьего стергита, наоборот, превышает стандарт породы на 0,1 мм и 0,44 мм соответственно. Такое распределение параметров наглядно демонстрирует, что тело анализируемых особей длиннее и уже, чем предписывает стандарт по среднерусской породе медоносных пчел.

Площадь восковых зеркалец является признаком потенциальной воскопродуктивности медоносных пчел. Показатели размеров воскового зеркала особей среднерусской породы отличаются от принятого по стандарту: так, его длина выше стандарта на 0,1 мм, а ширина ниже на 0,13 мм, что также свидетельствует об изменении формы брюшка пчелы в более удлиненную вариацию.

Тарзальный индекс, или индекс широколапости, практически не подвергается сезонным изменениям и применяется для определения породной принадлежности. Исследуемые особи имеют его более высокое значение, чем прописано в стандарте среднерусской породы, на 1,2 %, при этом вариабельность признака находится в пределах 53,2–60,8 %.

Кубитальный индекс также вычисляется для определения породной принадлежности медоносных пчел, являясь самым точным породным при-

знаком. Для его расчета оценивается третья кубитальная ячейка на крылышке пчелы отношением длины меньшей жилки к длине большей и выражается в процентах [17–19]. Для среднерусской породы установлен стандарт в 60–65 %. Исследования показали, что у анализируемых пчел кубитальный индекс соответствует стандарту, однако имеет большую вариабельность его значения ( $C_v > 10$  %), что свидетельствует о наличии примесей других пород пчел в их генотипе.

Дискоидальное смещение как породный показатель высчитывается с помощью определения расположения кубитальной ячейки и находящейся ниже нее радиальной. Для особей среднерусской породы пчел характерно отрицательное смещение, которое также зафиксировано у 97 % особей.

Исходя из вышеприведенного анализа необходимо заключить, что данную группу исследуемых семей нельзя однозначно отнести к среднерусской породе пчел.

В сравнении со среднерусской породой пчелы породы карника по своей природе характеризуются более длинным хоботком, что является неоспоримым преимуществом в период медосбора, и менее массивным телом. В таблице 2 представлены результаты морфометрической оценки пчел породы карника.

Таблица 1  
Морфометрические признаки пчел среднерусской породы

Показатель	$X \pm m$	Стандарт	$C_v$ , %	Lim
Длина хоботка, мм	$6,27 \pm 0,10$	6–6,4	9,2	5,78–6,67
Кубитальный индекс, %	$60,9 \pm 1,5$	60–65	19,7	48,0–69,2
Ширина третьего тергита, мм	$4,90 \pm 0,04$	4,8–5,2	4,3	4,52–5,26
Длина третьего тергита, мм	$2,29 \pm 0,02$	2,35	5,7	2,00–2,68
Ширина третьего стернита, мм	$5,10 \pm 0,04$	4,66	3,6	4,83–5,45
Длина третьего стернита, мм	$2,86 \pm 0,03$	2,96	6,2	2,54–3,20
Длина воскового зеркала, мм	$1,68 \pm 0,02$	1,55	7,6	1,47–1,93
Ширина воскового зеркала, мм	$2,41 \pm 0,03$	2,54	6,9	1,95–2,75
Тарзальный индекс, %	$56,7 \pm 0,4$	54,5–55,5	3,5	53,2–60,8
Дискоидальное смещение	Отрицательное у 97 % особей	Отрицательное у 95–100 % особей	–	–

Table 1  
Morphometric characteristics Central Russian breed of bees

Indicator	$X \pm m$	Standard	$C_v$ , %	Lim
The length of the proboscis, mm	$6.27 \pm 0.10$	6–6.4	9.2	5.78–6.67
Cubital index, %	$60.9 \pm 1.5$	60–65	19.7	48.0–69.2
Width of the third tergite, mm	$4.90 \pm 0.04$	4.8–5.2	4.3	4.52–5.26
Length of the third tergite, mm	$2.29 \pm 0.02$	2.35	5.7	2.00–2.68
Width of the third sternite, mm	$5.10 \pm 0.04$	4.66	3.6	4.83–5.45
Length of the third sternite, mm	$2.86 \pm 0.03$	2.96	6.2	2.54–3.20
Length of wax mirror, mm	$1.68 \pm 0.02$	1.55	7.6	1.47–1.93
Width of wax mirror, mm	$2.41 \pm 0.03$	2.54	6.9	1.95–2.75
Tarsal index, %	$56.7 \pm 0.4$	54.5–55.5	3.5	53.2–60.8
Discoidal displacement	Negative in 97 % of individuals	Negative in 95–100 % of individuals	–	–



Таблица 2  
Морфометрические признаки пчел породы карника

Показатель	$X \pm m$	Стандарт	$C_v, \%$	Lim
Длина хоботка, мм	$6,56 \pm 0,08$	6,5–6,9	7,9	5,87–6,79
Кубитальный индекс, %	$42,2 \pm 1,9$	37–60	24,1	27,3–71,4
Ширина третьего тергита, мм	$4,87 \pm 0,04$	4,8–5,1	4,3	4,46–5,20
Длина третьего тергита, мм	$2,39 \pm 0,02$	–	5,4	2,13–2,60
Ширина третьего стернита, мм	$4,93 \pm 0,06$	–	6,4	4,32–5,60
Длина третьего стернита, мм	$2,75 \pm 0,03$	–	6,5	2,42–3,15
Длина воскового зеркальца, мм	$1,56 \pm 0,03$	–	10,1	1,27–1,85
Ширина воскового зеркальца, мм	$2,29 \pm 0,02$	–	5,8	1,90–2,52
Тарзальный индекс, %	$56,0 \pm 0,3$	–	3,2	51,2–59,0
Дискоидальное смещение	Положительное у 68,2 % особей	–	–	–

Table 2  
Morphometric characteristics of Carnica bees

Indicator	$X \pm m$	Standard	$C_v, \%$	Lim
The length of the proboscis, mm	$6.56 \pm 0.08$	6.5–6.9	7.9	5.87–6.79
Cubital index, %	$42.2 \pm 1.9$	37–60	24.1	27.3–71.4
Width of the third tergite, mm	$4.87 \pm 0.04$	4.8–5.1	4.3	4.46–5.20
Length of the third tergite, mm	$2.39 \pm 0.02$	–	5.4	2.13–2.60
Width of the third sternite, mm	$4.93 \pm 0.06$	–	6.4	4.32–5.60
Length of the third sternite, mm	$2.75 \pm 0.03$	–	6.5	2.42–3.15
Length of wax mirror, mm	$1.56 \pm 0.03$	–	10.1	1.27–1.85
Width of wax mirror, mm	$2.29 \pm 0.02$	–	5.8	1.90–2.52
Tarsal index, %	$56.0 \pm 0.3$	–	3.2	51.2–59.0
Discoidal displacement	Positive in 68.2 % of individuals	–	–	–

Следует отметить, что имеющийся стандарт по породе карника регламентирует лишь показатели длины хоботка, ширину третьего тергита и кубитальный индекс. Анализируя полученные результаты, отмечаем, что длина хоботка соответствует имеющемуся стандарту и колеблется от 5,87 до 6,79 мм. В сравнении со среднерусской породой длина хоботка длиннее в среднем на 0,29 мм, что позволяет особям породы карника использовать нектароносность большего разнообразия растений.

По сравнению со среднерусской породой ширина третьего тергита отличается незначительно и соответствует породному стандарту 4,87 мм и колеблется в диапазоне 4,46–5,20 мм.

Проведенные исследования также подтверждают соответствие стандарту кубитального индекса по породе: среднее значение пчел породы карника составило 42,2 %, однако следует отметить значимую неоднородность пчел по данному признаку ( $C_v = 24,1 \%$ ), показатели которого варьируют в пределах 27,3–71,4 %.

Анализируя остальные показатели экстерьера, отмечаем, что пчелы породы карника уступают по всем показателям пчелам среднерусской породы, за исключением длины третьего тергита, величина которого превышает аналогичный показатель послед-

них (на 0,1 мм). Таким образом, размеры тела пчел породы карника меньше, чем у пчел среднерусской породы.

Размеры восковых зеркалец у исследуемых особей породы карника меньше, чем у анализируемых пчел среднерусской породы, до 0,12 мм как по длине, так и по ширине. Соответственно, можно судить об их более низкой потенциальной восковой продуктивности.

Также отличительными особенностями экстерьера данной породы является положительное дискоидальное смещение, выявленное у 68,2 % особей.

В целом необходимо отметить, что показатели экстерьера анализируемых пчел породы карника соответствуют стандартам, что подтверждает их породную принадлежность. Однако высокое значение коэффициента вариации кубитального индекса (24,1 %) говорит о неоднородности пчел породы карника по данному показателю.

Последние годы широкое распространение и популярность набирают пчелы породы бакфаст, характеризующиеся миролюбивостью, неройливостью и высокой медовой продуктивностью [20; 21]. Морфометрические признаки исследуемых пчел данной породы представлены в таблице 3.

Таблица 3

## Морфометрические признаки пчел породы бакфаст

Показатель	$X \pm m$	Standard	Cv, %	Lim
Длина хоботка, мм	6,44 ± 0,09	6–6,8	8,5	5,56–6,70
Кубитальный индекс, %	42,0 ± 1,1	33–58	14,8	28,0–52,6
Ширина третьего тергита, мм	4,85 ± 0,03	4,8–4,9	3,3	4,55–5,15
Длина третьего тергита, мм	2,40 ± 0,03	–	5,9	2,15–2,68
Ширина третьего стернита, мм	4,94 ± 0,04	–	4,2	4,56–5,28
Длина третьего стернита, мм	2,68 ± 0,04	–	7,3	2,35–3,10
Длина воскового зеркальца, мм	1,59 ± 0,03	–	8,4	1,40–1,89
Ширина воскового зеркальца, мм	2,31 ± 0,02	–	4,9	2,08–2,60
Тарзальный индекс, %	56,6 ± 0,3	–	3,3	53,3–60,0
Дискоидальное смещение	Положительное у 96 % особей	Положительное у 93–100 % особей	–	–

Table 3

## Morphometric characteristics of Buckfast bees

Indicator	$X \pm m$	Standard	Cv, %	Lim
The length of the proboscis, mm	6.44 ± 0.09	6–6.8	8.5	5.56–6.70
Cubital index, %	42.0 ± 1.1	33–58	14.8	28.0–52.6
Width of the third tergite, mm	4.85 ± 0.03	4.8–4.9	3.3	4.55–5.15
Length of the third tergite, mm	2.40 ± 0.03	–	5.9	2.15–2.68
Width of the third sternite, mm	4.94 ± 0.04	–	4.2	4.56–5.28
Length of the third sternite, mm	2.68 ± 0.04	–	7.3	2.35–3.10
Length of wax mirror, mm	1.59 ± 0.03	–	8.4	1.40–1.89
Width of wax mirror, mm	2.31 ± 0.02	–	4.9	2.08–2.60
Tarsal index, %	56.6 ± 0.3	–	3.3	53.3–60.0
Discoidal displacement	Positive in 96 % of individuals	Positive in 93–100 % of individuals	–	–

Таблица 4

## Косвенные породные признаки пчел

Показатель	Порода					
	Среднерусская		Карника		Бакфаст	
	Стандарт	Факт	Стандарт	Факт	Стандарт	Факт
Окрас	Серые	Серые	Серые	Серые	Светло-коричневый	Светло-коричневый
Печатка меда	Сухая	Сухая	Смешанная	Мокрая	Мокрая	Мокрая
Поведение пчел при открытии гнезда	Агрессивное	Агрессивное	Относительно миролюбивое	Относительно миролюбивое	Миролюбивое	Миролюбивое
Поведение пчел при осмотре сота	Висят на нижней части рамы	Висят на нижней части рамы	Остаются на соте, работают	Остаются на соте, работают	Остаются на соте, работают	Остаются на соте, работают

Table 4

## Indirect breed characteristics of bees

Indicator	Breed					
	Central Russian		Carnica		Bakfast	
	Standard	Fact	Standard	Fact	Standard	Fact
Color	Gray	Gray	Gray	Gray	Light brown	Light brown
Seal of honey	Dry	Dry	Mixed	Wet	Wet	Wet
Behavior of bees when opening a nest	Aggressive	Aggressive	Relatively peaceful	Relatively peaceful	Peaceful	Peaceful
Behavior of bees when inspecting a honeycomb	They hang on the bottom of the frame	They hang on the bottom of the frame	They stay on the honeycomb and work	They stay on the honeycomb and work	They stay on the honeycomb and work	They stay on the honeycomb and work

Анализируя морфометрические показатели пчел породы бакфаст, отмечаем, что средняя длина хоботка составляет 6,44 мм, что соответствует стандарту, превышая при этом значение данного промера среднерусских пчел на 0,17 мм. Ширина третьего tergита также соответствует стандарту: среднее значение признака составляет 4,85 мм. Кубитальный индекс по сравнению с пчелами среднерусской породы меньше на 18,9 % и составляет 42,0 %.

По остальным показателям выявлена аналогичная тенденция: у породы карника по сравнению со среднерусской породой исследуемые пчелы отличаются более длинным tergитом (на 0,11 мм), а по остальным показателям имеют меньшее значение, нежели пчелы среднерусской породы. Размеры восковых зеркала уступают показателям особей среднерусской породы, что снова дает возможность судить об их потенциальной восковой продуктивности. Дискоидальное смещение положительное у 96,0 % особей.

В повседневной работе с пчелами для определения породной принадлежности используются косвенные породные признаки, характеризующие их внешний вид и поведение. Результаты исследований косвенных породных признаков исследуемых пчелиных семей представлены в таблице 4.

Одним из ключевых показателей, относящимся к косвенным породным признакам медоносных пчел, является их окрас. Полученные на основании осмотра результаты позволили выявить серую окраску пчел у пород среднерусская и карника, что соответствует породным особенностям данных пород. Окрас пчел породы бакфаст также соответствует породному стандарту – светло-коричневый цвет пчел дает основание отнести исследуемых их к линии В 75.

Характерной печаткой меда среднерусской породы является сухая. Данный косвенный признак является хорошим конкурентным преимуществом над другими породами, так как светлая печатка имеет более привлекательный вид для потребителя сотового меда, темная или мокрая печатка меда характерны для южных пород. Проведенные исследования выявили сухую печатку у пчел условно среднерусской породы и мокрую у пчел породы бакфаст. Для пчел породы карника характерна смешанная печатка меда – у данных пчел может встречаться как светлая, так и темная, однако проведенный осмотр выявил только мокрую печатку меда.

Поведение пчел – один из ключевых аспектов их использования на крупных промышленных пасеках, так как агрессивность при осмотре гнезда на соте может создавать достаточно большой дискомфорт для пчеловода. В этой связи серьезным конкурентным преимуществом является содержание миролюбивых пород. Осмотр пчелиных семей

среднерусской породы выявил типичное поведение для данной породы: беспокойное агрессивное поведение при открывании гнезда, а в процессе осмотра гнезд пчелы покидали соты и свисали в нижней части гнездовых рамок. В связи с подобным поведением пчелиных семей рекомендовано обязательное использование дыма и пуск нескольких клубов дыма в леток перед осмотром гнезда.

Пчелы породы карника характеризуются миролюбивым поведением, однако практическое их использование показывает, что пчелы могут проявлять некоторую агрессивность: периодически наблюдаются усиление шума, активный лет пчел и ужаления пчеловода. Но чаще всего при открытии гнезд пчелы породы карника вели себя миролюбиво, а при осмотре сотов пчелы оставались на сотах и продолжали работать. Аналогичное поведение выявлено при осмотре пчелиных семей породы бакфаст.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Согласно результатам проведенных исследований, анализируемые пчелы в целом соответствуют породным стандартам по морфометрическим признакам, отличительными особенностями пчел разных пород является наиболее длинный хоботок пчел породы карника (на 0,29 мм, или 4,6 %, длиннее, чем у помесей среднерусской породы, и на 0,12 мм, или 1,9 %, длиннее, чем у пчел породы бакфаст). Пчелы среднерусской породы отличаются наибольшим кубитальным индексом – 60,9 %, что больше, чем у пород карника и бакфаст, на 18,4–18,6 %, также отличительной чертой в строении крыльев пчел является положительное дискоидальное смещение у импортных пород в сравнении со среднерусской. Строение брюшка пчел по данным длины и ширины tergитов и стернитов характеризует массивность тельца пчел и косвенно размеры медового зобика: он составляет 10 мм у особей среднерусской породы, 9,8 мм – у пчел породы карника и 9,79 мм у пчел породы бакфаст. Длина данных промеров демонстрирует большие значения у пчел среднерусской породы, характеризуя особей более удлиненным брюшком. Восковые зеркала также имеют большую площадь у анализируемых медоносных пчел среднерусской породы. Косвенные породные признаки исследуемых пчел в целом соответствуют характерным особенностям данных пород (окрас, печатка меда и характер поведения).

Проведенные сравнительные исследования показывают необходимость углубления существующих знаний об использовании медоносных пчел разных пород на территории Удмуртской Республики с позиции как идентификации пород на морфометрическом уровне, так и изучения приспособленности данных пород пчел к природно-климатическим условиям региона.

## Библиографический список

1. Гулов А. Н., Сайфутдинова З. Н., Брандорф А. З. Биоразнообразие медоносной пчелы *Apis mellifera* L. на территории России и пути его сохранения // Генетика и разведение животных. 2022. № 4. С. 114–123. DOI: 10.31043/2410-2733-2022-4-114-123.
2. Гузенко Е. В., Царь А. И., Лемеш В. А. Методы идентификации таксономической принадлежности медоносных пчел *Apis mellifera* L. // Молекулярная и прикладная генетика. 2022. Т. 32. С. 107–120. DOI: 10.47612/1999-9127-2022-32-107-120.
3. Гранкин Н. Н., Бакина С. Н., Фомина Е. А. [и др.] Полиморфизм и перспективы селекции темной европейской лесной пчелы российского ареала // Вестник аграрной науки. 2023. № 1 (100). С. 63–68. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2023.1.63.
4. Збанацкий О. В., Панышев А. Г. Актуальные вопросы и первоочередные задачи племенной работы в пчеловодстве России // Пчеловодство. 2021. № 5. С. 3–7.
5. Мещерякова Л. А. Породное разнообразие и флороспециализация пчёл в Тогульском районе Алтайского края // Вестник Алтайского ГАУ. 2021. № 7 (201). С. 86–90.
6. Frunze O., Brandorf A., Kang E. J., Choi Y. S. Beekeeping genetic resources and retrieval of honey bee *Apis mellifera* L. stock in the Russian Federation: a review. // Insects. 2021. Vol. 12, No. 8. Article number 684. DOI: 10.3390/insects12080684.
7. Соколов Н. А., Сафронов М. К. Содержание пчел породы карника в условиях Свердловской области [Электронный ресурс] // Молодежь и наука. 2021. № 4. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?ysclid=m4gnl5c48e904419335&id=46366843> (дата обращения: 20.08.2024).
8. Бородачев А. В., Савушкина Л. Н., Бородачев В. А. Сохранение биоразнообразия медоносных пчел для использования в селекции // Биомика. 2019. Т. 11, № 2. С. 147–157.
9. СТО 00669424-001–2021 «Методика измерения экстерьерных признаков медоносных пчел». Утвержден и введен в действие директором ФГБНУ «ФНЦ пчеловодства» от 16 декабря 2021 г. № 17. Рыбное: Стандартинформ, 2021. 40 с.
10. Тронина А. С., Воробьева С. Л., Юдин В. М. Мониторинг морфометрических показателей медоносных пчел Удмуртской Республики // Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ. Ижевск, 2023. Т. 2. С. 219–224.
11. Мазина Г. С., Кузьмин А. А. Morphometric characteristics of a breeding group of bees // Technical crops. Scientific agricultural journal. 2024. Vol. 4. Pp. 65–72. DOI: 10.54016/SVITOK.2024.20.75.008.
12. Воробьева С. Л., Федорова А. С. Анализ селекционных признаков среднерусской породы пчел и их помесей в Удмуртской Республике // Вестник Ижевской ГСХА. 2020. № 2 (62). С. 18–24. DOI: 10.48012/1817-5457\_2020\_2\_18.
13. Севрюгин В. С., Сафронов М. К. Физиологические особенности и характеристика среднерусской породы пчел // Молодежь и наука. 2019. № 3. С. 40. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=aipxsr&ysclid=m4gnrv37oq79876189> (дата обращения: 24.08.2024).
14. Petko M., Fedorovych V. Exterior features and morphometric parameters of the bees' wing of different breeding crosses of the Carpathian breed // Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. 2022. Vol. 24. Pp. 101–105. DOI: 10.32718/nvlvet-a9613.
15. Островерхова Н. В., Конусова О. Л. Некоторые проблемы идентификации подвидов медоносной пчелы и их решение на примере изучения *Apis mellifera* в Сибири // Сельскохозяйственная биология. 2022; Т. 57, № 2. С. 283–303. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.2.283rus.
16. Simankov M., Kolbina L. M. The morpho-ethological characteristics of honey bees *Apis mellifera* L. of Perm region // Аграрный вестник Урала. 2021. № 02 (205). С. 91–100. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-91-100.
17. Kovalskiy Yu., Zhmur V. Features of fat body development in the body of honey bees // Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. 2024. Vol. 26, No. 100. Pp. 179–183. DOI: 10.32718/nvlvet-a10028.
18. Березин А. С. Отклонения в жилковании крыльев медоносных пчел // Пчеловодство. 2023. № 4. С. 16–18.
19. Невитов М. Н., Баранник К. С. Морфометрические показатели особей семьи пчел породы бакфаст // Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сборник статей XVIII международной научно-практической конференции. Пенза, 2023. С. 331–335.
20. Голуб О. Н. Сохранение среднерусской породы // Пчеловодство. 2020. № 3. С. 48–49.
21. Королев Т. Ю. Влияние длины хоботка, ширины и длины третьего тергита, характера пчел на медовую продуктивность // Аллея науки. 2023. Т. 1, № 7 (82). С. 82–90.



**Об авторах:**

**Светлана Леонидовна Воробьева**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0001-5640-3472, AuthorID 106797. *E-mail: vorobievasveta@mail.ru*

**Анастасия Сергеевна Тронина**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры частного животноводства, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0001-5374-2655, AuthorID 1025632. *E-mail: anststron@mail.ru*

**Виталий Маратович Юдин**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0000-0001-9976-2029, AuthorID 663648. *E-mail: vitaliyjudin@yandex.ru*

**Владислав Викторович Равилов**, аспирант, Удмуртский государственный аграрный университет, Ижевск, Россия; ORCID 0009-0003-7701-3395, AuthorID 1224580. *E-mail: vlad2rava@gmail.com*

**Ольга Петровна Неверова**, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. *E-mail: kbpp@urgau.ru*

**References**

1. Gulov A. N., Sayfutdinova Z. N., Brandorf A. Z. Biodiversity of the honey bee *Apis mellifera* L. in Russia and ways of its conservation. *Genetics and Breeding of Animals*. 2022; 4: 114–123. DOI: 10.31043/2410-2733-2022-4-114-123. (In Russ.)

2. Guzenko E. V., Tsar A. I., Lemesh V. A. Methods for identifying the taxonomic affiliation of honey bees *Apis mellifera* L. *Molecular and Applied Genetics*. 2022; 32: 107–120. DOI: 10.47612/1999-9127-2022-32-107-120.2. (In Russ.)

3. Grankin N. N., Bakina S. N., Fomina E. A., et al. Polymorphism and prospects of selection of the dark European forest bee of the Russian range. *Bulletin of Agrarian Science*. 2023; 1 (100): 63–68. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2023.1.63. (In Russ.)

4. Zbanatskiy O. V., Panyshv A. G. Current issues and priority tasks of breeding work in beekeeping in Russia. *Beekeeping*. 2021; 5: 3–7. (In Russ.)

5. Meshcheryakova L. A. Species diversity and flora specialization of bees in the Togulsky district of the Altai Territory. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2021; 7 (201): 86–90. (In Russ.)

6. Frunze O., Brandorf A., Kang E. J., Choi Y. S. Beekeeping genetic resources and retrieval of honey bee *Apis mellifera* L. stock in the Russian Federation: a review. *Insects*. 2021; 12 (8): 684. DOI: 10.3390/insects12080684.

7. Sokolov N. A., Safronov M. K. Keeping Carnica bees in the Sverdlovsk region. *Molodezh' i nauka* [Internet]. 2021 [cited 2024 Aug 20]; 4. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?ysclid=m4gnl5c48e904419335&id=46366843>. (In Russ.)

8. Borodachev A. V., Savushkina L. N., Borodachev V. A. Conservation of honey bee biodiversity for use in breeding. *Biomics*. 2019; 11 (2): 147–157. (In Russ.)

9. Organization standard 00669424-001–2021 “Methodology for measuring the exterior characteristics of honey bees”. Approved and put into effect by the Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Beekeeping” on December 16, 2021, No. 17. Rybnoe: Standartinform, 2021. 40 p. (In Russ.)

10. Tronina A. S., Vorob'eva S. L., Yudin V. M. Monitoring of morphometric parameters of honey bees of the Udmurt Republic. *Innovative solutions to strategic tasks of the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Udmurt State Agrarian University*. Izhevsk, 2023. Vol. 2. Pp. 219–224. (In Russ.)

11. Mazina G. S., Kuz'min A. A. Morphometric characteristics of a breeding group of bees. *Technical crops. Scientific Agricultural Journal*. 2024; 4: 65–72. DOI: 10.54016/SVITOK.2024.20.75.008.

12. Vorob'eva S. L., Fedorova A. S. Analysis of selection characteristics of the Central Russian bee breed and their hybrids in the Udmurt Republic. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2020; 2 (62): 18–24. DOI: 10.48012/1817-5457\_2020\_2\_18. (In Russ.)

13. Sevryugin V. S., Safronov M. K. Exterior features and morphometric parameters of the whole wing of different breeding crosses of the Carpathian breed. *Molodezh' i Nauka* [Internet]. 2021 [cited 2024 Aug 20]; 4. Available from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=aipxsr&ysclid=m4gnrv37oq79876189>. (In Russ.)

14. Petko M., Fedorovych V. Exterior features and morphometric parameters of the bees' wing of different breeding crosses of the Carpathian breed. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2022; 24: 101–105. DOI: 10.32718/nvlvet-a9613.

15. Ostroverkhova N. V., Konusova O. L. Some problems of identification of honey bee subspecies and their solution on the example of studying *Apis mellifera* in Siberia. *Agricultural Biology*. 2022; 57 (2): 283–303. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.2.283rus. (In Russ.)
16. Simankov M., Kolbina L. M. The morpho-ethological characteristics of honey bees *Apis mellifera* L. of Perm region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2021; 205: 91–100. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-205-02-91-100.
17. Kovalskiy Yu., Zhmur V. Features of fat body development in the body of honey bees. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2024; 26 (100): 179–183. DOI: 10.32718/nvlvet-a10028.
18. Berezin A. S. Deviations in wing venation of honey bees. *Beekeeping*. 2023; 4: 16–18. (In Russ.)
19. Nevitov M. N., Barannik K. S. Morphometric parameters of individuals of the Buckfast bee family. *Agro-industrial Complex: State, Problems, Prospects: collection of articles of the XVIII international scientific and practical conference*. Penza, 2023. Pp. 331–335. (In Russ.)
20. Golub O. N. Preservation of the Central Russian breed. *Beekeeping*. 2020; 3: 48–49. (In Russ.)
21. Korolev T. Yu. The influence of the length of the proboscis, the width and length of the third tergite, the character of bees on honey productivity. *Alleya Nauki*. 2023; 1 (7): 82–90 (In Russ.)

#### **Authors' information**

**Svetlana L. Vorobyeva**, doctor of agricultural sciences, professor of the department of feeding and breeding of farm animals, Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0001-5640-3472, AuthorID 106797. *E-mail: vorobievsveta@mail.ru*

**Anastasia S. Tronina**, candidate of agricultural sciences, senior lecturer of the department of private animal husbandry, Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0001-5374-2655, AuthorID 1025632. *E-mail: anststron@mail.ru*

**Vitaliy M. Yudin**, candidate of agricultural sciences, associate professor of the department of feeding and breeding of farm animals, Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia; ORCID 0000-0001-9976-2029, AuthorID 663648. *E-mail: vitaliyiudin@yandex.ru*

**Vladislav V. Ravilov**, postgraduate, Federal Udmurt State Agrarian University, Izhevsk, Russia; ORCID 0009-0003-7701-3395, AuthorID 1224580. *E-mail: vlad2rava@gmail.com*

**Olga P. Neverova**, candidate of biological sciences, associate professor, head of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. *E-mail: kbpp@urgau.ru*

## Влияние биологической кормовой добавки на микробиоту, показатели молочной продуктивности и воспроизводства коров голштинской породы

Т. С. Сметанникова<sup>1,2</sup>, В. А. Филиппова<sup>1,3</sup>, Е. А. Йылдырым<sup>1,3</sup>✉, И. А. Ключникова<sup>1</sup>, Л. А. Ильина<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

<sup>2</sup> АО «Гатчинское», д. Большие Колпаны, Ленинградская область, Россия

<sup>3</sup> ООО «БИОТРОФ», Санкт-Петербург, Россия

✉ E-mail: [deniz@biotrof.ru](mailto:deniz@biotrof.ru)

**Аннотация.** В условиях интенсивного животноводства организм коров испытывает множество стрессов, особенно в транзитный период. Важно разработать биологическую стратегию кормления, которая будет способствовать улучшению молочной продуктивности при минимальных нарушениях фертильности коров. **Цель** работы – исследование эффекта биологической кормовой добавки, в состав которой входят штамм бактерии *Bacillus mucilaginosus*, смесь органических кислот и растительных веществ, применяемой в транзитный период лактации, на показатели молочной продуктивности и воспроизводства коров голштинской породы. **Методы.** 40 животных-аналогов были разделены на две группы: 1-я (контрольная) группа получала основной рацион (ОР), 2-я (опытная) группа получала ОР и биологическую кормовую добавку «АнтиКлос» (ООО «БИОТРОФ», Россия). **Результаты.** Анализ данных лактационных кривых на протяжении 150 дней лактации показал, что животные опытной группы имели более высокий уровень молочной продуктивности по сравнению с контрольной группой как по окончании периода скармливания кормовой добавки «АнтиКлос», так и в период последействия (до 120 суток после отела) ( $P \leq 0,05$ ). Так, по завершении периода скармливания кормовой добавки «АнтиКлос» продуктивность животных контрольной группы составляла  $44,3 \pm 1,44$  кг, опытной группы –  $48,4 \pm 1,89$  кг. Сервис-период в контроле был длиннее, чем в опытной группе, на 7,9 суток. Индекс осеменения в опытной группе снизился с 2,2 (в контроле) до 1,9. Случаи выявления у животных кист яичников сократились в 2 раза по сравнению с контролем.

**Ключевые слова:** АнтиКлос, кормовая добавка, коровы голштинской породы, молочная продуктивность, параметры воспроизводства

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 24-16-00131.

**Для цитирования:** Сметанникова Т. С., Филиппова В. А., Йылдырым Е. А., Ключникова И. А., Ильина Л. А. Влияние биологической кормовой добавки на показатели молочной продуктивности и воспроизводства коров голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1694–1704. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1694-1704>.

**Дата поступления статьи:** 13.06.2024, **дата рецензирования:** 10.09.2024, **дата принятия:** 07.11.2024.

# The influence of a biological feed additive on the microbiota, milk productivity and reproduction parameters of Holstein cattle

T. S. Smetannikova<sup>1,2</sup>, V. A. Filippova<sup>1,3</sup>, E. A. Yyldyrym<sup>1,3</sup>✉, I. A. Klyuchnikova<sup>1</sup>, L. A. Ilyina<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia

<sup>2</sup> Gatchinskoe JSC, Bolshie Kolpany village, Leningrad region, Russia

<sup>3</sup> BIOTROF LLC, Saint Petersburg, Russia

✉ E-mail: deniz@biotrof.ru

**Abstract.** In context of intensive animal husbandry, the body of cattle feels a lot of stress, especially during the transition period. It is important to develop a biological feeding strategy that will contribute to improving milk productivity with minimal fertility disorders of cattle. **Purpose** of the research is to study the effect of a biological feed additive based on a strain of the bacterium *Bacillus mucilaginosus*, organic acids and plant substances used during the transition period of lactation, on the indicators of milk productivity and reproduction of Holstein cattle. **Methods.** 40 animal analogues were divided into two groups: 1 – control group – were fed the main ration, 2 – experimental group – were fed the main ration and the biological feed additive “AntiKlos” (BIOTROF LLC, Russia). **Results.** Analysis of the data of lactation curves during 150 days of lactation showed that the animals of the experimental group had a higher level of milk productivity compared with the control group as at the end of the period of feeding the “AntiKlos” feed additive, as during the aftereffect (up to 120 days after calving) ( $P \leq 0.05$ ). Therefore, at the end of the feeding period of the “AntiKlos” feed active the productivity of animals in control group was  $44.3 \pm 1.44$  kg, in experimental group –  $48.4 \pm 1.89$  kg. Service period in the control group 1 was higher than in the experimental group 2 by 7.9 days. The insemination index under the influence of the “AntiKlos” feed additive decreased from 2.2 (in control group) to 1.9 (in experimental group), cases of detection of ovarian cysts in animals decreased by 2 times compared with the control.

**Keywords:** AntiKlos, feed additive, Holstein cattle, milk productivity, reproduction parameters

**Acknowledgments.** The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant No. 24-16-00131.

**For citation:** Smetannikova T. S., Filippova V. A., Yyldyrym E. A., Klyuchnikova I. A., Ilyina L. A. The effect of a biological feed additive on indicators of dairy productivity and reproduction of Holstein cows. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1694–1704. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1694-1704>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 13.06.2024, **date of review:** 10.09.2024, **date of acceptance:** 07.11.2024.

## Постановка проблемы (Introduction)

В мире производство молочной продукции считается одним из ведущих секторов экономики. Так, в 2020 году мировое производство молока достигло почти 906 миллионов тонн [1]. Любой сбой в производстве молока, вызванный заболеванием или другой патологией у лактирующих коров, может привести к существенным экономическим потерям, а инфекционные заболевания, возникающие в цепочке производства продукции животноводства могут приводить к угрозам для общественного здравоохранения, таким как возникновение устойчивости к антибиотикам.

На сегодняшний день увеличение содержания энергии и сахаров в рационе молочного скота с помощью концентрированных кормов для роста молочной продуктивности является общепринятой практикой в животноводстве. Однако это может

приводить к дисбиозу микробиоты рубца, последующим изменениям ферментации в рубце и, как следствие, к метаболическим нарушениям, которые ухудшают здоровье коров и в конечном счете молочную продуктивность [2]. Нарушение микробиома связано с тем, что избыточное количество сахаров и крахмала вызывает повышенное накопление органических кислот в рубце и из-за нестабильности буферных механизмов может негативно повлиять на микробиоту [3]. Фактически при более низких значениях pH некоторые виды бактерий «процветают» в ущерб другим, прежде всего целлюлозолитикам и бактериям, продуцирующим летучие жирные кислоты (ЛЖК), в результате меняется метаболический профиль. Такие условия могут вызвать увеличение численности болезнетворных микроорганизмов, а также выработку токсинов.



Для животных наиболее критическим периодом является переходный (транзитный) – 21 день до и 21 день после отела. Это критическая фаза, когда крупный рогатый скот наиболее остро нуждается в дополнительной поддержке для полного восстановления лактации и функции воспроизводства за счет профилактики метаболических расстройств [4].

Повышенная потребность в энергии и питательных веществах для синтеза молозива и молока в сочетании со снижением потребления корма приводит к тому, что коровы в переходный период испытывают отрицательный энергетический баланс и дефицит микроэлементов. Это стимулирует организм мобилизовать жировые отложения в виде незатерифицированных жирных кислот, в крови накапливается бета-гидроксималяновая кислота. Высокопродуктивные животные часто не способны адаптироваться к этой метаболической проблеме. Чрезмерное повышение уровня данных веществ часто связано с плохими продуктивными и репродуктивными показателями. Развитие ожирения печени ухудшает ее глюконеогенную активность, что снижает уровень глюкозы в крови и секрецию инсулина. Это будет способствовать большей мобилизации липидов и увеличению скорости поглощения жирных кислот печенью, а также усилению кетогенеза.

Дисбаланс потребности в энергии и поступления питательных веществ часто приводит к различным метаболическим нарушениям, таким как жировая инфильтрация печени, кетоз (клинический или субклинический), рубцовый ацидоз (подострый или острый), молочная лихорадка (субклиническая или клиническая) и нарушения иммунной функции. В транзитный период у молочных коров может появиться предрасположенность к проблемам с воспроизводством, таким как клинический и субклинический эндометрит, снижение частоты зачатия, эмбриональная смертность и др. [4]. Поэтому от успеха транзитного периода зависят не только последующая молочная продуктивность на протяжении всей лактации, но и показатели воспроизводства, а значит, рентабельность коров.

В связи с запретом на использование антибиотиков для стимуляции роста и профилактики заболеваний животных, а также обязательным сокращением использования противомикробных препаратов растет спрос на продукты, которые будут оказывать аналогичное положительное влияние на производство и здоровье [5]. Именно поэтому пробиотики в последнее время оказались в центре научного интереса, их использование на животноводческих фермах начало значительно возрастать [6].

Важно разработать биологическую стратегию кормления, которая будет способствовать улучшению молочной продуктивности при минимальных нарушениях метаболизма и фертильности и минимальном риске для окружающей среды. Мы пока-

зали, что фитопробиотик «Провитол» регулирует состав микробиоты влагиалища коров через оптимизацию состава микробиома рубца [7]. Наиболее значительные положительные эффекты для здоровья жвачных животных следует ожидать в периоды выраженного стресса для животного и его микробиома, т. е. в периоды отъема, начала лактации, перехода на корм, богатый легкоусвояемыми углеводами, транзитный период. Применение биологических кормовых добавок в транзитный период может профилактировать нарушения состояния здоровья коров в наиболее уязвимую фазу, что может оказать долгоиграющее позитивное действие на зоотехнические показатели и уровень воспроизводительной способности [7].

#### Методология и методы исследования (Methods)

Эксперимент по скормливанию кормовой добавки проводили в коммерческом животноводческом хозяйстве Ленинградской области на коровах молочного направления голштинской породы второй – третьей лактации. Соблюдались все пункты требований Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123, Страсбург, 1986). Живая масса коров – 700 кг, среднесуточный надой за предыдущую лактацию – 45 кг. Животные были в одинаковых условиях на беспривязном содержании. 40 животных были разделены на две группы по методу групп-аналогов (по 20 животных в каждой группе): 1-я (контрольная) группа получала основной рацион (ОР), 2-я (опытная) группа получала ОР и биологическую кормовую добавку «АнтиКлос» (ООО «БИОТРОФ», Россия). Расчет рационов коров проводили с применением программы AMTS.Cattle.Professional (<https://agmodelsystems.com>).

«АнтиКлос» содержит штамм бактерии *Bacillus mucilaginosus*, органические кислоты и растительные вещества. Штамм *B. mucilaginosus* является собственностью коллекции ООО «БИОТРОФ». Клетки штамма – неподвижные палочки с округлыми концами. Штамм формирует эндоспоры, расположенные субтерминально, имеет жгутики. По сведениям НИИЦ токсикологии и гигиенической регламентации биопрепаратов – филиала ФГБУ «ГНЦ Институт иммунологии» ФМБА России, штамм не имеет свойств вирулентности и токсигенности, нетоксичен для лабораторных животных. Штамм *B. mucilaginosus* культивируют при температуре 37 °С на среде ГРМ-питательный бульон следующего состава (г/л): пептон ферментативный – 8, панкреатический гидролизат рыбной муки – 8, натрий хлористый – 4, pH = 7,2 ± 0,2 (ООО «Сиана», Россия). В лаборатории ООО «БИОТРОФ» определена активность штамма *B. mucilaginosus* в отношении клостридий. Культуру (предварительно выращиваемую 1 сутки) штамма высевали штрихом на плотные

агаризованные среды RCB и кровяной агар (ООО «БИОМЕДИА», Россия) по диаметру (диагонали) чашки Петри стерильным тампоном. Посевы инкубировали при температуре 37 °С в течение 24 ч. Высоковирулентные штаммы *Clostridium perfringens* 13124, 10543, 12916 (коллекция ATCC) засеивали в пробирки с тиогликолевой средой и инкубировали в условиях анаэробноза при 37 °С в течение 24 ч. Оценку результатов проводили в соответствии с GPhM 1.7.2.0009.15 (Determination of the specific activity of probiotics). Штаммы *C. perfringens* были выбраны из коллекции согласно их способности к синтезу различных токсинов, т. е. принадлежности к различным типам в соответствии с современной классификацией. Штамм *C. perfringens* 13124 относится к типу А, поскольку выделяет  $\alpha$  токсин (CPA) и перфринголизин О (PfoA), *C. perfringens* 12916 (тип F) синтезирует CPA и энтеротоксин (CPE), *C. perfringens* 10543 (тип С) производит одновременно 4 токсина: CPA, CPE, beta2 токсин (CPB2), Pfoa. Это позволило предположить высокий уровень из вирулентности и способность вызывать клостридиозы у животных и птиц. Кроме того, методом лунок (диффузии в агаризованную питательную среду) была проведена оценка антимикробной активности *Bacillus* spp. к другим бактериальным видам, таким как *E. coli* K-12 F+Str.R (KS-507), *Salmonella typhimurium* LT2, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Pseudomonas aeruginosa* TO (коллекция ВКПМ), которые часто являются этиологическим началом гастроэнтеритов у животных, включая смешанные инфекции. Чашки Петри со средой агар Мюллера – Хинтона (ООО «БИОЛАЙТ СПб», Россия) предварительно засеивали тест-штаммами. Затем в толще остывшей агаризованной среды стерильными металлическими цилиндрами проделывали отверстия диаметром 8 мм. 100 мкл суточной культуры штамма *B. mucilaginosus* (которую культивировали на среде ГРМ при 37 °С в течение 24 часов) в концентрации  $1 \times 10^8$  КОЕ/мл помещали в лунки. В качестве контрольного варианта использовали стерильную среду ГРМ. Чашки Петри культивировали в условиях анаэробноза при температуре 38 °С. Через 24 часа роста оценивали уровень антимикробной активности.

Кормовая добавка вводилась в состав полнорационного рациона опытной группы 2 из расчета по 50 г/гол/сут в транзитный период – за 21 день до отела (сухостой), затем 21 после отела – в новотельный период.

Показатели молочной продуктивности и параметры воспроизводства (продолжительность сервис-периода, индекс осеменения, факт установления стельности, кисты яичников) были получены с помощью автоматизированной системы управления стадом AfiMilk (AfiFarm, <https://www.afimilk.com/ru/afifarm>) (AfiMilk Ltd, США).

Для анализа состава микробиоты у трех клинически здоровых коров из каждой группы отбирали пробы химуса прямой кишки в конце периода скармливания добавки (на 21-й день после отела). Отбор осуществляли с соблюдением условий асептики. Образцы отбирали непосредственно из прямой кишки каждого животного, используя одноразовые перчатки. Пробы замораживали при –30 °С и транспортировали при отрицательных температурах для исследований состава микробиоты.

В лаборатории ООО «БИОТРОФ+» суммарную ДНК из образцов выделяли с использованием набора Genomic DNA Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, Inc., США). Оценку состава микроорганизмов методом ПЦР в реальном времени на термоджеле ДТ Lite-4 (ООО «НПО ДНК-Технология», Россия). Использовали «Набор реактивов для проведения ПЦР-РВ в присутствии интеркалирующего красителя EVA Green» (ЗАО «Синтол», Россия). Перечень праймеров (5'-3') находится в таблице 1, условия амплификации: 95 °С – 3 мин. (1 цикл), 95 °С – 1 мин., 57,6 °С – 1 мин., 72 °С – 1 мин. (40 циклов), 72 °С – 5 мин. (1 цикл).

Математическую и статистическую обработку результатов проводили с использованием стандартной методики однофакторного дисперсионного анализа в программах Microsoft Excel XP/2010, R-Studio (Version 1.1.453) (<https://rstudio.com>). Для оценки достоверности использовали *t*-критерий Стьюдента.

### Результаты (Results)

Анализ данных лактационных кривых на протяжении 150 дней лактации показал, что животные опытной группы 2 имели более высокий уровень молочной продуктивности по сравнению с контрольной группой 1 как по окончании периода скармливания кормовой добавки «АнтиКлос», так и в период последействия (до 120 суток после отела) ( $P \leq 0,05$ ) (рис. 1). Так, по завершении периода скармливания кормовой добавки «АнтиКлос» продуктивность животных контрольной группы 1 составляла  $44,3 \pm 1,44$  кг, опытной группы 2 –  $48,4 \pm 1,89$  кг. В период последействия кормовой добавки достоверная разница по уровню молочной продуктивности между опытной группой 2 и контрольной группой 1 сохранялась до 120-го дня лактации ( $P \leq 0,05$ ), далее нивелировалась ( $P > 0,05$ ). Увеличенная молочная продуктивность в опытной группе 2 может быть связана с восстановлением под влиянием добавки нарушенного метаболизма животных. Дело в том, что в транзитный период (в который применяли «АнтиКлос» на опытной группе 2) обычно происходит снижение потребления сухого вещества у животных из-за растущего плода, что сопровождается чрезмерной мобилизацией тканей организма для компенсации энергетических потребностей. В новотельный период и период на-



Рис. 1. Лактационные кривые коров голштинской породы в контрольной группе 1 ( $n = 20$ ) и опытной группе 2 ( $n = 20$ )

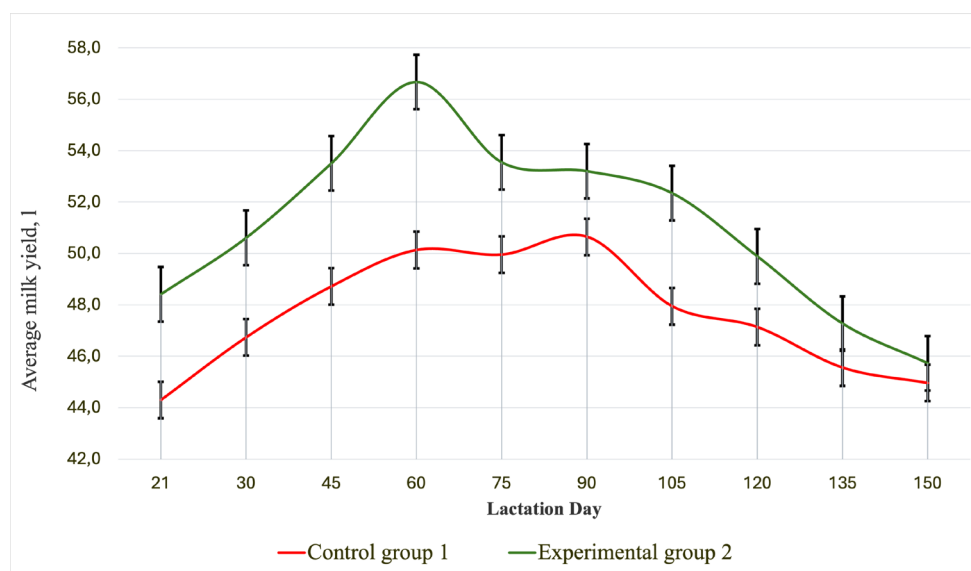


Fig. 1. Lactation curves of Holstein cattle in control group 1 ( $n = 20$ ) and experimental group 2 ( $n = 20$ )

чала пика лактации молочные коровы, как правило, испытывают дефицит энергии [8]. Высокие энергетические потребности для производства молока не удовлетворяются из-за физиологических ограничений, связанных с потреблением корма. Было высказано предположение, что этот энергетический дефицит оказывает пагубное воздействие на здоровье и фертильность [4]. Восстановление массы тела и метаболического профиля до нормального уровня может наступить только через 20 недель после начала лактации [4]. Добавление в рацион кормовой добавки в опытной группе 2, вероятно, поддерживало гомеостаз микробиоты рубца, что приводило к профилактике метаболических заболеваний, повышало эффективность переработки корма, и в итоге приводило к увеличению производства молока [10].

Максимальный эффект от применения добавки в транзитный период отмечался в период после-

действия на пике лактации: разница между опытной группой 2 и контрольной группой 1 составляла 11,5 % ( $P > 0,05$ ).

Рентабельность молочной фермы во многом зависит не только от производства молока, но и от репродуктивных показателей [10]. Одним из параметров воспроизводства, признанных критическими для оценки репродуктивных показателей фермы, является сервис-период [11]. По данным рис. 2 видно, что сервис-период в контрольной группе 1 был длиннее, чем в опытной группе 2, на 7,9 суток. Сервис-период — это ключевой параметр воспроизводства: чем он меньше, тем эффективнее используются ресурсы молочного предприятия. Улучшение ритмов воспроизводства приводит к получению дополнительной прибыли, в частности, в виде дополнительного молока.

Таксоны микроорганизмов	Последовательности праймеров
Общее количество бактерий	ACT CCT ACG GGA GGC AGC AG GTA TTA CCG CGG CTG CTG GCA
<i>Lactobacillus</i> sp.	AGC AGT AGG GAA TCT TCC A CAC CGC TAC ACA TGG AG
<i>Megasphaera</i> sp., <i>Veillonella</i> sp. и <i>Dialister</i> sp.	GATGGGGACAACAGCTGGA GACTCTGTTTTGGGG
<i>Streptococcus</i> sp.	AATTCTAATACGACTCACTATAGGGCAAGTCGAGCGAACAGACGA TGTCACCGGCAGTCAACTTA
<i>Lachnobacterium</i> sp. и <i>Clostridium</i> sp.	GTGAAATGCGTAGAGATTAGGAA GATYYGCGATTACTAGYAACTC
<i>Atopobium</i> sp.	AGTTTGATCCTGGCTCAG ATTACCGCGGCTGCTGG
<i>Staphylococcus</i> sp.	GGC CGT GTT GAA CGT GGT CAA ATC TIA CCA TTT CAG TAC CTT CTG GTA A
Сем. <i>Fusobacteriaceae</i>	CGCAGAAGGTGAAAGTCCTGTAT TGGTCCTCACTGATTCACACAGA
Сем. <i>Enterobacteriaceae</i>	CAT TGA CGT TAC CCG CAG AAG AAG C CTC TAC GAG ACT CAA GCT TGC
<i>Prevotella</i> sp. и <i>Porphyromonas</i> sp.	GAGTACGCCGGCAACGGTGA TCACCGTTGCCGGCGTACTC
<i>Mobiluncus</i> sp. и <i>Corynebacterium</i> sp.	GGAAGGAYGCATCTTGGCAGTCT CATYGGGAARTCRCCGATGA
<i>Peptostreptococcus</i> sp.	AGAGTTTGATCMTGGCTCAG ACGGGCGGTGTGTRC
<i>Eubacterium</i> sp.	TCCCTTACTAGGCACCCA AGGGAAUGAUCCGUGGGU

Table 1  
Primer sequences for bacterial analysis

Microorganism taxa	Primer sequences
Total number of bacteria	ACT CCT ACG GGA GGC AGC AG GTA TTA CCG CGG CTG CTG GCA
<i>Lactobacillus</i> sp.	AGC AGT AGG GAA TCT TCC A CAC CGC TAC ACA TGG AG
<i>Megasphaera</i> sp., <i>Veillonella</i> sp. and <i>Dialister</i> sp.	GATGGGGACAACAGCTGGA GACTCTGTTTTGGGG
<i>Streptococcus</i> sp.	AATTCTAATACGACTCACTATAGGGCAAGTCGAGCGAACAGACGA TGTCACCGGCAGTCAACTTA
<i>Lachnobacterium</i> sp. and <i>Clostridium</i> sp.	GTGAAATGCGTAGAGATTAGGAA GATYYGCGATTACTAGYAACTC
<i>Atopobium</i> sp.	AGTTTGATCCTGGCTCAG ATTACCGCGGCTGCTGG
<i>Staphylococcus</i> sp.	GGC CGT GTT GAA CGT GGT CAA ATC TIA CCA TTT CAG TAC CTT CTG GTA A
Ph. <i>Fusobacteriaceae</i>	CGCAGAAGGTGAAAGTCCTGTAT TGGTCCTCACTGATTCACACAGA
Ph. <i>Enterobacteriaceae</i>	CAT TGA CGT TAC CCG CAG AAG AAG C CTC TAC GAG ACT CAA GCT TGC
<i>Prevotella</i> sp. and <i>Porphyromonas</i> sp.	GAGTACGCCGGCAACGGTGA TCACCGTTGCCGGCGTACTC
<i>Mobiluncus</i> sp. and <i>Corynebacterium</i> sp.	GGAAGGAYGCATCTTGGCAGTCT CATYGGGAARTCRCCGATGA
<i>Peptostreptococcus</i> sp.	AGAGTTTGATCMTGGCTCAG ACGGGCGGTGTGTRC
<i>Eubacterium</i> sp.	TCCCTTACTAGGCACCCA AGGGAAUGAUCCGUGGGU



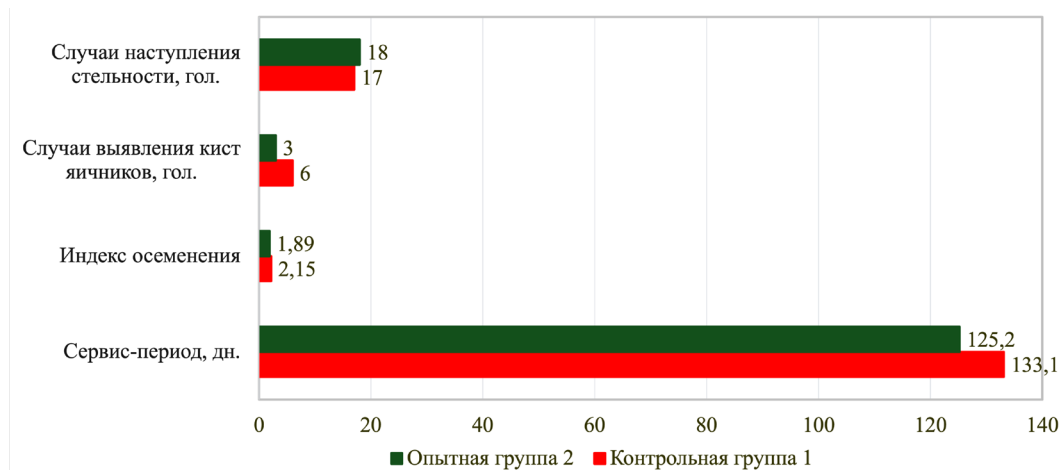


Рис. 2. Результаты сравнения некоторых параметров воспроизводства у коров голштинской породы контрольной группы 1 и опытной группы 2

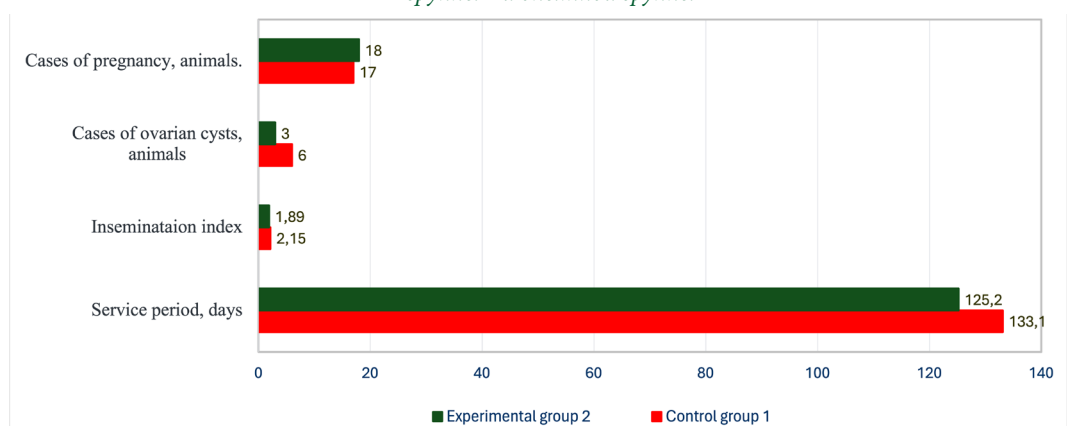


Fig. 2. The results of comparing some reproduction parameters in Holstein cattle of control group 1 and experimental group 2

По данным рис. 2 видно также, что индекс осеменения под влиянием кормовой добавки «АнтиКлос» снизился с 2,2 (в контрольной группе 1) до 1,9 (в опытной группе 2), случаи выявления у животных кист яичников сократились в 2 раза по сравнению с контролем. Кисты являются одной из наиболее частых дисфункций яичников у молочного скота, которая снижает репродуктивные возможности и часто приводит к значительным экономическим потерям [11]. Анэструс является наиболее значимым клиническим признаком, наблюдаемым у молочного скота, страдающего этим заболеванием, что приводит к увеличению количества дней до плодотворного осеменения. Этиопатогенез кистозного перерождения яичников у молочного скота представляет собой сложный процесс, который предполагает изменение различных физиологических процессов (фолликулогенез, стероидогенез, овуляция, экспрессия мРНК матриксных металлопротеиназ и их ингибиторов) под влиянием ряда факторов, таких как рацион, стресс, уровень менеджмента стада, нарушения обмена веществ. Таким образом, поскольку в этиологии кист яичников участвует несколько взаимосвязанных путей, на сегодняшний день невозможно определить точный механизм, вызывающий это заболевание. Интересно,

что метаболические нарушения в организме коров, коррелирующие с гормональным дисбалансом, могут резко изменить нейроэндокринную обратную связь на уровне нейронов, приводя к образованию кист [12]. Высокая заболеваемость кистами яичников у молочного скота в раннем новотельном периоде подтверждает эту гипотезу, поскольку именно в этот период у животных наблюдаются отрицательный энергетический баланс и риск развития метаболических нарушений.

На следующем этапе исследования был проведен анализ состава микроорганизмов химуса прямой кишки коров. Как видно из таблицы 2, в прямой кишке коров под влиянием введения в рацион биологической кормовой добавки «АнтиКлос» (опытная группа 2) происходило увеличение доли представителей нормобиоты по сравнению с контролем 1 ( $P \leq 0,05$ ). Так, например, количество *Eubacterium* sp. в опытной группе 2 увеличивалось в 2,4 раза по сравнению с контролем I ( $P \leq 0,05$ ). Целлюлолитические рода *Eubacterium* являются ключевыми участниками процесса расщепления целлюлозы, которая иным образом не переваривается организмом-хозяином [13]. Одним из основных вкладов целлюлолитической микробиоты является обеспечение организма-хозяина энергией посредством

метаболизма сложных цепей клетчатки в летучие жирные кислоты (ЛЖК). Кроме того, ЛЖК благотворно влияют на целостность мембран кишечника, местный кишечный иммунитет и играют роль в коммуникации «микробиота – кишечник – здоровье». Содержание других представителей нормобиоты – бактерий *Streptococcus* sp. – в опытной группе 2 увеличивалось на 3 порядка по сравнению с контрольной 1 ( $P \leq 0,001$ ). Представитель рода *Streptococcus* – *Str. thermophilus* – бактерия, продуцирующая молочную кислоту, ингибирующую развитие патогенов, и оказавшаяся клинически ценной для снижения уровня уремиических токсинов в кишечнике [14].

При использовании биологической кормовой добавки (опытная группа 2) отмечено уменьшение количества таксонов, среди которых много оппортунистических и патогенных видов, по сравнению с контролем 1 ( $P \leq 0,05$ ) (таблица 2). Так, содержа-

ние *Staphylococcus* sp. снижалось в 2,2 раза, *Peptostreptococcus* sp. – в 2,3 раза. Представители семейства Fusobacteriaceae полностью нивелировались из просвета кишечника коров опытной группы 2. Тогда как в контрольной группе 1 их содержание составляло  $8,4 \times 10^4 \pm 5,1 \times 10^3$  геномов/г. Стоит отметить, что нарушение микробиома кишечника, или дисбиоз, связывают с растущим числом хронических заболеваний у человека [15]. У жвачных животных большинство метаболических нарушений, возникающих в начале и середине лактации, таких как лактатный ацидоз рубца, снижение жирности молока и проблемы воспроизводства, еще более тесно связаны с нарушением состава и функции микробиома пищеварительной системы [16]. Подобно нашим результатам, ранее другие [16] также связывали кормление высококонцентратными рационами с увеличением популяций патогенных бактерий в рубце и прямой кишке коров.

Таблица 2  
Количество микроорганизмов в содержимом прямой кишки коров, геномов/г

Таксоны микроорганизмов	Контрольная группа 1 (n = 3)	Опытная группа 2 (n = 3)
Общее количество бактерий	$1,4 \times 10^8 \pm 6,5 \times 10^6$	$1,2 \times 10^8 \pm 8,7 \times 10^6$
<i>Lactobacillus</i> sp.	$4,3 \times 10^2 \pm 31$	$6,7 \times 10^2 \pm 40^*$
<i>Megasphaera</i> sp., <i>Veillonella</i> sp. и <i>Dialister</i> sp.	$3,7 \times 10^6 \pm 1,9 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6 \pm 1,5 \times 10^5^*$
<i>Streptococcus</i> sp.	$8,3 \times 10^2 \pm 49$	$1,1 \times 10^5 \pm 7,2 \times 10^3^{***}$
<i>Lachnobacterium</i> sp. и <i>Clostridium</i> sp.	$2,7 \times 10^7 \pm 1,9 \times 10^6$	$5,5 \times 10^7 \pm 3,0 \times 10^6^*$
<i>Atopobium</i> sp.	$1,3 \times 10^3 \pm 78$	$6,9 \times 10^2 \pm 35^{**}$
<i>Staphylococcus</i> sp.	$2,4 \times 10^4 \pm 1,7 \times 10^3$	$1,1 \times 10^4 \pm 5,9 \times 10^3^*$
Сем. Fusobacteriaceae	$8,4 \times 10^4 \pm 5,1 \times 10^3$	<п.д.о. ****
Сем. Enterobacteriaceae	$3,9 \times 10^5 \pm 2,7 \times 10^4$	$7,2 \times 10^5 \pm 5,0 \times 10^4^*$
<i>Prevotella</i> sp. и <i>Porphyromonas</i> sp.	$7,6 \times 10^7 \pm 4,7 \times 10^6$	$7,3 \times 10^7 \pm 4,2 \times 10^6$
<i>Mobiluncus</i> sp. и <i>Corynebacterium</i> sp.	$2,7 \times 10^3 \pm 1,1 \times 10^2$	$7,7 \times 10^3 \pm 3,7 \times 10^2^*$
<i>Peptostreptococcus</i> sp.	$4,8 \times 10^6 \pm 2,7 \times 10^5$	$2,1 \times 10^6 \pm 1,3 \times 10^5^*$
<i>Eubacterium</i> sp.	$3,4 \times 10^6 \pm 2,1 \times 10^5$	$8,2 \times 10^6 \pm 4,9 \times 10^5^*$

Примечание. \*  $P \leq 0,05$ , \*\*  $P \leq 0,01$ , \*\*\*  $P \leq 0,001$ , \*\*\*\* < п. д. о. – предел достоверного определения методом ПЦР в реальном времени (при сравнении опытной группы 2 с контрольной группой 1).

Table 2  
Quantity of microorganisms in the contents of the cow's rectum, genomes/g

Microorganism taxa	Control group 1 (n = 3)	Experimental group 2 (n = 3)
Total number of bacteria	$1.4 \times 10^8 \pm 6.5 \times 10^6$	$1.2 \times 10^8 \pm 8.7 \times 10^6$
<i>Lactobacillus</i> sp.	$4.3 \times 10^2 \pm 31$	$6.7 \times 10^2 \pm 40^*$
<i>Megasphaera</i> sp., <i>Veillonella</i> sp., <i>Dialister</i> sp.	$3.7 \times 10^6 \pm 1.9 \times 10^5$	$2.4 \times 10^6 \pm 1.5 \times 10^5^*$
<i>Streptococcus</i> sp.	$8.3 \times 10^2 \pm 49$	$1.1 \times 10^5 \pm 7.2 \times 10^3^{***}$
<i>Lachnobacterium</i> sp., <i>Clostridium</i> sp.	$2.7 \times 10^7 \pm 1.9 \times 10^6$	$5.5 \times 10^7 \pm 3.0 \times 10^6^*$
<i>Atopobium</i> sp.	$1.3 \times 10^3 \pm 78$	$6.9 \times 10^2 \pm 35^{**}$
<i>Staphylococcus</i> sp.	$2.4 \times 10^4 \pm 1.7 \times 10^3$	$1.1 \times 10^4 \pm 5.9 \times 10^3^*$
Ph. Fusobacteriaceae	$8.4 \times 10^4 \pm 5.1 \times 10^3$	<m.a.v. ****
Ph. Enterobacteriaceae	$3.9 \times 10^5 \pm 2.7 \times 10^4$	$7.2 \times 10^5 \pm 5.0 \times 10^4^*$
<i>Prevotella</i> sp., <i>Porphyromonas</i> sp.	$7.6 \times 10^7 \pm 4.7 \times 10^6$	$7.3 \times 10^7 \pm 4.2 \times 10^6$
<i>Mobiluncus</i> sp., <i>Corynebacterium</i> sp.	$2.7 \times 10^3 \pm 1.1 \times 10^2$	$7.7 \times 10^3 \pm 3.7 \times 10^2^*$
<i>Peptostreptococcus</i> sp.	$4.8 \times 10^6 \pm 2.7 \times 10^5$	$2.1 \times 10^6 \pm 1.3 \times 10^5^*$
<i>Eubacterium</i> sp.	$3.4 \times 10^6 \pm 2.1 \times 10^5$	$8.2 \times 10^6 \pm 4.9 \times 10^5^*$

Note. \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ , \*\*\*  $P < 0.001$ , \*\*\*\* < m.a.v. is the limit of reliable determination by real-time PCR (when comparing experimental group 2 with control group 1).

**Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

В последние годы приводится все больше данных о том, что селекционно-генетический отбор коров по высокому надою приводит к появлению животных с нарушениями воспроизводительных функций и различных физиологических параметров [17]. Применение в нашем эксперименте биологической кормовой добавки на основе штамма *B. mucilaginosus*, органических кислот и растительных веществ в транзитный период лактации приводило к улучшению показателей молочной продуктивности и одновременно параметров воспроизводства крупного рогатого скота. Более успешный менеджмент поголовья в транзитный период является ключом к прибыльности молочного стада из-за при- сущей данному периоду высокой заболеваемости и

связанных с этим затрат, включая ухудшение показателей воспроизводства [16]. Механизмом действия кормовой добавки явилось восстановление нормального микробиома рубца коров, что оказало влияние на здоровье животных во время последующей лактации, а также положительно повлияло на фертильность. Важно отметить, что наши исследования показывают, что микробиом кишечника и производимые кишечной микробиотой метаболиты представляют собой новый рубеж в профилактике проблем воспроизводства. В дальнейшем это требует продолжения эксперимента по проведению углубленных молекулярно-биологических исследований состава эндометрия коров под влиянием кормовой добавки.

**Библиографический список**

1. FAO. 2021. Dairy Market Review: Overview of global dairy market developments in 2020, April 2021. Rome [Электронный ресурс]. URL: <https://openknowledge.fao.org> (дата обращения: 10.08.2024).
2. Mu Y., Qi W., Zhang T., Zhang J., Mao S. Multi-omics analysis revealed coordinated responses of rumen microbiome and epithelium to high-grain-induced subacute rumen acidosis in lactating dairy cows // *mSystems*. 2022. No. 7. DOI: 10.1128/msystems.
3. Ricci S., Pacífico C., Castillo-Lopez E., Rivera-Chacon R., Schwartz-Zimmermann H. E., Reisinger N., Berthiller F., Zebeli Q., Petri R. M. Progressive microbial adaptation of the bovine rumen and hindgut in response to a step-wise increase in dietary starch and the influence of phytogenic supplementation // *Frontiers in Microbiology*. 2022. No. 22. DOI: 10.3389/fmicb.
4. Tufarelli V., Puvača N., Glamočić D., Pugliese G., Colonna M. A. The Most Important Metabolic Diseases in Dairy Cattle during the Transition Period // *Animals (Basel)*. 2024. No. 14. DOI: 10.3390/ani14050816.
5. Várhidi Z., Máté M., Ózsvári L. The use of probiotics in nutrition and herd health management in large Hungarian dairy cattle farms // *Frontiers in Veterinary Science*. 2022. No. 9. DOI: 10.3389/fvets.2022.957935.
6. Shridhar P. B., Amachawadi R. G., Tokach M., Patel I., Gangiredla J., Mammel M., Nagaraja T. G. Whole genome sequence analyses-based assessment of virulence potential and antimicrobial susceptibilities and resistance of *Enterococcus faecium* strains isolated from commercial swine and cattle probiotic products // *The Journal of Animal Science*. 2022. No. 100. DOI: 10.1093/jas/skac030.
7. Лаптев Г. Ю., Новикова Н. И., Йылдырым Е. А., Ильина Л. А., Тарлавин Н. В. Микробиом сельскохозяйственных животных: связь со здоровьем и продуктивностью. Санкт-Петербург: Проспект науки, 2020. 336 с.
8. Gross J. J. Dairy cow physiology and production limits // *Animal Frontiers*. 2023. No. 13. DOI: 10.1093/af/vfad014.
9. Softic A., Martin A. D., Skjerve E., Fejzic N., Goletic T., Kustura A., Granquist E. G. Reproductive Performance in a Selected Sample of Dairy Farms in Una-Sana Canton, Bosnia and Herzegovina // *Veterinary Medicine International*. 2020. No. 16. DOI: 10.1155/2020/2190494.
10. Borş S. I., Borş A. Ovarian cysts, an anovulatory condition in dairy cattle // *Veterinary Medicine and Science*. 2020. No. 82. DOI: 10.1292/jvms.20-0381.
11. Xu X., Bai J., Liu K., Xiao L., Qin Y., Gao M., Liu Y. Association of Metabolic and Endocrine Disorders with Bovine Ovarian Follicular Cysts // *Animals*. 2021. No. 13. DOI: 10.3390/ani13213301.
12. Froidurot A., Jullian V. Cellulolytic bacteria in the large intestine of mammals // *Gut Microbes*. 2022. No. 14. DOI: 10.1080/19490976.2022.2031694.
13. Vitetta L., Llewellyn H., Oldfield D. Gut Dysbiosis and the Intestinal Microbiome: *Streptococcus thermophilus* a Key Probiotic for Reducing Uremia // *Microorganisms*. 2019. No. 7. DOI: 10.3390/microorganisms7080228.
14. Afzaal M., Saeed F., Shah Y. A., Hussain M., Rabail R., Socol C. T., Hassoun A., Pateiro M., Lorenzo J. M., Rusu A. V., Aadil R. M. Human gut microbiota in health and disease: Unveiling the relationship // *Frontiers in Microbiology*. 2022. No. 13. DOI: 10.3389/fmicb.2022.999001.
15. Kim S. H., Ramos S. C., Valencia R. A., Cho Y. I., Lee S. S. Heat Stress: Effects on Rumen Microbes and Host Physiology, and Strategies to Alleviate the Negative Impacts on Lactating Dairy Cows // *Frontiers in Microbiology*. 2022. No. 13. DOI: 10.3389/fmicb.2022.804562.

16. Wang A., Brito L. F., Zhang H., Shi R., Zhu L., Liu D., Guo G., Wang Y. Exploring milk loss and variability during environmental perturbations across lactation stages as resilience indicators in Holstein cattle // *Frontiers in Genetics*. 2022. No. 13. DOI: 10.3389/fgene.2022.1031557.

#### Об авторах:

**Татьяна Сергеевна Сметанникова**, аспирант факультета зооинженерии и биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия; главный зоотехник по селекционной работе, АО «Гатчинское», д. Большие Колпаны, Ленинградская область, Россия; ORCID 0000-0003-2566-288X, AuthorID 1168218. *E-mail: tanyha.95@mail.ru*

**Валентина Анатольевна Филиппова**, заведующая лабораторией кормления, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия; биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории, ООО «БИОТРОФ», Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0001-8789-9837, AuthorID 162830. *E-mail: filippova@biotrof.ru*

**Елена Александровна Йылдырым**, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия; главный биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории, ООО «БИОТРОФ», Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-5846-5105, AuthorID 714700. *E-mail: deniz@biotrof.ru*

**Ирина Александровна Ключникова**, аспирант факультета зооинженерии и биотехнологии, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия; ORCID 0009-0008-6484-1235, AuthorID 1212627. *E-mail: klyuchnikova.irinaa@yandex.ru*

**Лариса Александровна Ильина**, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия; начальник молекулярно-генетической лаборатории, АО «Гатчинское», д. Большие Колпаны, Ленинградская область, Россия; ORCID 0000-0003-2789-4844, AuthorID 673421. *E-mail: ilina@biotrof.ru*

#### References

1. FAO. 2021. Dairy Market Review: Overview of global dairy market developments in 2020, April 2021. Rome [Internet] [cited 2024 Aug 10]. Available from: <https://openknowledge.fao.org>.
2. Mu Y., Qi W., Zhang T., Zhang J., Mao S. Multi-omics Analysis Revealed Coordinated Responses of Rumen Microbiome and Epithelium to High-Grain-Induced Subacute Rumen Acidosis in Lactating Dairy Cows. *mSystems*. 2022; 7. DOI: 10.1128/mSystems.
3. Ricci S., Pacífico C., Castillo-Lopez E., Rivera-Chacon R., Schwartz-Zimmermann H. E., Reisinger N., Berthiller F., Zebeli Q., Petri R. M. Progressive microbial adaptation of the bovine rumen and hindgut in response to a step-wise increase in dietary starch and the influence of phytogenic supplementation. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 22. DOI: 10.3389/fmicb.
4. Tufarelli V., Puvača N., Glamočić D., Pugliese G., Colonna M. A. The Most Important Metabolic Diseases in Dairy Cattle during the Transition Period. *Animals (Basel)*. 2024; 14. DOI:10.3390/ani14050816.
5. Várhidi Z., Máté M., Ózsvári L. The use of probiotics in nutrition and herd health management in large Hungarian dairy cattle farms. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022; 9. DOI: 10.3389/fvets.2022.957935.
6. Shridhar P. B., Amachawadi R. G., Tokach M., Patel I., Gangiredla J., Mammel M., Nagaraja T. G. Whole genome sequence analyses-based assessment of virulence potential and antimicrobial susceptibilities and resistance of *Enterococcus faecium* strains isolated from commercial swine and cattle probiotic products. *The Journal of Animal Science*. 2022; 100. DOI:10.1093/jas/skac030.
7. Laptev G. Yu., Novikova N. I., Yildirim E. A., Ilyina L. A., Tarlavin N. V. *Microbiome of farm animals: connection with health and productivity*. Saint Petersburg: Prospekt nauki, 2020. 336 p. (In Russ.)
8. Gross J. J. Dairy cow physiology and production limits. *Animal Frontiers*. 2023; 13. DOI: 10.1093/af/vfad014.
9. Softic A., Martin A. D., Skjerve E., Fejzic N., Goletic T., Kustura A., Granquist E. G. Reproductive Performance in a Selected Sample of Dairy Farms in Una-Sana Canton, Bosnia and Herzegovina. *Veterinary Medicine International*. 2020; 16. DOI: 10.1155/2020/2190494.
10. Borş S. I., Borş A. Ovarian cysts, an anovulatory condition in dairy cattle. *Veterinary Medicine and Science*. 2020; 82. DOI: 10.1292/jvms.20-0381.
11. Xu X., Bai J., Liu K., Xiao L., Qin Y., Gao M., Liu Y. Association of Metabolic and Endocrine Disorders with Bovine Ovarian Follicular Cysts. *Animals*. 2021; 13. DOI: 10.3390/ani13213301.
12. Froidurot A., Jullian V. Cellulolytic bacteria in the large intestine of mammals. *Gut Microbes*. 2022; 14. DOI: 10.1080/19490976.2022.2031694



13. Vitetta L., Llewellyn H., Oldfield D. Gut Dysbiosis and the Intestinal Microbiome: *Streptococcus thermophilus* a Key Probiotic for Reducing Uremia. *Microorganisms*. 2019; 7. DOI: 10.3390/microorganisms7080228.
14. Afzaal M., Saeed F., Shah Y. A., Hussain M., Rabail R., Socol C. T., Hassoun A., Pateiro M., Lorenzo J. M., Rusu A. V., Aadil R. M. Human gut microbiota in health and disease: Unveiling the relationship. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13. DOI: 10.3389/fmicb.2022.999001.
15. Kim S. H., Ramos S. C., Valencia R. A., Cho Y. I., Lee S. S. Heat Stress: Effects on Rumen Microbes and Host Physiology, and Strategies to Alleviate the Negative Impacts on Lactating Dairy Cows. *Frontiers in Microbiology*. 2022; 13. DOI: 10.3389/fmicb.2022.804562.
16. Wang A., Brito L. F., Zhang H., Shi R., Zhu L., Liu D., Guo G., Wang Y. Exploring milk loss and variability during environmental perturbations across lactation stages as resilience indicators in Holstein cattle. *Frontiers in Genetics*. 2022; 13. DOI: 10.3389/fgene.2022.1031557.

**Authors' information:**

**Tatyana A. Smetannikova**, postgraduate of the department of large livestock, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia; chief zootechnician for breeding work, Gatchinskoe JSC, Bolshie Kolpany village, Leningrad region, Russia; ORCID 0000-0003-2566-288X AuthorID 1168218.

*E-mail: tanyha.95@mail.ru*

**Valentina A. Filippova**, head of the laboratory of feeding, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia; biotechnologist of the molecular genetic laboratory, BIOTROF LLC, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0001-8789-9837, AuthorID 162830. *E-mail: filippova@biotrof.ru*

**Elena A. Yyldyrym**, doctor of biological sciences, professor of the department of large livestock, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia; chief biotechnologist of the molecular genetic laboratory, BIOTROF LLC, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-5846-5105, AuthorID 714700.

*E-mail: deniz@biotrof.ru*

**Irina A. Klyuchnikova**, postgraduate of the faculty of bioengineering and biotechnology, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia; ORCID 0009-0008-6484-1235, AuthorID 1212627.

*E-mail: klyuchnikova.irinaa@yandex.ru*

**Larisa A. Ilyina**, doctor of biological sciences, professor of the department of large livestock, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Pushkin, Russia; head of the molecular genetic laboratory, BIOTROF LLC, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0003-2789-4844, AuthorID 673421. *E-mail: ilina@biotrof.ru*

## Сезонная динамика фотосинтетических пигментов в побегах очитков (Sedoideae)

Т. И. Фомина<sup>✉</sup>

Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: [fomina-ti@yandex.ru](mailto:fomina-ti@yandex.ru)

**Аннотация.** Устойчивость и продуктивность растений в условиях культуры зависят от величины фонда фотосинтетических пигментов. Очитки представляют собой ценные декоративные, медоносные и лекарственные растения, перспективные для всестороннего изучения. **Цель** исследования – определить содержание хлорофиллов и каротиноидов в побегах 8 видов очитков в течение вегетационного периода. **Методы.** Исследование выполнено в Центральном сибирском ботаническом саду (Новосибирск) в 2021 г. Объектами послужили представители подсемейства Sedoideae, относящиеся к родам *Aizopsis*, *Hylotelephium* и *Sedum*. Определяли концентрации хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов в свежесобранном сырье с использованием спектрофотометрического метода. Показатели рассчитывали на абсолютно сухую массу сырья. **Результаты.** Установлено наибольшее содержание пигментов весной в фазу начала вегетации: 110,6–590,8 мг% хлорофиллов и 42,1–112,8 мг% каротиноидов. Летом при замедлении ростовых процессов в фазу цветения фонд пигментов был невысоким при соответствующих значениях показателей в диапазоне 31,6–233,0 мг% и 9,8–90,6 мг%. Осенью в побегах очитков, перезимовывающих с зелеными листьями, концентрация как хлорофиллов, так и каротиноидов кратно повысилась относительно фазы цветения, обеспечивая накопление ассимилятов при подготовке к периоду покоя. Межвидовая вариабельность соотношения пигментов в течение сезона отражала различную степень теневыносливости видов, составив 1,5–3,0 для хлорофиллов *a/b* и 0,9–5,3 для хлорофиллов/каротиноидов. **Научная новизна.** Получены данные по количественному содержанию фотосинтетических пигментов у очитков. Результаты подтверждают литературные сведения о низком пигментном фонде этой группы растений, обусловленном функциональными особенностями сукулентной жизненной формы. Показано, что уровень содержания хлорофиллов и каротиноидов имеет видовую специфику при адаптации к условиям лесостепи Западной Сибири.

**Ключевые слова:** *Aizopsis*, *Hylotelephium*, *Sedum*, очитки, хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту АААА-А21-121011290025-2 «Анализ биоразнообразия, сохранение и восстановление редких и ресурсных видов растений с использованием экспериментальных методов». Автор благодарит старшего научного сотрудника лаборатории фитохимии ЦСБС СО РАН Татьяну Абдулхаиловну Кукушкину за выполнение фитохимических анализов.

**Для цитирования:** Фомина Т. И. Сезонная динамика фотосинтетических пигментов в побегах очитков (Sedoideae) // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1705–1713. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1705-1713>.

**Дата поступления статьи:** 20.05.2024, **дата рецензирования:** 16.09.2024, **дата принятия:** 30.09.2024.

## Seasonal dynamics of photosynthetic pigments in the shoots of the stonecrops (Sedoideae)

T. I. Fomina ✉

Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

✉E-mail: fomina-ti@yandex.ru

**Abstract.** The sustainability and productivity of plants under the culture depend on the stock of photosynthetic pigments. The stonecrops represent valuable ornamental, honey-bearing and medicinal plants promising for comprehensive study. **The purpose** of the study was to determine the content of chlorophylls and carotenoids in 8 species of the stonecrops during the growing season. **Methods.** The study was carried out in the Central Siberian Botanical Garden (Novosibirsk) in 2021. The objects were representatives of *Aizopsis*, *Hylotelephium*, and *Sedum* from the Sedoideae subfamily. The concentrations of chlorophylls *a* and *b*, as well as carotenoids, were determined in freshly harvested raw materials using the spectrophotometric method. The indicators were calculated on an absolutely dry weight of raw materials. **Results.** The highest pigment contents 110.6–590.8 mg% of chlorophylls and 42.1–112.8 mg% of carotenoids were found in the spring at the vegetation start. In summer, when growth processes slowed down during the flowering phase, the pigment stock decreased to according values of 31.6–233.0 mg% and 9.8–90.6 mg%. In autumn the concentrations of both chlorophylls and carotenoids in the green-wintering shoots increased significantly relative to the flowering phase, that ensured the accumulation of assimilates for the dormant period. The interspecific variability of the pigment ratio during the growing season reflect a different degree of shade tolerance, that is 1.5–3.0 for chlorophylls *a/b* and 0.9–5.3 for chlorophylls/carotenoids. **Scientific novelty.** Data on the quantitative content of photosynthetic pigments in the stonecrops were obtained. The results confirmed the literature data on the low pigment content for Sedoideae, due to the functional characteristics of the succulent life form. We have shown that the level of chlorophylls and carotenoids has specific features when adapting to the conditions of the forest-steppe of Western Siberia.

**Keywords:** *Aizopsis*, *Hylotelephium*, *Sedum*, stonecrops, chlorophylls *a* и *b*, carotenoids

**Acknowledgments.** The study was carried out within the framework of the state assignment for the project AAAA-A21-121011290025-2 “Analysis of biodiversity, conservation and restoration of rare and resource plant species using experimental methods”. The author thanks the senior researcher of the phytochemistry laboratory of the Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Tatyana Abdulkhailovna Kukushkina for performing phytochemical analyses.

**For citation:** Fomina T. I. Seasonal dynamics of photosynthetic pigments in the shoots of the stonecrops (Sedoideae). *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1705–1713. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1705-1713>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 20.05.2024, **date of review:** 16.09.2024, **date of acceptance:** 30.09.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Устойчивость и продуктивность растений в меняющихся условиях внешней среды зависят от интенсивности биохимических процессов, в первую очередь фотосинтеза. Поглощение света и защиту фотосинтетического аппарата от избыточного излучения осуществляет пигментный комплекс – хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды, локализованные в ассимилирующих тканях зеленых органов. Суммарный пигментный фонд характеризует потенциальные возможности фотосинтетического аппарата в формировании биомассы [1; 2]. Его величина зависит от многих факторов, включая таксономическое положение, жизненную форму, условия местообитания [3–5]. Известно, что количественное содержание

хлорофиллов и каротиноидов варьирует на видовом уровне в зависимости от погодных факторов и фазы развития, однако имеющиеся сведения малочисленны и касаются различных групп растений [6–8].

Важным показателем состояния фотосинтетического аппарата является соотношение хлорофиллов и каротиноидов, весьма чувствительное к изменению окружающей среды [9]. Считается, что концентрация пигментов в единице массы листа отражает приспособление к локальным условиям освещения, а вариации соотношения пигментов – адаптацию к меняющимся условиям вегетационного периода [7]. Пигментный состав служит дополнительным индикатором условий местообитания и

приспособленности растений к изменению гидротермического режима. С другой стороны, даже в одинаковых условиях местообитания виды растений различаются по содержанию и соотношению фотосинтетических пигментов, что свидетельствует о видоспецифичном характере этих показателей [5; 6]. Имеются данные о большей насыщенности пигментами видов местной флоры по сравнению с экзотами [10].

Представители семейства Crassulaceae (толстянковые), подсемейства Sedoideae (очитковые) распространены по всему Северному полушарию, а также заходят в Африку и Южную Америку. В процессе эволюции эти растения адаптировались к дефициту влаги, сильной инсоляции и высокой температуре. Ряд анатомо-морфологических признаков и такие физиологические параметры, как низкое содержание фотосинтетических пигментов, САМ-тип фотосинтеза, обеспечивают адаптацию фотосинтетического аппарата толстянковых к неблагоприятным факторам среды, в том числе к пониженным температурам [11]. Это отражается на функциональном состоянии растений, благоприятном для процессов роста и репродукции.

Очитки представляют интерес как отличные медоносы и лекарственные растения, также они могут служить доступным, легко возобновляемым источником различных биологически активных веществ [12; 13]. Благодаря декоративности, суккулентности и специфическим метаболическим свойствам очитки являются ценным материалом в технологиях городского озеленения [14; 15]. Большинство их используются в качестве почвопокровных растений. Способность к формированию устойчивого и высо-

кодекоративного покрытия обусловлена в конечном счете активностью пигментного комплекса очитков.

**Цель** исследования – определить содержание хлорофиллов и каротиноидов в побегах 8 видов очитков в течение вегетационного периода.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Исследование выполнено в Центральном сибирском ботаническом саду (г. Новосибирск) в 2021 году. Объектами послужили виды очитков (Sedoideae), принадлежащих к родам *Aizopsis* (живучник): *A. aizoon* (L.) Grulich (ж. живучий), *A. hybrida* (L.) Grulich (ж. гибридный), *A. kurilensis* (Vorosh.) S. B. Gontch. (ж. курильский); *Hylotelephium* Н. Ohba (очитник) – *H. ewersii* (Ledeb.) Н. Ohba (о. Эверса); *Sedum* L. (очиток): *S. album* L. (о. белый), *S. hispanicum* L. (о. испанский), *S. rupestre* L. (о. скальный), *S. spurium* М. Bieb. (о. ложный). Названия таксонов приведены в соответствии с международной базой данных [16].

Виды представлены в составе биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН – USU 440534 «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте». Они принадлежат к одной жизненной форме – травянистых поликарпиков с ассимилирующими побегами суккулентного типа, но различаются по фенологическому развитию. *A. hybrida*, *A. kurilensis*, виды *Sedum* вегетируют от снега и до снега, перезимовывая с зелеными листьями. *A. aizoon* и *H. ewersii* также рано отрастают, но у первого вида вегетация заканчивается осенью при относительно теплой погоде, у второго – с наступлением сильных заморозков (таблица 1). Очитки дружно вступают в фазу цветения в третьей декаде июня, лишь *H. ewersii* зацветает в позднелетний период – в первой декаде августа.

Таблица 1

#### Фенологическое развитие очитков в Центральном сибирском ботаническом саду

Вид	Начало вегетации	Начало цветения	Конец цветения	Конец вегетации
<i>Aizopsis aizoon</i>	29.04 ± 2	22.06 ± 2	24.07 ± 7	18.09 ± 4
<i>A. hybrida</i>	27.04 ± 2	22.06 ± 2	17.07 ± 1	01.11 ± 3*
<i>A. kurilensis</i>	26.04 ± 4	29.06 ± 2	29.09 ± 3	01.11 ± 3
<i>Hylotelephium ewersii</i>	29.04 ± 2	04.08 ± 3	30.09 ± 4	12.10 ± 3
<i>S. album</i>	26.04 ± 2	28.06 ± 1	12.08 ± 3	01.11 ± 3
<i>S. hispanicum</i>	26.04 ± 2	25.06 ± 2	20.08 ± 3	01.11 ± 3
<i>S. rupestre</i>	24.04 ± 3	26.06 ± 3	09.07 ± 2	01.11 ± 3
<i>S. spurium</i>	26.04 ± 1	30.06 ± 1	04.08 ± 6	01.11 ± 3

Примечание. Среднепогодная дата установления снежного покрова.

Table 1

#### Phenological development of the stonecrops in the Central Siberian Botanical Garden

Species	Vegetation start	Flowering start	Flowering end	Vegetation end
<i>Aizopsis aizoon</i>	29.04 ± 2	22.06 ± 2	24.07 ± 7	18.09 ± 4
<i>A. hybrida</i>	27.04 ± 2	22.06 ± 2	17.07 ± 1	01.11 ± 3*
<i>A. kurilensis</i>	26.04 ± 4	29.06 ± 2	29.09 ± 3	01.11 ± 3
<i>Hylotelephium ewersii</i>	29.04 ± 2	04.08 ± 3	30.09 ± 4	12.10 ± 3
<i>S. album</i>	26.04 ± 2	28.06 ± 1	12.08 ± 3	01.11 ± 3
<i>S. hispanicum</i>	26.04 ± 2	25.06 ± 2	20.08 ± 3	01.11 ± 3
<i>S. rupestre</i>	24.04 ± 3	26.06 ± 3	09.07 ± 2	01.11 ± 3
<i>S. spurium</i>	26.04 ± 1	30.06 ± 1	04.08 ± 6	01.11 ± 3

Note. The average long-term date of snow cover.



Растения очитков выращиваются в ботаническом саду на среднем агрофоне, включающем внесение в почву при посадке органоминеральной смеси, мульчирование поверхности торфом, регулярные прополки и рыхление почвы в междурядьях в течение вегетационного периода. Увлажнение естественное, поливы проводятся лишь на молодых посадках до укоренения деленок. Очитки размещаются на делянках свободной планировки экспозиции «Вальс цветов», где, кроме посадок травянистых многолетников имеются отдельно растущие деревья и кустарники.

Сезон 2021 года выдался теплым и умеренно сухим. Средняя температура летних месяцев составляла +18,0 °С, при этом температурный фон мая и октября превышал норму на 4 °С и 1,4 °С соответственно. С мая по сентябрь выпало 237 мм осадков против нормы 276 мм, при этом июнь был дождливым, а июль засушливым.

Фитохимическому анализу подвергали свежесобранные побеги очитков в фазу начала вегетации (третья декада мая), летом в фазу массового цветения растений (первая половина июля, для *H. ewersii* – третья декада августа) и в фазу окончания вегетации у зимнезеленых видов (конец октября). Содержание пигментов определяли в ацетоново-этанольном экстракте спектрофотометрическим методом. Навеску растительного сырья 0,1 г растирали в ступке до однородной массы, затем добавляли последовательно 0,1 г кальция карбоната для нейтрализации органических кислот, 1 мл диметилформамида для устойчивости пигментов и 2 г натрия сульфата безводного. Экстракцию каротиноидов проводили ацетоном (40 мл – 1 раз, далее по 10 мл 2 раза), затем 96-процентным этанолом (по 5 мл 3 раза) для извлечения ликопина, после чего экстрагировали ацетоном до обесцвечивания [17]. Оптическую плотность раствора измеряли при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофилла *a* (662 нм), хлорофилла *b* (644 нм) и каротиноидов (440,5 нм) на спектрофотометре СФ-56.

Расчет концентрации пигментов (мг/дм<sup>3</sup>) проводили по формулам:

$$C_a = 9,784D_{662} - 0,99D_{644},$$

$$C_b = 21,426D_{644} - 4,65D_{662},$$

$$C_{кар} = 4,695D_{440,5} - 0,268 \times (5,134D_{662} + 20,436D_{644}),$$

где  $C_a$  – концентрация хлорофилла *a*;

$C_b$  – концентрация хлорофилла *b*;

$C_{кар}$  – концентрация каротиноидов;

$D$  – оптическая плотность извлечения.

Содержание пигментов (мг/г) определяли по формуле:

$$X = CV_1 V_3 / MV_2 \times 1000,$$

где  $C$  – концентрация пигмента, мг/дм<sup>3</sup>;

$V_1$  – объем исходного извлечения, мл;

$V_2$  – объем исходного извлечения, взятый для разбавления, мл;

$V_3$  – объем разбавленного извлечения, мл;

$M$  – масса навески, г.

Определение содержания пигментов проводили в трех аналитических повторностях. Результаты представлены в виде средней арифметической с ошибкой  $M \pm m_x$ .

### Результаты (Results)

В условиях Западной Сибири начало вегетации очитков приходится на третью декаду апреля. Большинство исследованных видов представляют собой зимнезеленые растения, поэтому на момент сбора сырья в третьей декаде мая их побеги имели как перезимовавшие, так и вновь развившиеся листья. У летнезеленых видов *A. aizoon*, *H. ewersii* к этому времени произошло отрастание и сформировались молодые побеги текущего сезона.

Весной, в период активных ростовых процессов, суммарная концентрация хлорофиллов в листьях и стеблях очитков варьировала от 110,6 мг% до 590,8 мг% (см. рис. 1). При этом содержание хлорофилла *a* составляло 73,4–422,7 мг%, а на долю вспомогательного хлорофилла *b* приходилось 28–34 % от общего содержания зеленых пигментов. Количество каротиноидов в побегах очитков колебалось в пределах 42,1–112,8 мг%. Соотношение хлорофиллов *a* и *b* равнялось 2,0–2,5. Соотношение хлорофиллов и каротиноидов варьировало от 2,6 до 5,2. Наибольшая величина пигментного фонда в фазу отрастания определена для *A. aizoon*, *S. spurium*, наименьшая – для *S. hispanicum*, *S. rupestre*.

Содержание хлорофиллов и каротиноидов рассматривается как показатель эффективности фотосинтеза. Как правило, при увеличении суммарного количества хлорофиллов возрастает уровень фотосинтетической активности, и наоборот. Каротиноиды при воздействии неблагоприятных факторов внешней среды выполняют функцию защиты зеленых пигментов от процессов фотоокисления, тем самым поддерживая эффективную работу фотосинтеза.

В летний период с замедлением ростовых процессов в фазу цветения величина пигментного фонда существенно уменьшилась у всех видов (таблица 2). Наиболее высокие показатели определены для *A. aizoon*: 233,0 мг% хлорофиллов и 90,6 мг% каротиноидов. У *Hylotelephium ewersii* суммарная концентрация хлорофиллов также была сравнительно высокой. В то же время содержание фотосинтетических пигментов у видов *Sedum* отличалось крайне низкими показателями, не превышая 40,8 мг% для хлорофиллов и 17,0 мг% для каротиноидов. Ранее [18] было показано, что летнезеленые листья существенно уступают перезимовавшим по суммарному содержанию пигментов, и это подтверждается нашими данными для зимнезеленых видов *Aizopsis* и особенно *Sedum*.

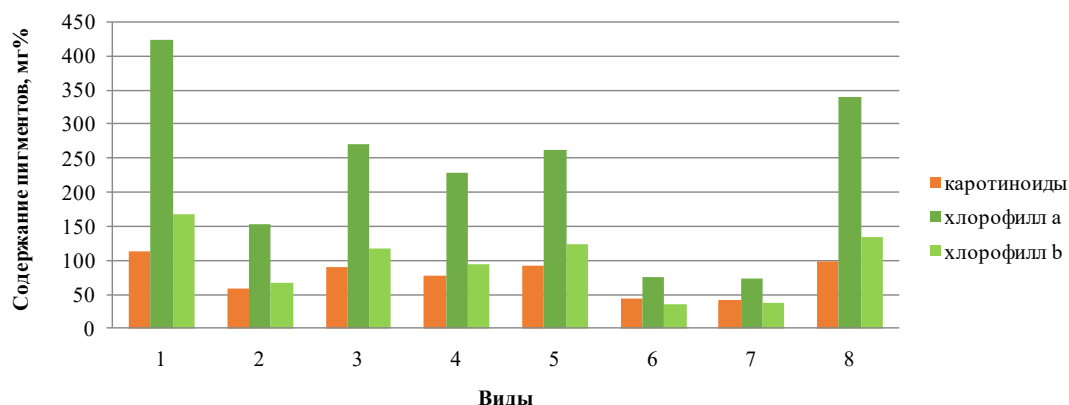


Рис. 1. Содержание пигментов в побегах очитков в фазу начала вегетации, мг% на абсолютно сухую массу сырья: 1 – *Aizopsis aizoon*, 2 – *A. hybrida*, 3 – *A. kurilensis*, 4 – *Hylotelephium ewersii*, 5 – *Sedum album*, 6 – *S. hispanicum*, 7 – *S. rupestre*, 8 – *S. spurium*

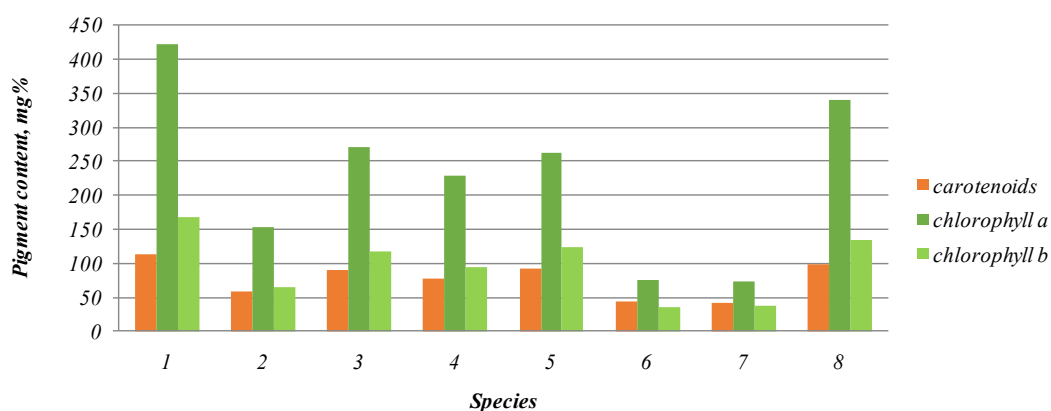


Fig. 1. The pigment content in the stonecrops at the vegetation start, mg% on absolute dry weight: 1 – *Aizopsis aizoon*, 2 – *A. hybrida*, 3 – *A. kurilensis*, 4 – *Hylotelephium ewersii*, 5 – *Sedum album*, 6 – *S. hispanicum*, 7 – *S. rupestre*, 8 – *S. spurium*

Таблица 2  
Содержание пигментов в побегах очитков в фазу цветения

Вид	Каротиноиды, мг%	Хлорофилл a, мг%	Хлорофилл b, мг%	Хлорофиллы a + b	Хлорофиллы a/b	Хлорофиллы/каротиноиды
<i>Aizopsis aizoon</i>	90,6 ± 1,1	159,5 ± 3,1	73,5 ± 1,3	233,0	2,2	2,6
<i>A. hybrida</i>	43,7 ± 0,7	23,7 ± 0,3	15,6 ± 0,4	39,3	1,5	0,9
<i>A. kurilensis</i>	49,8 ± 0,6	47,9 ± 0,5	24,2 ± 0,6	72,1	2,0	1,4
<i>Hylotelephium ewersii</i>	49,0 ± 0,8	151,9 ± 2,3	69,4 ± 1,0	221,3	2,2	4,5
<i>Sedum album</i>	9,8 ± 0,1	18,9 ± 0,3	12,7 ± 0,2	31,6	1,5	3,2
<i>S. hispanicum</i>	15,5 ± 0,2	24,5 ± 0,4	13,9 ± 0,3	38,4	1,8	2,5
<i>S. spurium</i>	17,0 ± 0,2	27,3 ± 0,4	13,5 ± 0,4	40,8	2,0	2,4

Примечание. У *S. rupestre* фаза цветения отсутствовала.

Table 2  
The pigment content in the stonecrops during the flowering

Species	Carotenoids, mg%	Chlorophyll a, mg%	Chlorophyll b, mg%	Chlorophylls a + b	Chlorophylls a/b	Chlorophylls/carotenoids
<i>Aizopsis aizoon</i>	90.6 ± 1.1	159.5 ± 3.1	73.5 ± 1.3	233.0	2.2	2.6
<i>A. hybrida</i>	43.7 ± 0.7	23.7 ± 0.3	15.6 ± 0.4	39.3	1.5	0.9
<i>A. kurilensis</i>	49.8 ± 0.6	47.9 ± 0.5	24.2 ± 0.6	72.1	2.0	1.4
<i>Hylotelephium ewersii</i>	49.0 ± 0.8	151.9 ± 2.3	69.4 ± 1.0	221.3	2.2	4.5
<i>Sedum album</i>	9.8 ± 0.1	18.9 ± 0.3	12.7 ± 0.2	31.6	1.5	3.2
<i>S. hispanicum</i>	15.5 ± 0.2	24.5 ± 0.4	13.9 ± 0.3	38.4	1.8	2.5
<i>S. spurium</i>	17.0 ± 0.2	27.3 ± 0.4	13.5 ± 0.4	40.8	2.0	2.4

Note. *S. rupestre* had no flowering phase.

Таблица 3

## Содержание пигментов в зимнезеленых побегах очитков в конце вегетации

Вид	Каротиноиды, мг%	Хлорофилл a, мг%	Хлорофилл b, мг%	Хлорофиллы a + b	Хлорофиллы a/b	Хлорофиллы/ каротиноиды
<i>Aizopsis hybrida</i>	33,0 ± 0,8	57,8 ± 1,7	26,1 ± 0,7	83,9	2,2	2,5
<i>A. kurilensis</i>	24,8 ± 0,6	75,0 ± 1,8	25,2 ± 0,6	100,2	3,0	4,0
<i>S. album</i>	45,0 ± 1,7	151,5 ± 3,1	85,7 ± 2,1	237,2	1,8	5,3
<i>S. hispanicum</i>	58,4 ± 1,1	150,7 ± 3,3	57,2 ± 1,3	207,9	2,6	3,6
<i>S. rupestre</i>	54,9 ± 1,4	136,2 ± 3,4	58,3 ± 1,6	194,5	2,3	3,5
<i>S. spurium</i>	56,0 ± 1,4	135,8 ± 2,9	53,7 ± 1,5	189,5	2,5	3,4

Table 3

## The pigment content in the green-wintering shoots of the stonecrops at the vegetation end

Species	Carotenoids, mg%	Chlorophyll a, mg%	Chlorophyll b, mg%	Chlorophylls a + b	Chlorophylls a/b	Chlorophylls/ carotenoids
<i>Aizopsis hybrida</i>	33.0 ± 0.8	57.8 ± 1.7	26.1 ± 0.7	83.9	2.2	2.5
<i>A. kurilensis</i>	24.8 ± 0.6	75.0 ± 1.8	25.2 ± 0.6	100.2	3.0	4.0
<i>S. album</i>	45.0 ± 1.7	151.5 ± 3.1	85.7 ± 2.1	237.2	1.8	5.3
<i>S. hispanicum</i>	58.4 ± 1.1	150.7 ± 3.3	57.2 ± 1.3	207.9	2.6	3.6
<i>S. rupestre</i>	54.9 ± 1.4	136.2 ± 3.4	58.3 ± 1.6	194.5	2.3	3.5
<i>S. spurium</i>	56.0 ± 1.4	135.8 ± 2.9	53.7 ± 1.5	189.5	2.5	3.4

Интенсивность инсоляции считается основным климатическим фактором, влияющим на пигментный фонд [7; 9]. Летом локальные условия освещения иные, чем весной, вследствие развитого травяного покрова и полога из сопутствующих кустарников и деревьев. Это запускает адаптивную реакцию перераспределения фотосинтетических пигментов у видов с различной степенью теневыносливости. Считается, что она обусловлена изменением ультраструктуры хлоропластов и направлена на защиту и поддержание интенсивности фотосинтеза.

Для всех видов очитков в сравнении с фазой начала вегетации отмечено снижение соотношения хлорофиллов *a* и *b* до 1,5–2,2, а также еще более весомое снижение соотношения хлорофиллов и каротиноидов – до 0,9–4,5. Смещение пропорций пигментов в пользу фоторегуляторов – хлорофилла *b* и каротиноидов – обусловлено адаптацией растений к условиям притенения. При этом пополнение пигментного фонда в летний период по-прежнему осуществлялось в основном за счет синтеза хлорофилла *a*. Межвидовые различия по содержанию пигментов в фазу цветения достигали наиболее высоких значений – в 7 раз по хлорофиллам и в 9 раз по каротиноидам.

Общий фонд пигментов у очитков в конце октября включал 83,9–237,2 мг% хлорофиллов и 24,8–58,4 мг% каротиноидов (таблица 3). Соотношение хлорофиллов *a* и *b* варьировало от 1,8 до 3,0 и по диапазону значений было наибольшим в сезоне. Соотношение хлорофиллов и каротиноидов от 2,5 до 5,3 отмечалось на одном уровне с фазой начала

вегетации, но значительно превышало показатели для фазы цветения.

У большинства видов содержание фотосинтетических пигментов осенью снизилось относительно весенних значений с максимумом до 60 %. При этом у *S. hispanicum* и *S. rupestre*, напротив, количество хлорофиллов повысилось в 1,5–2 раза, а количество каротиноидов – на 30 %. Изменение соотношения пигментов, как и их количества, отражает видовую реакцию на варьирование внешних условий и различный уровень метаболической активности, обусловленный фотосинтезом, в разные фазы сезонного развития. В период окончания вегетации межвидовая вариабельность величины пигментного фонда характеризовалась трехкратными, наименьшими в сезоне, значениями.

Ранее показана прямая корреляция содержания зеленых и желтых пигментов со среднесуточной температурой воздуха и обратная – с длиной светового дня [5]. В таких противоположных тенденциях осенних факторов осуществляется динамика фотосинтетических пигментов. В сравнении с фазой цветения содержание хлорофиллов в зимующих побегах видов *Aizopsis* и *Sedum* значительно возросло в связи с накоплением ассимилятов при подготовке к периоду покоя. У видов *Sedum* также существенно повысился уровень каротиноидов (на 70–78 %), тогда как у *A. kurilensis*, напротив, вдвое снизился. При снижении уровня инсоляции в осенний период возрастает роль каротиноидов как светосборщиков, но их различная динамика обусловлена видовыми особенностями, в том числе неодинаковой степенью теневыносливости очитков.

**Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

Показатели содержания хлорофиллов и каротиноидов свидетельствуют о различном уровне биохимической активности очитков в течение сезона, обусловленном адаптацией фотосинтетического аппарата к переменным погодным условиям. Накопление пигментов у исследованных видов происходило неравномерно. Весной величина пигментного фонда была максимальной, что обеспечило раннее начало фотосинтеза у зимнезеленых видов *Sedum*, *A. hybrida* и *A. kurilensis*, а также активный рост побегов летнезеленых видов *A. aizoon* и *Hylotelephium ewersii*.

Летом с замедлением ростовых процессов и изменением условий освещения концентрации хлорофиллов и каротиноидов существенно снизились. При этом межвидовая вариабельность показателей в фазу цветения была наибольшей, отражая различную степень теневыносливости очитков. Диапазон значений для соотношения хлорофиллов *a* и *b* составил 1,5–2,2, тогда как фотосинтетическая активность светолюбивых растений в норме равна 2,2–3,0 [18]. Судя по соотношению хлорофиллов и каротиноидов, среди изученных видов более светолюбив *A. hybrida* (0,9), а более теневынослив *H. ewersii* (4,5). В конце вегетации отмечено значительное повышение содержания хлорофиллов у зимнезеленых видов, связанное с накоплением ассимилятов при подготовке к периоду покоя. В то же время динамика каротиноидов у видов *Aizopsis* и *Sedum* была разнонаправленной.

Среди исследованных очитков наибольший пигментный фонд, обеспечивающий высокую интенсивность фотосинтеза, свойствен *A. aizoon* – виду с самым коротким сезонным циклом. Он завершается полным отмиранием побегов в середине сентября. У поздноцветущего *H. ewersii* также поддерживается сравнительно высокий уровень фотосинте-

тических пигментов в течение сезона. Зимнезеленые виды *Aizopsis* и особенно *Sedum* компенсируют низкую биохимическую активность длительным периодом вегетации, позволяющим накапливать пластические вещества для перезимовки и раннего возобновления вегетации следующей весной.

Полученные данные подтверждают литературные сведения о низком уровне фотосинтетических пигментов у очитков, связанном с приспособлением к неблагоприятным факторам среды. Это обстоятельство рассматривается как адаптивный признак для защиты от фотодеструкции в стрессовых условиях (высокая инсоляция, дефицит влаги, недостаток тепла), которые оказывают давление в континентальном климате. В то же время низкое содержание хлорофилла свидетельствует о высокой гелиофильности видов, к числу которых принадлежат очитки [7; 11].

Результаты исследования позволяют также сделать заключение о видоспецифичном характере содержания, соотношения пигментов и изменения этих показателей в течение сезона. Касательно очитков ранее было показано, например, что относительный уровень засухоустойчивости у этих растений связан со степенью деградации фотосинтетических пигментов [14]. Большая толерантность к водному стрессу коррелирует с низкой деградацией пигментов, особенно каротиноидов, и этот показатель может использоваться в качестве биохимического маркера для отбора устойчивых к водному стрессу экотипов.

Высокая межвидовая вариабельность по содержанию пигментов в одинаковых условиях произрастания при интродукции в лесостепи Западной Сибири, вероятно, связана с различным происхождением исследованных видообразцов и проявлением разных жизненных стратегий.

**Библиографический список**

1. Маслова Т. Г., Марковская Е. Ф., Слемнев Н. Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81, № 4. С. 297–310. DOI: 10.31857/S0044459620040065.
2. Wang P., Grimm B. Connecting chlorophyll metabolism with accumulation of the photosynthetic apparatus // Trends in Plant Science. 2021. Vol. 26, No. 5. Pp. 484–495. DOI: 10.1016/j.tplants.2020.12.005.
3. Дымова О. В., Головки Т. К. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таежной зоны европейского северо-востока России // Физиология растений. 2019. Т. 66, № 3. С. 198–206. DOI: 10.1134/S0015330319030035.
4. Зубкова Т. В., Масина Т. А. Влияние экологических условий выращивания на фотосинтетический потенциал декоративных растений // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. № 1. DOI: 10.51419/20211115.
5. Калмыкова Е. В., Мельник К. А., Кузьмин П. А. Видовые различия в содержании фотосинтетических пигментов у растений аридных территорий юга России // Аграрный вестник Урала. 2023. № 03 (232). С. 32–42. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-32-42.
6. Голубева Е. И., Червякова А. А., Шамова Н. Ю., Зимин М. В., Тимохина Ю. И. Видовые и фитоценологические особенности пигментного состава растений Севера // Проблемы региональной экологии. 2019. № 1. С. 6–12. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-11006.



7. Иванов Л. А., Ронжина Д. А., Юдина П. К., Золотарева Н. В., Калашникова И. В., Иванова Л. А. Сезонная динамика содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных и лесных растений на уровне вида и сообщества // Физиология растений. 2020. Т. 67, № 3. С. 278–288. DOI: 10.31857/S0015330320030112.
8. Моисеева Е. А., Кравченко И. В., Шепелева Л. Ф., Бордей Р. Х. Накопление фотосинтетических пигментов и вторичных метаболитов в листьях галеги (*Galega orientalis* Lam.) сорта Гале в зависимости от возраста травостоя и агротехнологии при интродукции в зоне средней тайги Западной Сибири // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 1. С. 44–65. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.44rus.
9. Esteban R., Barrutia O., Artetxe U., Fernandez-Marin B., Hernandez A., Garcia-Plazaola J. I. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach // New Phytologist. 2015. Vol. 206. Pp. 268–280. DOI: 10.1111/nph.13186.
10. Есичев А. О., Бессчетнова Н. Н., Бессчетнов В. П. Видоспецифичность пигментного состава хвойных представителей рода лиственница // Хвойные boreальной зоны. 2021. Т. XXXIX, № 4. С. 313–321.
11. Головки Т. К., Далькэ И. В., Бачаров Д. С. Мезоструктура и активность фотосинтетического аппарата трех видов сем. Crassulaceae в холодном климате // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 5. С. 671–680.
12. Canli K., Bozyel M. E., Benek A., Yetgin A., Akata I., Altuner E. M. Screening of in vitro antimicrobial activity of *Sedum hispanicum* ethanol extract and determination of its biochemical composition // Fresenius Environmental Bulletin. 2021. Vol. 30, No. 11A. Pp. 12614–12619.
13. Фомина Т. И., Кукушкина Т. А. Содержание биологически активных веществ в надземной части некоторых очитковых (*Sedoideae*) // Химия растительного сырья. 2022. № 4. С. 191–197. DOI: 10.14258/jcrpm.20220411265.
14. Koźmińska A., Hassan M. A., Wiszniewska A., Hanus-Fajerska E., Boscaiu M., Vicente O. Responses of succulents to drought: Comparative analysis of four *Sedum* (*Crassulaceae*) species // Scientia Horticulturae. 2019. Vol. 243. Pp. 235–242. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.08.028.
15. Matsuoka T., Tsuchiya K., Yamada S., Lundholm J., Okuro O. Value of *Sedum* species as companion plants for nectar-producing plants depends on leaf characteristics of the *Sedum* // Urban Forestry & Urban Greening. 2019. Vol. 39. Pp. 35–44. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.02.003.
16. WFO (2022): World Flora Online. V. 2022.07. URL: <http://www.worldfloraonline.org> (дата обращения: 15.04.2024).
17. Храмова Е. П., Боголюбова Е. В., Кукушкина Т. А., Шалдаева Т. М., Зверева Г. К. Фитохимическая характеристика и антиоксидантные свойства *Trifolium pannonicum* Jacq. сорта Премьер в лесостепи Западной Сибири // Химия растительного сырья. 2020. № 2. С. 149–158. DOI: 10.14258/jcrpm.2020026023.
18. Чукуриды С. С., Савенко А. В., Грекова И. В. Декоративность листьев красивоцветущих кустарников рода *Weigela* Thunb. и рода *Philadelphus* L. В связи с динамикой фотосинтетических пигментов в условиях города Краснодара // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2022. Т. 18, № 1. С. 67–72.

#### Об авторе:

**Татьяна Ивановна Фомина**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0003-4724-2480; AuthorID 164898. E-mail: [fomina-ti@yandex.ru](mailto:fomina-ti@yandex.ru)

#### References

1. Maslova T. G., Markovskaya E. F., Slemnev N. N. Functions of carotenoids in leaves of higher plants (an overview). *Journal of General Biology*. 2020; 81 (4): 297–310. DOI: 10.31857/S0044459620040065. (In Russ.)
2. Wang P., Grimm B. Connecting chlorophyll metabolism with accumulation of the photosynthetic apparatus. *Trends in Plant Science*. 2021; 26 (5): 484–495. DOI: 10.1016/j.tplants.2020.12.005.
3. Dymova O. V., Golovko T. K. Photosynthetic pigments in native plants of the taiga zone at the European Northeast Russia. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2019; 66 (3): 384–392. DOI: 10.1134/S1021443719030038.
4. Zubkova T. V., Masina T. A. The influence of environmental growing conditions on the photosynthetic potential of ornamental plants. *AgroEcoInfo*. 2021; 1. DOI: 10.51419/20211115. (In Russ.)
5. Kalmykova E. V., Melnik K. A., Kuzmin P. A. Species differences in the content of photosynthetic pigments in plants of arid territories of the South of Russia. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 03 (232): 32–42. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-232-03-32-42. (In Russ.)
6. Golubeva E. I., Chervyakova A. A., Shmakova N. Y., Zimin M. V., Timokhina Y. I. Specific and phytocenotic peculiarities of the pigment structure of the plants of the North. *Regional Environmental Issues*. 2019; 1: 6–12. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-11006. (In Russ.)
7. Ivanov L. A., Ronzhina D. A., Yudina P. K., Zolotareva N. V., Kalashnikova I. V., Ivanova L. A. Seasonal dynamics of the chlorophyll and carotenoid content in the leaves of steppe and forest plants on species and com-

munity level. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2020; 67 (3): 453–462. DOI: 10.1134/S1021443720030115. (In Russ.)

8. Moiseeva E. A., Kravchenko I. V., Shepeleva L. F., Bordey R. Kh. Accumulation of photosynthetic pigments leaves and secondary metabolites in leaves of Galega (*Galega orientalis* Lam.) cv. Gale depending on stand age and agrotechnologies during introduction in the middle taiga of Western Siberia. *Agricultural Biology*. 2022; 57 (1): 44–65. DOI: 10.15389/agrobiol.2022.1.44rus. (In Russ.)

9. Esteban R., Barrutia O., Artetxe U., Fernandez-Marin B., Hernandez A., Garcia-Plazaola J. I. Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach. *New Phytologist*. 2015; 206: 268–280. DOI: 10.1111/nph.13186.

10. Esichev A. O., Besschetnova N. N., Besschetnov V. P. Species-specificity of the pigment composition of needles of representatives of the genus *Larch*. *Conifers of the Boreal Area*. 2021; XXXIX (4): 313–321. (In Russ.)

11. Golovko T. K., Dalke I. V., Bacharov D. S. Mesostructure and activity of photosynthetic apparatus for three Crassulacean species grown in cold climate. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2008; 55 (5): 603–612. DOI: 10.1134/S1021443708050038. (In Russ.)

12. Canli K., Bozyel M. E., Benek A., Yetgin A., Akata I., Altuner E. M. Screening of in vitro antimicrobial activity of *Sedum hispanicum* ethanol extract and determination of its biochemical composition. *Fresenius Environmental Bulletin*. 2021; 30 (11A): 12614–12619.

13. Fomina T. I., Kukushkina T. A. Content of biologically active substances in the aboveground part of some stonecrops (*Sedoideae*). *Chemistry of Plant Raw Material*. 2022; 4: 191–197. DOI: 10.14258/jcprm.20220411265. (In Russ.)

14. Koźmińska A., Hassan M. A., Wiszniewska A., Hanus-Fajerska E., Boscaiu M., Vicente O. Responses of succulents to drought: Comparative analysis of four *Sedum* (Crassulaceae) species. *Scientia Horticulturae*. 2019; 243: 235–242. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.08.028.

15. Matsuoka T., Tsuchiya K., Yamada S., Lundholm J., Okuro O. Value of *Sedum* species as companion plants for nectar-producing plants depends on leaf characteristics of the *Sedum*. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019; 39: 35–44. DOI: 10.1016/j.ufug.2019.02.003.

16. WFO (2022): World Flora Online. V. 2022.07 [Internet] [cited 2024 Apr 15]. Available from: <http://www.worldfloraonline.org>.

17. Khramova E. P., Bogolyubova E. V., Kukushkina T. A., Shaldaeva T. M., Zvereva G. K. Phytochemical study of *Trifolium pannonicum* Jacq. in the forest-steppe of Western Siberia. *Chemistry of Plant Raw Material*. 2020; 2: 149–158. DOI: 10.14258/jcprm.2020026023. (In Russ.)

18. Chukuridi S. S., Savenko A. V., Grekova I. V. Decorative leaves of flowering shrubs of the genus *Weigela* Thunb. and the genus *Philadelphus* L. due to the dynamics of photosynthetic pigments in the conditions of Krasnodar. *The North Caucasus Ecological Herald*. 2022; 18 (1): 67–72. (In Russ.)

#### **Author's information:**

**Tatyana I. Fomina**, candidate of biology, senior researcher, Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0003-4724-2480; AuthorID 164898. E-mail: [fomina-ti@yandex.ru](mailto:fomina-ti@yandex.ru)

## Пространственное развитие сельского хозяйства в регионе

С. Ш. Аслаева

Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра Российской академии наук, Уфа, Россия

E-mail: [salima2006a@mail.ru](mailto:salima2006a@mail.ru)

**Аннотация.** Развитие сельского хозяйства приобретает все большую актуальность в контексте проблемы обеспечения государственной продовольственной безопасности. **Целью** исследования является анализ пространственного развития сельского хозяйства в регионе, его производственного потенциала и локализации производства для оптимизации размещения сельскохозяйственных производств и обеспечения устойчивого роста. **Методы и методология.** При проведении расчетов использовались методы экономико-математического и статистического анализа. В работе представлена комплексная методика оценки эффективности размещения сельскохозяйственных производств в регионе, учитывающая особенности территории и ее потенциал, который включает в себя анализ производственного потенциала регионов, выявление региональных особенностей локализации производства, оценку влияния основных факторов территориальной дифференциации на результативные показатели развития сельскохозяйственной отрасли. Объектом исследования выступает сельское хозяйство муниципальных образований Республики Башкортостан. Сельское хозяйство является ведущей отраслью в регионе, характеризуется гетерогенностью. **Научная новизна.** Представлены пространственные аспекты развития сельскохозяйственного производства в Республике Башкортостан на основе систематизации муниципальных образований по уровню и динамики развития сельского хозяйства, охватывающие анализ производственного потенциала, специализации и локализации производства, с учетом размещения производства и распределения производственных ресурсов. **Результаты.** Представлен картографический профиль пространственного развития сельского хозяйства в Республике Башкортостан. Муниципальные образования, которые являются точками роста или находятся в состоянии стагнации, расположены на территориях с черноземными почвами, во многих из них сосредоточены основные системообразующие предприятия, подведомственные Министерству сельского хозяйства. Предложенный подход позволит оптимизировать размещение сельскохозяйственных производств, объективно оценить степень недоиспользования конкурентных преимуществ отдельных территорий и разработать соответствующие меры государственной политики в области поддержки сельскохозяйственных производств.

**Ключевые слова:** Республика Башкортостан, сельское хозяйство, локализация, точки роста, пространственное развитие, корреляционно-регрессионный анализ, производственный потенциал

**Благодарности.** Данное исследование выполнено в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075-00570-24-01 на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов.

**Для цитирования:** Аслаева С. Ш. Пространственное развитие сельского хозяйства в регионе // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1714–1724. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1714-1724>.

**Дата поступления статьи:** 27.02.2024, **дата рецензирования:** 05.09.2024, **дата принятия:** 03.10.2024.

## Spatial development of agriculture in the region

S. Sh. Aslaeva

Institute for Socio-Economic Research of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

E-mail: salima2006a@mail.ru

**Abstract.** Agricultural development is becoming increasingly important as it impacts national food security. **The purpose** of the article is to analyze the spatial development of agriculture in the region, its production potential, and localization of production to optimize the placement of agricultural productions and ensure sustainable growth. **Methods and methodology.** Methods of economic-mathematical and statistical analysis were used. The paper presents a comprehensive methodology for assessing the effectiveness of the location of agricultural production in the region, which takes into account the characteristics and development potential of the territory. Includes an analysis of the development of municipalities, features of the localization of production in the region, and an assessment of the influence of the main factors on the performance indicators of the development of the agricultural industry. The object of the study is the agriculture of municipalities of the Republic of Bashkortostan. Agriculture is the leading industry in the region and has uneven development. **The scientific novelty.** The spatial aspects of the development of agricultural production in the Republic of Bashkortostan are presented. This is based on the grouping of municipalities according to the level and dynamics of agricultural development. Covers the analysis of production potential, specialization and localization of production and takes into account factors of production location and distribution of production resources. **Results.** A cartographic profile of the spatial development of agriculture in the Republic of Bashkortostan has been constructed. The proposed approach will allow optimizing the location of agricultural production and objectively assessing the degree of unused advantages of individual territories. Develop state policy measures to support agricultural production.

**Keywords:** Republic of Bashkortostan, agriculture, localization, growth points, spatial development, correlation and regression analysis, production potential

**Acknowledgements.** This study was carried out within the framework of the state task of the Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences No. 075-00570-24-01 for 2024 and for the planning period of 2025 and 2026.

**For citation:** Aslaeva S. Sh. Spatial development of agriculture in the region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1714–1724. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1714-1724>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 27.02.2024, **date of review:** 05.09.2024, **date of acceptance:** 03.10.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

Сельскохозяйственная отрасль играет ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны. При разработке Стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г. Президент В. В. Путин поручил включить в нее организационные мероприятия, направленные на достижение импортозамещения сельскохозяйственной продукции [1]. Для более детального исследования потенциала развития сельскохозяйственной отрасли в регионах представим анализ на примере Республики Башкортостан – одного из ведущих регионов Российской Федерации. Так, в 2022 году объем производства сельскохозяйственной продукции в данном регионе составил 258 308 млн руб., что позволило ему занять 8-е место в стране. Общая посевная площадь, выделенная под сельскохозяйственные культуры, составила 2821,1 тыс. га,

поголовье крупного рогатого скота достигло 852,4 тыс. голов, что сделало регион третьим по этому показателю [2]. Эти данные свидетельствуют о значительном вкладе сельскохозяйственной отрасли Башкортостана в обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации.

Сельское хозяйство в Республике Башкортостан выступает в качестве ведущей отрасли, характеризуется гетерогенностью с наличием точек роста и депрессивных территорий. Концепция полюсов роста, разработанная Ф. Перру, Ж. Будвилем и П. Потье [3], исследует потенциал развития этих территорий. Позднее рыночными механизмами и совершенствованием отраслевой специализации сельского хозяйства занимались: Г. И. Гануш – методологическими подходами к сельскохозяйственной специализации [4], В. Г. Гусаков – рыночными механизмами сельского хозяйства [5], О. Н. Горбатовская – оценкой дифференциации сельского хо-



зяйства в Республике Беларусь [6], А. А. Алтухов и С. А. Суспицын – измерением пространственных трансформаций [7; 8].

Одной из основных концепций современной экономической теории является привязка производственных процессов к территориям в соответствии с условиями и факторами, определяющими специализацию и локализацию видов экономической деятельности, размещение отраслей производства [9; 10]. Эффективное развитие сельского хозяйства необходимо осуществлять на основе территорий, являющихся точками роста, и находящихся на них перерабатывающих предприятий и организаций хранения, которые будут не только улучшать свое социально-экономическое положение, но и положительно влиять на соседние районы и обеспечивать продовольственную безопасность страны. По мнению Р. Н. Галикеева, для дальнейшего развития межрегионального сотрудничества необходимо создание аграрных территориальных кластеров с активным использованием кооперативных принципов и применением разнообразных механизмов [11].

Представленная статья охватывает важные аспекты развития сельского хозяйства в регионе и предоставляет анализ актуальных исследований в этой области. Исследование позволяет более подробно изучить отрасль и определить меры, которые могут быть предприняты для обеспечения продовольственной безопасности. Цель работы заключается в определении пространственных аспектов развития сельского хозяйства в регионах, анализе производственного потенциала и локализации производства для оптимизации размещения сельскохозяйственных производств и обеспечения устойчивого роста. Объектом исследования выступает сельское хозяйство Республики Башкортостан.

#### Методология и методы исследования (Methods)

Научная оценка эффективности размещения сельскохозяйственных производств в современных экономических условиях, которые определяются динамикой развития сельского хозяйства, инновационными трансформациями в производственных процессах, укреплением межотраслевых связей и углублением региональной экономической интеграции, требует использования комплексного подхода. Применяемая при этом методология должна учесть различные аспекты и факторы, связанные с производственным потенциалом регионов, специализацией и локализацией производства, территориальной дифференциацией и условиями развития и размещения производственных ресурсов.

Первым шагом определяем муниципальные образования, являющиеся точками роста, на основе матрицы Бостонской консалтинговой группы [12], сопоставляя уровень и динамику производства в сельском хозяйстве по муниципальным районам. Это позволяет классифицировать данные районы в следующие группы: депрессивные территории (ха-

рактеризующиеся уровнем производства и темпом роста ниже среднего значения), перспективные территории (характеризующиеся уровнем производства ниже среднего, темпом роста выше среднего), стагнирующие территории (уровень производства выше среднего, темп роста ниже среднего значения) и точки роста (уровень производства и темп роста выше среднего значения). Группировка осуществляется на основе средних показателей статистики, таких как среднее значение и среднегодовой темп роста. Сама характеристика межрегиональных различий, основанная на росте или снижении, отражает общую тенденцию изменения межрайонных соотношений, но не учитывает разнообразия вариантов регионального развития.

Следующим шагом определяем локализацию сельскохозяйственного производства в муниципальных образованиях региона на основе коэффициентов [13]:

$$LQ_{ic/x} = \frac{X_{ic/x} / X_{ic/x}}{X_{io} / X_{io}}$$

где  $LQ_{ic/x}$  – коэффициент локализации сельского хозяйства в  $i$ -м муниципальном образовании,

$X_{ic/x}$  – производство сельского хозяйства в муниципальном районе,

$X_{ic/x}$  – производство сельского хозяйства в регионе,

$X_{io}$  – производство в  $i$ -м муниципальном образовании,

$X_{io}$  – производство по всем видам экономической деятельности региона.

Если коэффициент локализации  $LQ_{ic/x} \geq 1$ , то сельское хозяйство в  $i$ -м муниципальном образовании находится в зоне повышенной локализации. Если  $LQ_{ic/x} \leq 1$ , то в зоне пониженной локализации.

Развитие сельского хозяйства является возможным при благоприятных условиях, что подразумевает необходимость учитывать географическое расположение районов, климат и качество почвы. Республика Башкортостан располагается на Южном Урале, климат умеренный континентальный с засушливыми летами и холодными зимами, но благодаря разнообразию почв и рельефу возможно выращивание различных видов сельскохозяйственной продукции. Территория республики разделена на две зоны – черноземную и нечерноземную. Нечерноземная зона включает Северную лесостепь, северо-Восточную лесостепь и Горно-лесную подзону. Черноземная зона включает Южную лесостепь, Предуральскую и Зауральскую степь [14].

Одним из ключевых аспектов анализа является изучение производственного потенциала региона. В этом контексте проводится оценка различий не только плодородия почвы, но и доступности рабочей силы, наличия необходимых материальных ресурсов, а также финансовой поддержки для сельскохозяйственных производителей. Для определе-

ния влияния этих факторов на развитие сельскохозяйственной отрасли, построим уравнение множественной линейной регрессии [15]:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4),$$

где  $y$  – объем производства сельскохозяйственной продукции;

$x_1$  – численность занятого населения в сельском хозяйстве;

$x_2$  – посевные площади под сельскохозяйственные культуры;

$x_3$  – основные фонды;

$x_4$  – инвестиции в основной капитал.

Для дальнейшего развития сельского хозяйства необходимо сосредоточиться на развитии точек роста, включающих организации хранения и перерабатывающие предприятия, адаптированные к специфике региона и потребностям рынка. Они должны стать драйверами развития, которые будут не только способствовать экономическому росту самих точек роста, но и оказывать положительное влияние на соседние регионы, обеспечивать достаточные поставки сельскохозяйственной продукции на всю территорию республики. Для достижения данной цели требуется провести комплексный анализ территории региона, сопоставляя точки роста сельского хозяйства в регионе с качеством почвы и системообразующими предприятиями, которые определены распоряжением Правительства Республики Башкортостан.

### Результаты (Results)

Производство сельскохозяйственной продукции в Республике Башкортостан в 2022 году составило 193 312,5 млн руб. и из года в год увеличивается. Среднегодовой темп роста за период с 2017 по 2022 год составлял 110,43 %. При этом среднегодовой темп роста сальдированного финансового результата в растениеводстве – прибыли организации составил 176,17 %, рентабельность продукции и услуг организаций повысилась с 0,8 % в 2017 году до 20,5 % в 2022 году. В животноводстве же с 2017 по 2019 год наблюдался убыток, несмотря на лидирующие позиции по количеству КРС в ре-

гионе, только к 2020 году ситуация улучшилась, и в 2022 году чистая прибыль составила 2128 млн руб. Рентабельность в животноводстве увеличилась с 3,6 % до 8,8 %.

Структуру производства сельского хозяйства по категориям хозяйств представим в таблице 1.

Значительную долю в производство сельскохозяйственной продукции в 2017 году вносили хозяйства населения. Однако к 2022 году структура изменилась, наибольшую долю стали вносить сельскохозяйственные организации, доля крестьянских хозяйств и индивидуальных предпринимателей в производстве сельскохозяйственной продукции также увеличилась.

Далее рассмотрим классификацию муниципальных образований (МО) республики на основе матрицы, в которой приведены уровни и среднегодовые темпы роста производства сельского хозяйства (таблица 2).

Распределение районов по уровню и динамике развития сельского хозяйства в республике является неравномерным. Наблюдается преобладание депрессивных территорий, которые составляют 46 % от общего числа районов. Стагнирующие территории занимают наименьшую долю, к ним относятся всего два района: Уфимский и Дюртюлинский. Территории, характеризующиеся уровнем и темпом роста выше среднего уровня, являются точками роста сельского хозяйства в регионе и составляют 31 % от общего числа МО в республике.

Коэффициенты локализации производства сельскохозяйственной продукции практически во всех муниципальных районах на уровне региона превышают единицу  $LQ_{ic/x} \geq 1$  что свидетельствует о том, что они находятся в зоне повышенной локализации. Исключение составляют Учалинский и Белорецкий районы, которые являются депрессивными территориями. Также наименьшие коэффициенты локализации ( $1 \leq LQ_{ic/x} \leq 2$ ) наблюдаются в Белебеевском, Благовещенском, Ишимбайском, Уфимском районах. В то же время только Ишимбайский район является депрессивным.

Таблица 1

### Структура производства сельского хозяйства в Республике Башкортостан

Категории хозяйств	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели	11,32	11,58	12,89	14,45	12,64	16,10
Сельскохозяйственные организации	38,82	39,01	40,02	42,60	43,97	46,74
Хозяйства населения	49,86	49,41	47,09	42,94	43,39	37,15

Источник: рассчитано автором на основе данных Росстата.

Table 1

### Structure of agricultural production in the Republic of Bashkortostan

Categories of farms	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Peasant (farm) enterprises and individual entrepreneurs	11.32	11.58	12.89	14.45	12.64	16.10
Agricultural organizations	38.82	39.01	40.02	42.60	43.97	46.74
Households	49.86	49.41	47.09	42.94	43.39	37.15

Source: calculated by the author on the basis of Rosstat data.

Таблица 2

**Группировка муниципальных образований Республики Башкортостан по уровню и динамике развития сельского хозяйства в 2017–2022 гг.**

ЭКОНОМИКА

Депрессивные территории	Перспективные территории
Архангельский, Салаватский, Аскинский, Зилаирский, Кигинский, Мишкинский, Нуримановский, Белокатайский, Бурзянский, Калтасинский, Мечетлинский, Белорецкий, Караидельский, Бирский, Дуванский, Шаранский, Татышлинский, Бураевский, Краснокамский, Янаульский, Балтачевский, Иглинский, Учалинский, Бакалинский, Ишимбайский районы	Бижбулякский, Ермекеевский, Зианчуринский, Гафурийский, Благовещенский, Стерлибашевский, Кугарчинский, Федоровский, Кушнаренковский, Белебеевский районы
Стагнирующие территории	Точки роста
Уфимский, Дюртюлинский районы	Кармаскалинский, Куюргазинский, Туймазинский, Стерлитамакский, Миякинский, Мелеузовский, Аургазинский, Абзелиловский, Чекмагушевский, Илишевский, Хайбуллинский, Баймакский, Альшеевский, Давлекановский, Чишминский, Благоварский, Буздякский районы

Источник: собственные расчеты авторов.

Table 2

**Grouping of municipalities of the Republic of Bashkortostan according to the level and dynamics of agricultural development in 2017–2022**

Depressed territories	Promising territories
<i>Arkhangelskiy, Salavatskiy, Askinskiy, Zilairskiy, Kiginskiy, Mishkinskiy, Nurimanovskiy, Belokataiskiy, Burzyanskiy, Kaltasinskiy, Mechetlinskiy, Beloretskiy, Karaidelskiy, Birskiy, Duvanskiy, Sharanskiy, Tatyshlinskiy, Buraevskiy, Krasnokamskiy, Yanaulskiy, Baltachevskiy, Iglinskiy, Uchalinskiy, Bakalinskiy, Ishimbayskiy districts</i>	<i>Bizhbulyakskiy, Ermekeevskiy, Zianchurinskiy, Gafuriyskiy, Blagoveshchenskiy, Sterlibashevskiy, Kugarchinskiy, Fedorovskiy, Kushnarenkovskiy, Belebeyevskiy districts</i>
Stagnant territories	Growth points
<i>Ufimskiy, Dyurtulinskiy districts</i>	<i>Karmaskalinskiy, Kuyurgazinskiy, Tuymazinskiy, Sterlitamakskiy, Miyakinskiy, Meleuzovskiy, Aurgazinskiy, Abzelilovskiy, Chekmagushevskiy, Ilishhevskiy, Khaibullinskiy, Baymakskiy, Alsheevskiy, Davlekanovskiy, Chishminskiy, Blagovarskiy, Buzdyakskiy districts</i>

Source: authors' own calculations.

В период с 2017 по 2022 год наблюдается положительная динамика в производстве сельскохозяйственной продукции. Только в Нуримановском, Белокатайском, Белорецком и Бирском районах среднегодовой темп роста меньше 1, что означает среднегодовое снижение производства.

Определим факторы, влияющие на развитие сельского хозяйства, по организациям сельского хозяйства. Проанализируем связь между уровнем производства сельского хозяйства и показателями производственного потенциала в 2022 году в Республике Башкортостан, для этого представим корреляционную матрицу (таблица 3).

Между производством сельскохозяйственной продукции и представленными факторами наблюдается прямая зависимость. Наибольшее влияние на производство оказывает численность работников организаций, а также меньшее, но все же значительное влияние оказывают посевные площади и инвестиции в основной капитал. Наблюдается тесная связь между численностью занятых

и инвестициями, которые получили не все районы республики.

При разработке множественной регрессионной модели для анализа взаимосвязи между уровнем продукции сельского хозяйства и показателями потенциала производства следует исключить мультиколлинеарность, то есть высокую корреляцию между независимыми переменными, а также сохранить только те показатели, которые имеют тесную связь с зависимой переменной и слабую связь между собой. В данном случае мы обнаружили, что связь между инвестициями в основной капитал и численностью занятых превышает 0,7, поэтому было решено исключить одну из переменных –  $X_1$  или  $X_4$ . Кроме того, важно учесть, что не во всех районах есть данные по инвестициям и среднесписочная численность занятых может различаться в муниципальных районах из-за различных видов найма, которые развиты в республике и связаны с сезонностью производства продукции. В структуре занятых в сельском хозяйстве подавляющая доля при-

ходится на занятых в растениеводстве, животноводстве, охоте, в 2017 году она составляла 92,22 %, в 2022 г. – 92,06 %. В лесоводстве и лесозаготовке доля численности занятых увеличилась с 7,23 % до 7,38 %, в рыболовстве и рыбоводстве – с 0,55 % до 0,56 %. В то же время происходит сокращение численности работающих в этих сферах, среднегодовой темп роста составил 87,06 % в 2017–2022 гг., т. е. ежегодно в среднем численность занятых сокращается на 12,94 %.

Переменная  $X_1$  будет исключена из уравнения, чтобы избежать мультиколлинеарности. Полученное множественное уравнение регрессии является статистически значимым, а связь между рассматриваемыми переменными и зависимой переменной – высокая.

$$y = -506297 + 67,23x_2 + 0,04x_3 + 1,21x_4.$$

При увеличении посевных площадей на 1 га продукция сельского хозяйства в среднем увеличится на 67,23 тыс. руб., при увеличении основных фондов на 1 тыс. руб. продукция сельского хозяйства в среднем увеличится на 0,04 тыс. руб., при увеличении инвестиций в основной капитал на 1 тыс. руб. продукция сельского хозяйства в среднем увеличится на 1,21 тыс. руб.

Определены пространственные аспекты размещения сельского хозяйства на территории Республики Башкортостан. Для этой цели представлена карта развития сельского хозяйства региона с обозначением на ней территорий, являющихся точками роста и стагнирующими. На карте выделена черноземная зона, которая является наиболее плодородной с высоким содержанием гумуса, включает в себя Южную лесостепь, Предуральскую и Зауральскую степь. Также отмечены системообразующие предприятия региона подведомственные Министерству сельского хозяйства (рис. 1).

На севере республики находятся муниципальные образования, являющиеся депрессивными территориями в сельском хозяйстве, с уровнем производства ниже среднего, располагающиеся на нечерноземной почве. Западный, южный и юго-восточный сектор, а также часть центрального и северо-западного сектора республики располагаются в черноземной зоне. В этих районах находится множество системообразующих предприятий, специализирующихся на производстве пищевых продуктов, выращивании зерновых, в смешанном сельском хозяйстве и животноводстве.

Таблица 3  
Корреляционная матрица

Показатели	Продукция сельского хозяйства (Y)	Численность работников организации (X <sub>1</sub> )	Посевные площади (X <sub>2</sub> )	Основные фонды (X <sub>3</sub> )	Инвестиции (X <sub>4</sub> )
Продукция сельского хозяйства (Y)	1				
Численность работников организаций (X <sub>1</sub> )	0,87	1			
Посевные площади (X <sub>2</sub> )	0,81	0,65	1		
Основные фонды (X <sub>3</sub> )	0,42	0,49	0,12	1	
Инвестиции (X <sub>4</sub> )	0,75	0,75	0,59	0,47	1

Источник: рассчитано автором на основе данных Росстата.

Table 3  
Correlation matrix

Indicators	Agricultural products (Y)	Number of employees of the organization (X1)	Cultivated area (X2)	Fixed assets (X3)	Investments (x4)
Agricultural products (Y)	1				
Number of employees of organizations (X1)	0.87	1			
Cultivated area (X2)	0.81	0.65	1		
Fixed assets (X3)	0.42	0.49	0.12	1	
Investments (x4)	0.75	0.75	0.59	0.47	1

Source: calculated by the author on the basis of Rosstat data.



Муниципальные образования, входящие в категорию точек роста и стагнирующих в сельском хозяйстве, расположены на территориях с черноземной почвой, где располагаются основные системообразующие предприятия. Эти факторы являются драйверами развития сельского хозяйства в регионе. Развитие указанных районов способствует повышению эффективности производства, сокра-

щению транспортных издержек и соответственно сельскохозяйственной продукции требованиям потребителей. Важным аспектом является развитие сельскохозяйственно-промышленного комплекса, что способствует привлечению инвесторов и стимулирует инновационные преобразования в данной отрасли.

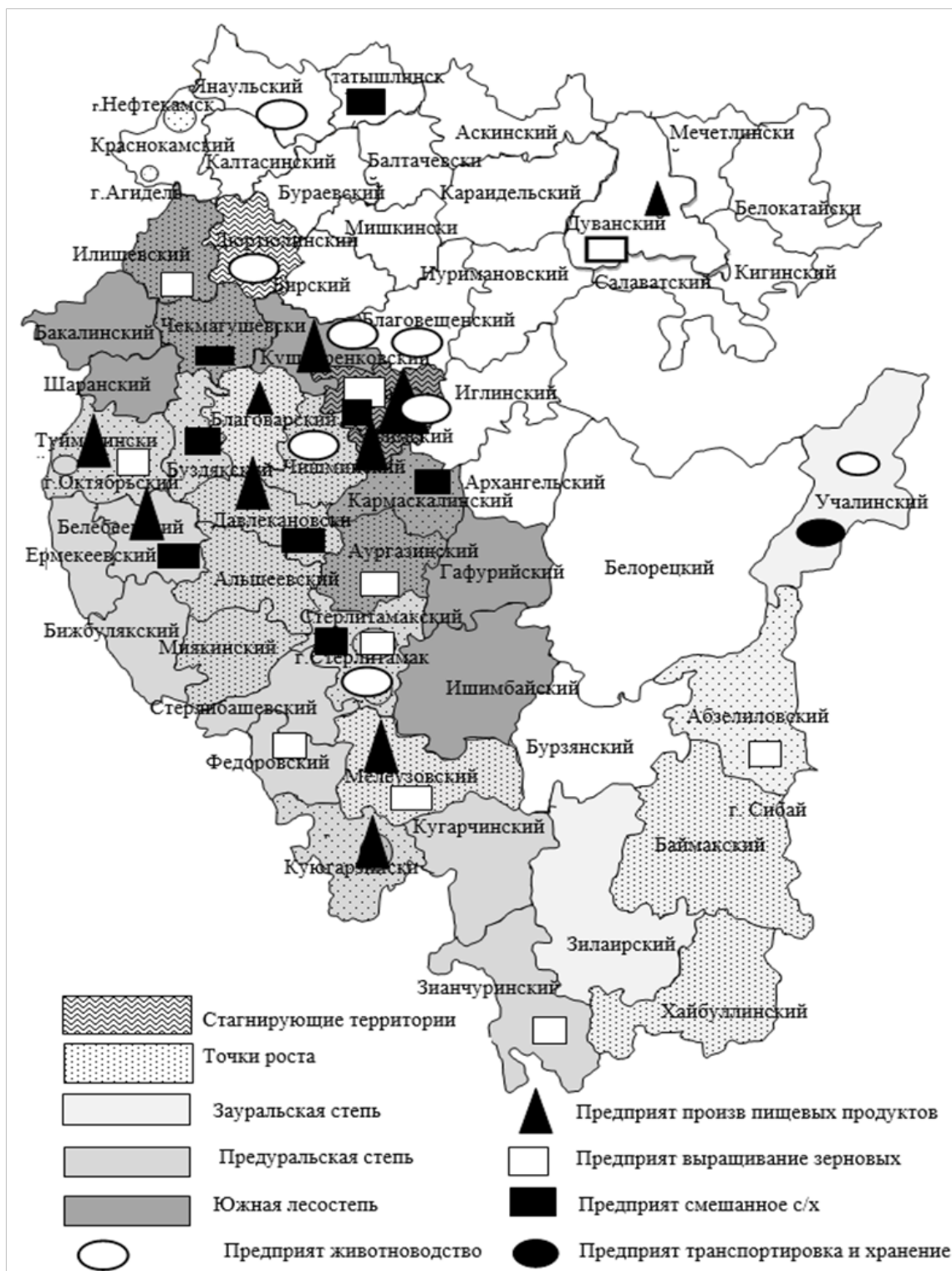


Рис. 1. Пространственное развитие сельского хозяйства в Республике Башкортостан

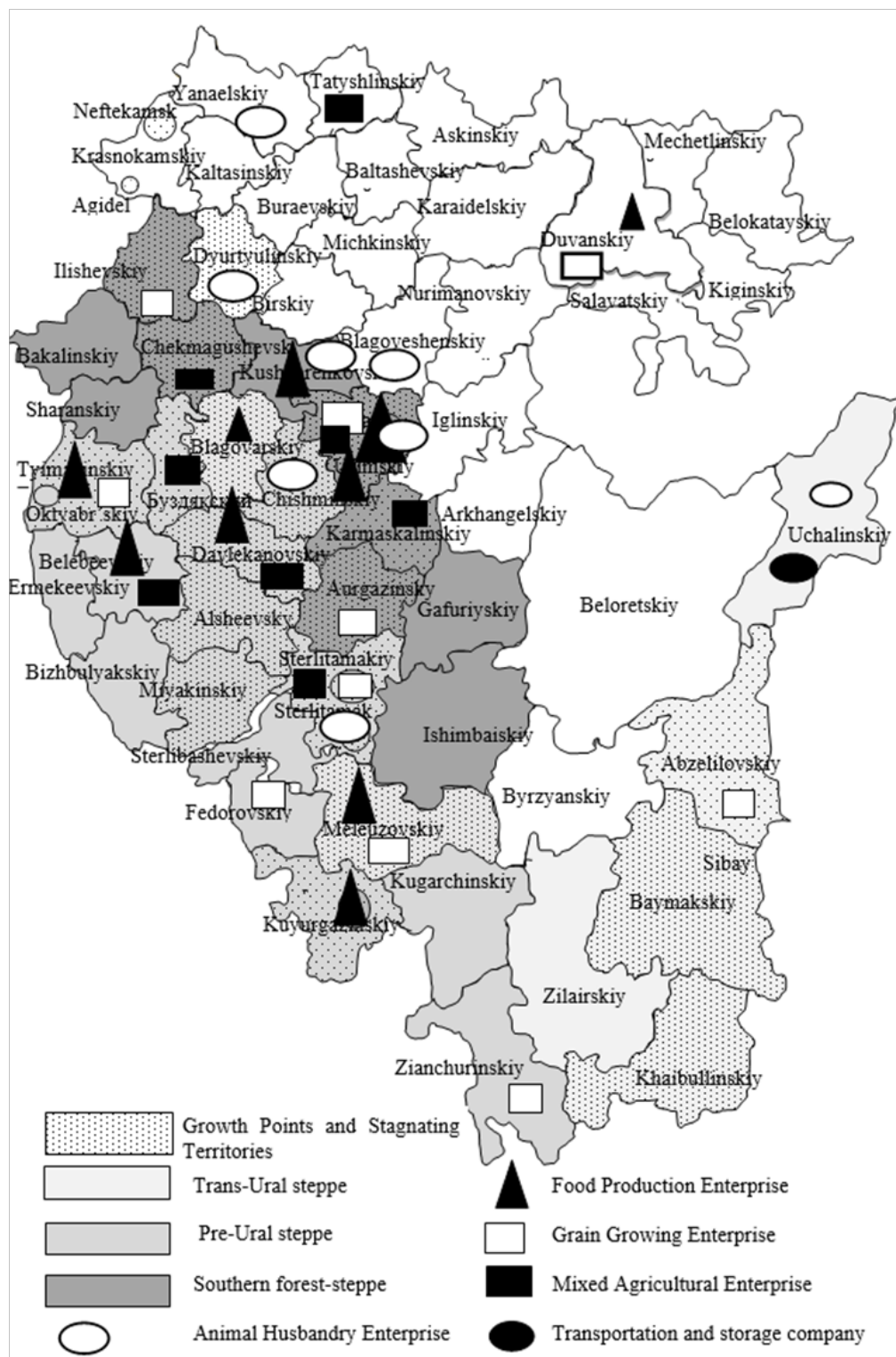


Fig. 1. Spatial development of agriculture in the Republic of Bashkortostan

### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

По мнению И. Н. Молчанова, для глубокого изучения пространственных социально-экономических различий в современных региональных исследованиях следует уделить особое внимание анализу общего экономического потенциала и его составляющих в различных территориальных разрезах: природно-ресурсных, производственных,

трудовых, научных и внешнеэкономических [16]. Это соответствует представленной нами комплексной методологии оценки эффективности размещения сельскохозяйственных производств в регионе, которая учитывает территориальные особенности и потенциал развития территорий и включает в себя анализ производственного потенциала регионов, включающего оценку различий в таких ключевых

параметрах, как плодородие почв, доступность рабочей силы, обеспеченность основными и оборотными средствами, а также наличие финансовой поддержки для сельскохозяйственных производителей; определение региональных особенностей локализации производства; оценка воздействия основных факторов территориальной дифференциации на результативные показатели развития сельскохозяйственной отрасли.

В работах А. В. Полянина рекомендуется определять точку роста путем сравнения конкурентных позиций региона на основе поляризованного развития и его потенциальных финансовых ресурсов [17]. В работе выявлены точки роста сельского хозяйства в регионе, которые характеризуются высокими уровнями и темпами роста производства продукции сельского хозяйства, имеют высокие точки локализации и вносят существенный вклад в повышение экономической эффективности сельского хозяйства, в обеспечение импортозамещения продукцией в регионе. Локализация и специализация сельского хозяйства являются объективными результатами конкуренции.

В отечественной практике при определении точек роста основная ставка делается на конкурентоспособность определенной территории в целом, также отмечается, что точки роста должны быть восприимчивы к инвестициям [18], что соответствует нашим исследованиям. При выполнении корреляционно-регрессионного анализа выявлено, что одним из факторов, оказывающих наибольшее влияние на уровень производства продукции сельского хозяйства, являются инвестиции. На необходимость привлечений инвестиций для улучшения социального и демографического уровня в своих работах указывала В. В. Смирнова [19]. В исследованиях чехословацких ученых было установлено, что сельскохозяйственные субсидии не влияют

значительным образом на биоразнообразие производства сельскохозяйственной продукции, но оказывают существенное воздействие на уровень развития фермерских хозяйств и поддержку их доходов [20]. Для обеспечения долгосрочного роста производительности в сельском хозяйстве требуются непрерывные инвестиции в государственные научно-исследовательские работы и разработки в области сельского хозяйства [21]. Кроме того, развитие предпринимательских способностей также является ключевым условием успешного развития сельского хозяйства, что подразумевает активную поддержку правительством предпринимательских навыков и обучение им сельских жителей [22].

Согласно исследованию Л. Е. Красильниковой, стратегический приоритет в развитии сельских территорий состоит в формировании агропромышленных территориально-экономических систем, которые были определены в нашей работе не только уровнем и динамикой производства, но и размещением системообразующих предприятий в республике [10].

Для дальнейшего развития сельского хозяйства рекомендуем сосредоточиться на развитии точек роста с учетом расположения имеющихся организаций по переработке и хранению сельскохозяйственной продукции с целью создания драйверов развития, которые не только улучшат свое экономическое положение, но и будут оказывать положительное влияние на сельское хозяйство всего региона. Представленный анализ пространственного развития сельского производства позволит оптимизировать размещение, оценить уровень недостаточного использования конкурентных преимуществ различных территорий, способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства в регионах и разработать соответствующие меры государственной поддержки сельскохозяйственного сектора.

#### Библиографический список

1. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2567-р [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287> (дата обращения: 08.01.2024).
2. Социально-экономические показатели. 2022: стат. сб. Москва: Росстат, 2023. 1023 с.
3. Леонтьев А. И., Новикова Н. В. Региональная проекция теории полюса роста: зарубежный и российский опыт // Теоретическая и прикладная экономика. 2020. № 4. С. 106–117. DOI: 10.25136/2409-8647.2020.4.34019.
4. Гануш Г. И., Близнюк З. Г. Методологические подходы к развитию адаптивной специализации субъектов аграрного производства // Формирование организационно-экономических условий эффективного функционирования АПК: сборник научных статей XIII Международной научно-практической конференции. Минск, 2021. С. 70–74.
5. Гусаков В. Г. Факторы и методы эффективного хозяйствования. Минск: Беларуская навука, 2020. 56 с.
6. Горбатовская О. Н. Механизм совершенствования территориальной дифференциации сельскохозяйственного производства Республики Беларусь в условиях развития региональной интеграции. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. 223 с.
7. Алтухов А. И. Размещение и специализация сельского хозяйства – основа его пространственного развития // Научные труды Вольного экономического общества России. 2019. Т. 16, № 2. С. 272–282.



8. Коломак Е. А., Буфетова А. Н., Вижина И. А. Пространственное развитие современной России: тенденции, факторы, механизмы, институты. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2020. 502 с.
9. Силин Я. П., Анимица Е. Г. Эволюция парадигмы региональной экономики // *Journal of New Economy*. 2020. Т. 21, № 1. С. 5–28. DOI: 10.29141/2658-50812020-21-1-1.
10. Красильникова Л. Е., Федосеева С. С., Баландин Д. А. Пространственно-отраслевое развитие сельских территорий в условиях современной экономической неопределенности: анализ, динамика, прогнозы. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2022. 143 с.
11. Галикеев Р. Н. Роль межрегионального сотрудничества и формирования аграрных территориальных кластеров при преодолении негативных последствий санкционного давления // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. 2023. № 10-1. С. 5–10. DOI: 10.17513/vaael.2984.
12. Ислакаева Г. Р. Использование матрицы Бостонской консалтинговой группы в разработке стратегий развития корпораций и государства // *Вестник УГНТУ*. 2020. № 3. С. 116–122. DOI: 10.17122/2541-8904-2020-3-33-116-122.
13. Гайнанов Д. А., Гатауллин Р. Ф., Аслаева С. Ш. Локализация и эффективность видов экономической деятельности в Республике Башкортостан // *Вестник Томского государственного университета. Экономика*. 2019. № 47. С. 67–79.
14. Аслаева С. Ш. Зонирование производства зерна на территории Республики Башкортостан // *Экономика сельского хозяйства России*. 2021. № 4. С. 82–86. DOI: 10.32651/214-82.
15. Наумов И. В., Седелников В. М. Сценарное моделирование и прогнозирование пространственной трансформации рынка общественного питания в России // *Управленец*. 2021. Т. 12, № 4. С. 75–91. DOI: 10.29141/2218-5003-2021-12-4-6.
16. Молчанов И. Н., Молчанова Н. П. Пространственное развитие России: управление сельскими территориями // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 02 (193). С. 78–88. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-78-88.
17. Полянин А. В., Проняева Л. И. Современная концепция региональных точек экономического роста // *Регион: системы, экономика, управление*. 2020. № 2. С. 24–33.
18. Гончаров А. А. «Точки роста» в сельском хозяйстве как решение проблем программно-целевого управления // *Наука без границ*. 2021. № 2 (54). С. 64–73.
19. Смирнова В. В. Влияние государственной поддержки на развитие сельского хозяйства и сельских территорий европейского Севера России // *Арктика: экология и экономика*. 2021. Т. 11, № 1. С. 135–145. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-135-145.
20. Kroupová Z. Ž., Čechura L., Opatrný M., Hloušková Z., Mlezivová I. Assessment of the impact of agricultural support on crop diversity // *Agricultural Economics, Czech Academy of Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 69 (3). Pp. 89–100. DOI: 10.17221/387/2022-AGRICECON.
21. Baldos U. L. Impacts of US Public R&D Investments on Agricultural Productivity and GHG Emissions // *Journal of Agricultural and Applied Economics*. 2023. No. 55 (3). Pp 536–550. DOI: 10.1017/aae.2023.29.
22. Hong R., Zhan M., Wang F. What determines the development of a rural collective economy? A fuzzy set qualitative comparative analysis (fsQCA) approach // *China Agricultural Economic Review*. 2023. Vol. 15, No. 3. Pp. 506–533. DOI: 10.1108/CAER-12-2021-0244.

### Об авторе:

**Салима Шамилевна Аслаева**, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований Уфимского научного центра Российской академии наук, Уфа, Россия; ORCID 0000-0001-6958-5391, AuthorID 263455. E-mail: salima2006a@mail.ru

### References

1. *Strategy for the development of agro-industrial and fishery complexes of the Russian Federation for the period until 2030*: Order of the Government of the Russian Federation No. 2567-r [Internet] [cited 2024 Jan 08]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287>. (In Russ.)
2. *Regions of Russia. Socio-economic indicators*: statistical collection. Moscow: Rosstat, 2023. 1023 p. (In Russ.)
3. Leont'ev A. I., Novikova N. V. Regional projection of the growth pole theory: foreign and Russian experience. *Theoretical and Applied Economics*. 2020; 4: 106–117. DOI: 10.25136/2409-8647.2020.4.34019. (In Russ.)
4. Ganush G. I., Bliznyuk Z. G. Methodological approaches to the development of adaptive specialization of subjects of agricultural production. *Formation of organizational and economic conditions for the effective functioning of the agro-industrial complex: collection of scientific articles of the XIII International scientific and practical conference*. Minsk, 2021. Pp. 70–74. (In Russ.)



5. Gusakov V. G. *Factors and methods of effective management*. Minsk: Belaruskaya navuka, 2020. 56 p. (In Russ.)
6. Gorbatovskaya O. N. *Mechanism for improving the territorial differentiation of agricultural production in the Republic of Belarus in the context of the development of regional integration*. Minsk: Minsk: Institut sistemnykh issledovaniy v APK NAN Belarusi, 2019. 223 p. (In Russ.)
7. Altukhov A. I. The location and specialization of agriculture is the basis of its spatial development. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii*. 2019; 16 (2): 272–282. (In Russ.)
8. Kolomak E. A., Bufetova A. N., Vizhina I. A. *Spatial development of modern Russia: trends, factors, mechanisms, institutions*. Novosibirsk: IEOPP SO RAN, 2020. 502 p. (In Russ.)
9. Silin Ya. P., Animitsa E. G. Evolution of the regional economics paradigm. *Journal of New Economy*. 2020; 21 (1): 5–28. DOI: 10.29141/2658-50812020-21-1-1 (In Russ.)
10. Krasil'nikova L. E., Fedoseeva S. S., Balandin D. A. *Spatial and sectoral development of rural areas in conditions of modern economic uncertainty: analysis, dynamics, forecasts*. Perm: IPC Prokrost, 2022. 143 p. (In Russ.)
11. Galikeev R. N. The role of interregional cooperation and the formation of agricultural territorial clusters in overcoming the negative consequences of sanctions pressure. *Vestnik Altayskoy Akademii Ekonomiki i Prava*. 2023; 10-1: 5–10. DOI: 10.17513/vaael.2984. (In Russ.)
12. Islakaeva G. R. Using the matrix of the Boston Consulting Group in developing strategies for the development of corporations and the state. *Bulletin USPTU. Science, education. economy. Series economy*. 2020; 3: 116–122. DOI: 10.17122/2541-8904-2020-3-33-116-122. (In Russ.)
13. Gaynanov D. A., Gataullin R. F., Aslaeva S. Sh. Using the matrix of the Boston Consulting Group in developing strategies for the development of corporations and the state. *Tomsk State University Journal of Economics*. 2019; 47: 67–79. (In Russ.)
14. Aslaeva S. Sh. Zoning of grain production on the territory of the Republic of Bashkortostan. *Economics of Agriculture of Russia*. 2021; 4: 82–86. DOI: 10.32651/214-82. (In Russ.)
15. Naumov I. V., Sedel'nikov V. M. Scenario modelling and forecasting of spatial transformation in the Russian catering market. *Manager*. 2021; 12 (4): 75–91. DOI: 10.29141/2218-5003-2021-12-4-6. (In Russ.)
16. Molchanov I. N., Molchanova N. P. Spatial Development of Russia: Management of Rural Territories. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2020; 02 (193): 78–88. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-78-88. (In Russ.)
17. Polyaniy A. V., Pronyaeva L. I. Modern concept of regional points of economic growth. *Region: systems, economics, management*. 2020; 2: 24–33. (In Russ.)
18. Goncharov A. A. “Points of growth” in agriculture as a solution to The program-target management. *Nauka bez granits*. 2021; 2 (54): 64–73. (In Russ.)
19. Smirnova V. V. Impact of state support on the development of agriculture and rural areas in the European North of Russia. *Arctic: Ecology and Economy*. 2021; 11 (1): 135–145. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-1-135-145.
20. Kroupová Z. Ž., Čechura L., Opatrný M., Hloušková Z., Mlezivová I. Assessment of the impact of agricultural support on crop diversity. *Agricultural Economics, Czech Academy of Agricultural Sciences*. 2023; 69 (3): 89–100. DOI: 10.17221/387/2022-AGRICECON.
21. Baldos U. L. Impacts of US Public R&D Investments on Agricultural Productivity and GHG Emissions. *Journal of Agricultural and Applied Economics*. 2023; 55 (3): 536–550. DOI: 10.1017/aae.2023.29.
22. Hong R., Zhan M., Wang F. What determines the development of a rural collective economy? A fuzzy set qualitative comparative analysis (fsQCA) approach. *China Agricultural Economic Review*. 2023; 15 (3): 506–533. DOI: 10.1108/CAER-12-2021-0244.

**Author's information:**

**Salima Sh. Aslaeva**, candidate of economic sciences, senior researcher, Institute for Socio-Economic Research of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia; ORCID 0000-0001-6958-5391, AuthorID 263455. E-mail: salima2006a@mail.ru

## Роль федеральных государственных информационных систем в противодействии развитию теневой экономики в сельском хозяйстве России

С. В. Киселев, С. К. Сеитов<sup>✉</sup>, И. В. Филимонов, В. А. Самсонов

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: [sanatren@mail.ru](mailto:sanatren@mail.ru)

**Аннотация.** В России государство активно проводит работы по применению цифровых систем учета сельскохозяйственной продукции, земель сельскохозяйственного назначения, других ресурсов. Как правило, их необходимость обосновывается с точки зрения повышения производительности труда, минимизации человеческого фактора в сборе данных, их учете и контроле. В то же время акцент на противодействии цифровых систем развитию теневой экономики не всегда четко ставится, хотя напрашивается по своему функционалу. **Цель** работы – обосновать роль и значение федеральных государственных информационных систем (ФГИС) в борьбе с теневой экономикой в сельском хозяйстве России. **Методы:** социологический опрос, систематизация и другие общелогические методы научного познания. **Научная новизна** состоит в обосновании возможностей ФГИС по снижению теневой экономики в аграрном секторе России с учетом возникающих проблем в процессе их использования. **Результаты.** Раскрыты реализуемые на практике возможности специализированных на сельском хозяйстве ФГИС РФ по снижению теневой экономики в данной отрасли. Выявление и пресечение теневых операций главным образом происходит за счет улучшения мониторинга и контроля процессов производства и оборота продукции на основе повышения достоверности и полноты собираемых данных. Социологический опрос сельскохозяйственных производителей об опыте применения ФГИС позволил установить, что, с их точки зрения, ФГИС снижают теневой оборот в сельском хозяйстве. Вместе с тем использование ФГИС сопряжено с комплексом пользовательских и технических проблем, которые могут повышать стимулы к ведению теневого оборота. Возникающие проблемы преимущественно связаны со стабильностью процессов регистрации и применения интерфейса, а также с необходимостью ручного ввода большого объема данных.

**Ключевые слова:** теневая экономика, цифровая трансформация сельского хозяйства, оборот сельскохозяйственной продукции, федеральные государственные информационные системы, ФГИС

**Благодарности.** Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 23-28-00076 «Теневая экономика в сельском хозяйстве России: измерение, региональная дифференциация и меры борьбы».

**Для цитирования:** Киселев С. В., Сеитов С. К., Филимонов И. В., Самсонов В. А. Роль федеральных государственных информационных систем в противодействии развитию теневой экономики в сельском хозяйстве России // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1725–1733. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1725-1733>.

**Дата поступления статьи:** 22.11.2023, **дата рецензирования:** 26.08.2024, **дата принятия:** 06.09.2024.

# The role of Federal State Information Systems in countering the shadow economy in the Russian agriculture

S. V. Kiselev, S. K. Seitov✉, V. A. Samsonov, I. V. Filimonov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

✉E-mail: sanatren@mail.ru

**Abstract.** In Russia, the state is actively working to introduce digital accounting systems for agricultural products and agricultural land. As a rule, their need is justified from the point of view of increasing labor productivity, minimizing the “human factor” in data collection, recording and control. At the same time, the emphasis on counteracting digital systems to the development of the shadow economy is not always clearly placed, although it suggests itself in terms of its functionality. **The purpose** of the study is to substantiate the role of federal state information systems (FSIS) in the combat against the shadow economy in Russian agriculture. **Methods:** sociological survey, systematization, and other general logical methods of scientific knowledge. **The scientific novelty** lies in the substantiation of the capabilities of FSIS to reduce the shadow economy in the agricultural sector of Russia, taking into account the problems arising during their use. **Results.** The paper reveals the practical possibilities of the FSIS of the Russian Federation specialized in agriculture to reduce the shadow economy in agriculture. Identification and suppression of shadow operations mainly occur through improved control and monitoring of production processes and product circulation based on increasing the reliability and completeness of the collected data. The sociological survey of farmers about the experience of using FSIS made it possible to establish that, on farmers’ opinion, FSIS reduce shadow turnover in agriculture. At the same time, the use of FSIS by farmers is associated with a set of user problems that can increase incentives for shadow trading. The arising problems mainly relate to stability of the registration processes and the user interface, as well as the need to manually enter a large amount of data.

**Keywords:** shadow sector, digital transformation of agriculture, certification, turnover of agricultural products, federal state information systems

**Acknowledgements.** The study was carried out with the support of the Russian Science Foundation within the framework of scientific project No. 23-28-00076 “Shadow economy in Russian agriculture: measurement, regional differentiation and control measures”.

**For citation:** Kiselev S. V., Seitov S. K., Filimonov I. V., Samsonov V. A. The role of Federal State Information Systems in countering the shadow economy in the Russian agriculture. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1725–1733. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1725-1733>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 22.11.2023, **date of review:** 26.08.2024, **date of acceptance:** 06.09.2024.

## Постановка проблемы (Introduction)

Теневые рынки ресурсов искажают реальные показатели в сельском хозяйстве, наносят урон бюджетной системе из-за снижения поступлений налогов с нелегального товарооборота, содействуют появлению на рынке контрафактной продукции и фальсификата. Эта проблема не нова для большинства стран, причем она труднопреодолима. Вместе с тем развитие новых технологий позволяет разрабатывать и внедрять нетривиальные методы борьбы с теневой экономикой. Одним из них является цифровизация сельского хозяйства.

В научной литературе [1–4] востребованность цифровых систем зачастую ассоциируется с повышением производительности труда, контролем процессов производства и оборота продукции, а также

упрощением и автоматизацией сбора данных. Соответствующие эффекты могут приводить к снижению теневой экономики, в частности в сельском хозяйстве, однако, с развитием цифровых технологий возникает и цифровая теневая экономика [5]. О неоднозначном влиянии цифровизации на теневой оборот свидетельствует и одно из последних эконометрических исследований, в соответствии с которым повышение использования сети Интернет до определенного уровня снижает теневой оборот, но затем увеличивает его [6]. Нелинейную взаимосвязь исследователи объясняют проблемами в институциональной среде, поскольку в странах с развитым рынком повышение использования сети Интернет снижает теневой оборот больше, чем в странах с развивающимся рынком, а в странах с

развивающимся рынком – больше, чем в странах с неразвитым рынком [6].

В России проблема теневого оборота является достаточно острой. В мае 2017 года Президентом РФ был подписан Указ «О стратегии экономической безопасности России сроком до 2030 года», в соответствии с которым одной из задач является борьба с теневой экономикой [7]. Также выпущен Указ «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации», призванный сформировать общую траекторию цифровой трансформации страны [8]. Позднее в 2019 году опубликован Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» для формирования ориентиров цифровой трансформации сельского хозяйства, в особенности в области формирования национальных платформ, субплатформ и различных модулей для повышения производительности труда [9]. В 2023 году Распоряжением Правительства РФ утверждаются стратегические направления в области цифровой трансформации агропромышленного комплекса, где одной из задач является сокращение теневого оборота продукции отрасли [10].

Обеспокоенность проблемой теневого оборота подтверждается и общественными действиями. В 2017 году принята *Хартия в сфере оборота сельскохозяйственной продукции*, которая сегодня насчитывает 9392 участников из 76 регионов России [11]. Хартия призвана обеспечивать равную конкурентную среду среди компаний, чтобы они вели добросовестную деятельность и не уклонялись от уплаты налогов. Проблема стоит действительно остро, поскольку годовой ущерб от «серых» схем возмещения НДС при экспорте зерна и подсолнечного масла достигают 65 млрд руб., а во внутренней торговле – 100 млрд руб. Схожая проблема характерна и для оборота молочной продукции. «Серые» схемы с НДС приводят к недополучению федеральным бюджетом 10–17 млрд руб. [12]. Серьезную угрозу качеству продукции представляет «теневой» рынок фальсифицированных семян. Их доля по семенам кукурузы достигает одной трети. Схожая проблема отмечается и по другим культурам – подсолнечнику, овощам. Большая доля из них приходится на импортные семена [13].

За последние годы в России сделаны определенные шаги для борьбы с теневым оборотом продовольственной продукции: разработаны и применяются различные федеральные государственные информационные системы (ФГИС), каждая из которых призвана выполнять определенные функции для сокращения теневого оборота. Например, компонент «Меркурий» во ФГИС «ВетИС» позволяет отслеживать путь каждой единицы товара от производителя до потребителя, осуществлять продажи с применением контрольно-кассовой техники,

а ФГИС «Аргус-Фито» позволяет автоматизировать процессы оформления фитосанитарных документов. Однако проблема теневого оборота все еще остается острой, и существующие решения могут быть улучшены на основе анализа проблем, возникающих в процессе использования ФГИС.

Цель настоящей работы – обосновать роль и значение федеральных государственных информационных систем (ФГИС) в борьбе с теневой экономикой в сельском хозяйстве России.

#### **Методология и методы исследования (Methods)**

В основу методологии исследования положен системный подход, который подразумевает представление теневой экономики как комплексного проблемного явления в сельском хозяйстве России, к тому же трудно измеримого [14]. В исследовании предлагается использовать методологию определения теневой экономики Росстата, в соответствии с которой теневая экономика включает скрытую экономическую деятельность (деятельность, в сущности, законная, но по экономическим причинам скрывающаяся от органов контроля), неформальную экономическую деятельность (деятельность, в сущности, законная, но ведущаяся некорпорированными предприятиями, например ЛПХ или хозяйствами населения) и нелегальную экономическую деятельность (деятельность, в сущности, незаконная) [15].

Каждая из используемых в стране специализированных для сельского хозяйства ФГИС позволяет решать проблемы, связанные с теневым оборотом в сельском хозяйстве. В исследовании выделены сельскохозяйственные ФГИС, охарактеризованные с точки зрения общего функционала и решения проблем теневого оборота. С помощью социологического опроса сельскохозяйственных производителей России подтверждается влияние ФГИС на теневой оборот, а также выявляются основные пользовательские и институциональные проблемы.

#### **Результаты (Results)**

В таблице 1 охарактеризованы специализированные на сельском хозяйстве ФГИС с точки зрения общего предназначения и их роли в противодействии теневой экономике.

Современные ФГИС в области сельского хозяйства рассчитаны на пользование юридическими лицами, поскольку в системе необходима регистрация именно юридического лица. Поэтому ФГИС влияют на скрытую и нелегальную экономическую деятельность, а неформальная экономическая деятельность остается вне поля влияния. Нетривиальной исследовательской задачей является оценка эффективности каждой ФГИС с точки зрения снижения теневого оборота. На обобщенном уровне определенные эмпирические результаты удалось получить с помощью социологического опроса.



Таблица 1

Возможности информационных систем для противодействия развитию теневой экономики в сельском хозяйстве России

Экономика

№	Информационные системы и дата их запуска в промышленную эксплуатацию	Общее предназначение	Роль в противодействии развитию теневой экономики
1	ФГИС «Сатурн», 1 сентября 2022 г.	Учет партий пестицидов и агрохимикатов при их обращении в России	Экономические и технологические операции с незарегистрированными пестицидами и другими агрохимикатами влекут за собой штрафы. Это должно сдерживать производителей от обращения к теневому рынку данных ресурсов. Ожидается снижение объемов реализации, хранения и применения незарегистрированных пестицидов и других агрохимикатов
2	ФГИС «Аргус-Фито»	Оформление и учет фитосанитарных документов	Перевод оформления карантинных, фитосанитарных сертификатов в электронную форму снижает коррупциогенные риски, которые бы возникали при непосредственном обращении производителей к сотрудникам Россельхознадзора
3	ФГИС «Зерно», 1 июля 2022 г.	Сбор сведений о поставляемых партиях зерна и продуктах его переработки	Поскольку ввод информации о каждой партии поставляемого зерна (и продуктов его переработки) обязателен, то ожидается сокращение числа желающих скрыть партии зерна для продажи на «сером» рынке
4	ЕФИС ЗСН – Единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения	Обеспечение сведений о местоположении, состоянии и фактическом использовании земель сельскохозяйственного назначения	Обеспечение прозрачности в вопросах использования земель затруднит возможности скрытого производства
5	ФГИС «ВетИС»	Обеспечение прослеживаемости животноводческой продукции; регистрация данных и результатов ветеринарно-санитарной экспертизы	Поскольку маршруты перемещения партий грузов по территории России отслеживаются, то это снижает риск их хищения и последующего перевода на теневой рынок
Компоненты ФГИС «ВетИС» <sup>1</sup>			
5.1	Компонент «Аргус»	Оформление в электронном виде разрешений на ввоз животноводческой продукции в Россию, вывоз и транзит	Этот компонент препятствует развитию «серых» схем при экспортно-импортных операциях
5.2	Компонент «Меркурий», январь 2018 г.	Регистрация результатов ветеринарно-санитарной экспертизы животноводческой продукции; оформление ветеринарных сопроводительных документов в электронном виде	В официальных каналах сбыта может упасть спрос на незарегистрированную животноводческую продукцию. Это ослабит мотивацию игроков рынка к ее теневому производству и реализации. В интеграции с системой «Честный знак» позволяет отслеживать продукцию по принципу «от поля до прилавка»
5.3	Компонент «Веста», 8 ноября 2011 г.	Регистрация лабораторных исследований животноводческой продукции, сохранение и обработка информации о них	Этот компонент сдерживает возможности реализации животноводческой продукции, не прошедшей необходимые лабораторные исследования. Содействует снижению объемов контрафактной продукции и фальсификата на рынке

5.4	Компонент «Хорриот», 18 октября 2021 г.	Идентификация и учет животных	Этот компонент затрудняет манипуляции с изменением статистики численности животных, повышая достоверность собираемых данных
5.5	Компонент «Цербер»	Интеграция баз данных о производителях животноводческой продукции в единый реестр, проведение учета действий в области ветеринарного надзора	Данный компонент собирает базу данных хозяйствующих субъектов, отслеживает выявленные нарушения при обращении и учете животноводческой продукции. Усиленный контроль в отношении недобросовестных субъектов способствует предупреждению нарушений с их стороны. Это усиливает адресность мер контроля и, соответственно, их эффективность с учетом временных затрат
5.6	Компонент «Гален»	Сбор информации о регистрации ветеринарных препаратов	Данный компонент способствует снижению привлекательности незарегистрированных ветеринарных препаратов на рынке

<sup>1</sup> Компоненты ВетИС. URL: <https://vetrf.ru/vetrf/components> (дата обращения: 16.10.2023).

Источник: составлено авторами.

Table 1  
**Capabilities of information systems to counter the shadow economy in the Russian agriculture**

No.	Information systems and the date of their launch into commercial operation	General purpose	Role in countering the shadow economy
1	FSIS "Saturn", September 1, 2022	Accounting for batches of pesticides and agrochemicals during their turnover in Russia	Economic and technological transactions with unregistered pesticides and other agrochemicals entail fines. This should deter farmers from turning to the shadow market for these resources. A decrease in the volume of sales, storage and use of unregistered pesticides and other agrochemicals is expected
2	FSIS "Argus-Fito"	Registration and recording of phytosanitary certificates	Transferring the issuance of quarantine and phytosanitary certificates into electronic form reduces the corruption risks that would arise when farmers directly contact Rosselkhoz nadzor employees
3	FSIS "Zerno", July 1, 2022	Collection of information about supplied consignments of grain and products of its processing	Since entering information about each batch of grain supplied (and its processed products) is mandatory, a reduction in the number of people wishing to hide batches of grain for sale on the shadow market is expected
4	UFIS AL – Unified Federal Information System on Agricultural Lands	Providing information about the location, condition, and actual use of agricultural land	Ensuring transparency in matters of land use will make it difficult for hidden production. Interfacing the UFIS AL with the FSIS "Zerno" will complicate the manipulation of suppliers with information about the origin of grain. The need to link grain shipments to the land on which it was grown forces the demand for products supplied under shadow schemes to decrease
5	FSIS "VetIS"	Ensuring traceability of livestock products; registration of data and results of veterinary and sanitary examination	Since the routes of movement of cargo consignments across Russia are tracked, this reduces the risk of their theft and subsequent transfer to the shadow market
<i>Components of FSIS "VetIS"<sup>1</sup></i>			
5.1	Component "Argus"	Electronic registration of permits for the import of livestock products into Russia, export, and transit	This component prevents the development of shadow schemes during export and import operations

5.2	Component "Mercuriy", January 2018	Registration of the results of veterinary and sanitary examination of livestock products; registration of veterinary accompanying documents in electronic form	Demand for unregistered livestock products may fall in official marketing channels. This will weaken the motivation of market players for its shadow production and sale. In integration with "Chestny znak" system, it allows you to track products according to the principle "from field to fork"
5.3	Component "Vesta", November 8, 2011	Registration of laboratory studies of livestock products, storage, and processing of information about them	This component hinders the possibility of selling livestock products that have not undergone the necessary laboratory tests. It helps reduce the volume of counterfeit and adulterated products on the market
5.4	Component "Khorriot", October 18, 2021	Animal identification and registration	This component makes it difficult to manipulate changes in animal population statistics, increasing the reliability of the collected data
5.5	Component "Tserber"	Integration of databases on livestock producers into the unified register; keeping records of actions in the field of veterinary supervision	This component collects a database of business entities and monitors identified violations during the handling and accounting of livestock products. Strengthened control over unscrupulous entities helps prevent violations on their part. This enhances the targeting of control measures and, accordingly, their effectiveness and time costs
5.6	Component "Galen"	Collection of information on registration of veterinary drugs	This component helps reduce the attractiveness of unregistered veterinary drugs on the market

<sup>1</sup> VetIS components. URL: <https://vetrf.ru/vetrf/components> (date of access: 16.10.2023).

Source: compiled by the authors.

В социологическом опросе, который проводился в I полугодии 2024 года, участвовали 939 сельскохозяйственных производителей России, из них 742 работают на предприятиях с численностью работников до 100 человек, 96 – в хозяйствах с численностью работников от 101 до 250 человек, 101 – с численностью работников от 251 человека и выше. При этом 66 % занимаются растениеводством, 5 % – животноводством, а 29 % – смешанным сельским хозяйством. Опрошенные респонденты используют следующие ФГИС: 85 % – ФГИС «Зерно», 64 % – ФГИС «ВетИС», 63 % – ЕФИС ЗСН, 27 % – ФГИС «Аргус-Фито», 14 % – ФГИС «Семеноводство», 7 % – ФГИС «Честный знак». Таким образом, в большей степени социологический опрос затрагивал малые предприятия, занимающиеся растениеводством.

Дальнейший анализ ответов респондентов позволил определить следующее:

1) 42 % ответивших считают, что использование ФГИС на их предприятии снижает теневой оборот; 36 % – что не снижает; 22 % затруднились ответить.

2) 49 % респондентов отметили, что использование ФГИС на других предприятиях снижает теневой оборот; 29 % – что не снижает; 22 % затруднились ответить.

3) 75 % участников опроса с большей вероятностью бы применяли ФГИС в своей работе, если бы качество ФГИС улучшилось; 18 % не изменили бы пользовательских привычек; 7 % затруднились ответить.

Таким образом, большее количество респондентов считает, что ФГИС позволяют снизить теневой оборот. Примечательно, что с точки зрения респондентов на предприятиях, где работают респонденты, эта связь менее заметна, нежели на других предприятиях, к которым респонденты не относятся. Допустимо предположить, что при улучшении качества ФГИС сельскохозяйственные производители будут пользоваться ими больше, что позволит еще сильнее снизить теневой оборот в России.

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

ФГИС условно обязательны к использованию хозяйствующим субъектам, которым в соответствии с законодательством предписано обязательное выполнение определенных действий для легализации хозяйственной деятельности и которые хотят выполнять их в цифровой среде. Альтернативой является бумажный документооборот, который хоть и является более традиционным и оттого понятным, все же связан с более значительными издержками и поэтому постепенно заменяется электронным. Сталкиваясь с проблемами при использовании ФГИС, предприниматели, в сущности, выбирают между тремя альтернативами: продолжать работу в «официальной» экономике, как-то решая возникающие проблемы (преодоление трудностей, связанных с использованием ФГИС, или переход на бумажный документооборот), «уходить в тень», где пользование ФГИС не является условно обязательным, или вовсе прекращать хозяйственную деятельность.

Восприятие предпринимателями пользования ФГИС как обязательной повинности, сопряженной со значительными трудностями, способствует формированию токсичной институциональной среды, которая не способствует росту доверия аграриев к управленческому блоку.

Трудностями, связанными с использованием ФГИС, прежде всего являются вложения в оборудование и программное обеспечение, которые воспринимаются респондентами достаточно значительными (49 % опрошенных считают требующиеся расходы для использования ФГИС значительными, а 38 % заявляют обратное). Действительно, требуются приобретение лицензий, техники, оборудования, а также навыки персонала, которые необходимы при работе с ФГИС. Также в ходе анализа ответов респондентов установлено, что необходимость ручного внесения большого количества данных воспринимается как неприятная проблема, связанная с излишними бюрократическими манипуляциями.

Особую обеспокоенность вызывают пользовательские проблемы, которые систематически возникают у предпринимателей при применении ФГИС. В соответствии с проведенным анализом ответов респондентов установлено, что в 55 % случаев пользования ФГИС они удовлетворены процессом регистрации и настройки ФГИС для своих нужд. Исчерпывающей справочную информацию по ФГИС предприниматели считают в 48 % случаев. Устранение проблем в процессе использования ФГИС происходит в среднем в 55 % случаев. Респонденты отмечают различные проблемы в процессе регистрации и пользования во ФГИС, в том числе связанные с медленной работой системы, большим объемом необходимой информации для

заполнения, ошибками при формировании запросов, проблемами при считывании ЭЦП и другими трудностями. На основании анализа ответов также сделан вывод о том, что опыт аграриев при использовании ФГИС «Аргус-Фито», ФГИС «Зерно» и ФГИС «Честный знак» оказался лучше, чем по другим исследованным ФГИС (удовлетворенность по всем критериям выше 60 %, но ниже 80 %). Наибольшие претензии отмечены при регистрации ФГИС ЕФИС ЗСН – 49 % (при 42 % с положительным или скорее положительным мнением и 9 % затруднившихся ответить), затем «Семеноводство» – соответственно 33 %, 30 % и 37 %, и «ВетИС» – 40 %, 45 % и 15 %.

Таким образом, использование ФГИС сельскохозяйственными производителями, с одной стороны, снижает теневой оборот, а с другой – может увеличивать его, если сопутствующие использованию ФГИС трудности будут значительны. Текущий этап цифровизации можно считать начальным, а значит, возникающие сложности при использовании ФГИС закономерны. Помимо технических доработок в интерфейсах, необходим пересмотр объемов собираемых данных, ручную вводимых и передаваемых аграриями через ФГИС. Частичное решение данной проблемы может заключаться в интеграции имеющихся федеральных государственных информационных систем в сельскохозяйственную платформу, работающую по принципу «единого окна». Внедрение такой платформы одобряют 67 % опрошенных предпринимателей. Кроме того, можно рекомендовать разработку мобильных приложений для оперативного использования, а также расширения консалтинговых услуг по использованию ФГИС.

#### Библиографический список

1. Шелковников С. А., Кузнецова И. Г., Петухова М. С., Алексеев А. А. Цифровизация как тренд развития сельского хозяйства в условиях нового технологического уклада // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25, № 8. С. 119–126. DOI: 10.21209/222792452019258119126.
2. Айтпаева А. А. Цифровизация сельского хозяйства в контексте повышения конкурентоспособности отечественного АПК // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2019. № 3. С. 56–63. DOI: 10.24143/2073-5537-2019-3-56-63.
3. Солдатенко А. В., Разин А. Ф., Шатилов М. В., Иванова М. И., Россинская О. В., Разин О. А., Сурихина Т. Н. Цифровая экономика в АПК как драйвер роста отрасли // Овощи России. 2019. № 3. С. 3–6. DOI: <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-3-6>
4. Marinchenko T. E. Digitalization of agricultural sector: outlook in Russia // In I. V. Kovalev, A. A. Voroshilova, G. Herwig, U. Umbetov, A. S. Budagov, & Y. Y. Bocharova (Eds.) International Conference on Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society (ICEST 2020). 2020. Vol. 90. The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS. Pp. 1140–1148. DOI: 10.15405/epsbs.2020.10.03.131.
5. Gaspareniene L., Remeikiene R. Digital shadow economy: a critical review of the literature // Mediterranean Journal of Social Science. 2015. Vol. 6, No. 6. Pp. 402–409.
6. Nguyen C. P., Schinckus C., Nguyen Q. B., Le Tran D. T. Digitalization and informal economy: a global evidence of internet usage // Journal of Industrial and Business Economics. 2024. No. 51. DOI: 10.1007/s40812-023-00278-w.



7. О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента Российской Федерации от 13 мая 2017 г. № 208 [Электронный ресурс] // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71572608/?ysclid=m4ii80ie45926987763> (дата обращения: 13.10.2023).

8. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы: Указ Президента Российской Федерации от 09 мая 2017 г. № 203 [Электронный ресурс] // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/?ysclid=m4ii9jt6l638901324> (дата обращения: 13.10.2023).

9. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание. Москва: Росинформагротех, 2019. 48 с.

10. Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 г. и о внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 8 сентября 2022 г. № 2567-р: Распоряжение Правительства РФ от 23 ноября 2023 г. № 3309-р [Электронный ресурс] // Гарант. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408020499/?ysclid=m4iia47ekn569244456> (дата обращения: 12.10.2023).

11. Хартия в сфере оборота сельскохозяйственной продукции [Электронный ресурс]. URL: <https://хартия-апк.радо.рус/o-hartii> (дата обращения: 15.10.2023).

12. Дятловская Е. Россельхознадзор оценил ущерб от махинаций с НДС в молочной отрасли [Электронный ресурс] // Агроинвестор. 2019. URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/31119-rosselkhozna-dzor-otsenil-ushcherb-ot-makhinatsiy-s-nds> (дата обращения: 15.10.2023).

13. Мишуров Н. П., Войтюк В. А., Кондратьева О. В., Федоров А. Д., Слинко О. В., Куксин С. В., Рахматуллина Л. И. Методы продвижения на российском рынке отечественных семян высших категорий и племенной продукции: аналитический обзор. Москва: Росинформагротех, 2022. 88 с.

14. Киселев С. В., Сеитов С. К., Самсонов В. А., Филимонов И. В. Теневая экономика в сельском хозяйстве России и меры борьбы с ней // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 3. С. 19–26. DOI: 10.32651/243-27.

15. Национальные счета [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики: сайт. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> (дата обращения: 15.10.2023).

#### Об авторах:

**Сергей Викторович Киселев**, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой агроэкономики экономического факультета; ведущий научный сотрудник Евразийского центра по продовольственной безопасности (Аграрного центра МГУ), Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия; ORCID 0000-0001-9519-1505, AuthorID 217836. E-mail: [servikis@yandex.ru](mailto:servikis@yandex.ru)

**Санат Каиргалиевич Сеитов**, кандидат экономических наук, инженер 2-й категории кафедры агроэкономики экономического факультета; научный сотрудник Евразийского центра по продовольственной безопасности (Аграрного центра МГУ), Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия; ORCID 0000-0001-6505-1712, AuthorID 1064362. E-mail: [sanatren@mail.ru](mailto:sanatren@mail.ru)

**Илья Валерьевич Филимонов**, кандидат экономических наук, ассистент кафедры философии и методологии экономики экономического факультета, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия; ORCID 0000-0002-1684-5142, AuthorID 1165730. E-mail: [filimonov.i.v@mail.ru](mailto:filimonov.i.v@mail.ru)

**Валерий Альбертович Самсонов**, инженер 2-й категории Лаборатории учебной и научной печати экономического факультета, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия; ORCID 0000-0001-7078-9420, AuthorID 1153095. E-mail: [v.a.samsonov@mail.ru](mailto:v.a.samsonov@mail.ru)

#### References

1. Shelkovnikov S. A., Kuznetsova I. G., Petukhova M. S., Alekseev A. A. Digitalization as a trend in the development of agriculture in the era of a new technological order. *Transbaikal State University Journal*. 2019; 25 (8): 119–126. DOI: 10.21209/222792452019258119126. (In Russ.)

2. Аутраева А. А. Digitalization of agriculture in the context of increasing competitiveness of national agro-industrial complex. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*. 2019; 3: 56–63. DOI: 10.24143/2073-5537-2019-3-56-63. (In Russ.)

3. Soldatenko A. V., Razin A. F., Shatilov M. V., Ivanova M. I., Rossinskaya O. V., Razin O. A., Surikhina T. N. Digitalization in agriculture as a driver of industry growth. *Vegetable Crops of Russia*. 2019; 3: 3–6. DOI: 10.18619/2072-9146-2019-3-3-6. (In Russ.)

4. Marinchenko T. E. Digitalization of agricultural sector: outlook in Russia. In: I. V. Kovalev, A. A. Voroshilova, G. Herwig, U. Umbetov, A. S. Budagov, & Y. Y. Bocharova (Eds.) *International Conference on Economic and Social Trends for Sustainability of Modern Society (ICEST 2020). The European Proceedings of Social and Behavioural Sciences EpSBS*. 2020; 90: 1140–1148. DOI: 10.15405/epsbs.2020.10.03.131.

5. Gaspareniene L., Remeikiene R. Digital shadow economy: a critical review of the literature. *Mediterranean Journal of Social Science*. 2015; 6 (6): 402–409.
6. Nguyen C. P., Schinckus C., Nguyen Q. B., Le Tran D. T. Digitalization and informal economy: a global evidence of internet usage. *Journal of Industrial and Business Economics*. 2024; 51. DOI: 10.1007/s40812-023-00278-w.
7. *On the Economic Security Strategy of the Russian Federation through 2030*: Decree of the President of the Russian Federation of May 13, 2017 No. 208 [Internet]. 2017 [cited 2023 Oct 13]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71572608/?ysclid=m4ii80ie45926987763>. (In Russ.)
8. *On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017–2030*: Decree of the President of the Russian Federation of May 9, 2017 No. 203 [Internet]. 2017 [cited 2023 Oct 13]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/?ysclid=m4ii9jt6l638901324>. (In Russ.)
9. *Departmental project “Digital Agriculture”*: official publication. Moscow: Rosinformagrotekh, 2019. 48 p. (In Russ.)
10. *On approval of the strategic direction in the field of digital transformation of the sectors of the agro-industrial and fisheries complexes of the Russian Federation for the period up to 2030 and on amendments to the Order of the Government of the Russian Federation of September 8, 2022 No. 2567-r*: Order of the Government of the Russian Federation from November 23, 2023 No. 3309-r [Internet]. 2022 [cited 2023 Oct 12]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408020499/?ysclid=m4iia47ekn569244456>. (In Russ.)
11. *The Charter in the field of circulation of agricultural products* [Internet]. 2017 [cited 2023 Oct 15]. Available from: <https://hartiya-apk.rado.rus/o-hartii>. (In Russ.)
12. Dyatlovskaya E. *Rosselkhoz nadzor assessed the damage from VAT fraud in the dairy industry* [Internet]. Agroinvestor. 2019 [cited 2023 Oct 15]. Available from: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/31119-ros-selkhoz-nadzor-otsenil-ushcherb-ot-makhinatsiy-s-nds>. (In Russ.)
13. Mishurov N. P., Voytyuk V. A., Kondratieva O. V., Fedorov A. D., Slinko O. V., Kuksin S. V., Rakhmatulina L. I. *Methods of Promotion on the Russian Market of Domestic Seeds of the Highest Categories and Breeding Products*: Analytical Review. Moscow: Rosinformagrotekh, 2022. 88 p. (In Russ.)
14. Kiselev S. V., Seitov S. K., Samsonov V. A., Filimonov I. V. Shadow economy in the Russian agriculture and measures to combat it. *Economics of Agriculture of Russia*. 2024; 3: 19–26. DOI: 10.32651/243-27. (In Russ.)
15. National Accounts [Internet]. *Federal State Statistics Service: website*. 2024 [cited 2023 Oct 15]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>. (In Russ.)

#### **Authors' information:**

**Sergey V. Kiselev**, doctor of economic sciences, professor, head of the department of agro-economics of the faculty of economics, leading researcher at the Eurasian Center for Food Security, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID 0000-0001-9519-1505; AuthorID 217836. *E-mail: servikis@yandex.ru*

**Sanat K. Seitov**, candidate of economic sciences, 2nd category engineer at the department of agro-economics of the faculty of economics, researcher at the Eurasian Center for Food Security, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID 0000-0001-6505-1712; AuthorID 1064362. *E-mail: sanatren@mail.ru*

**Ilya V. Filimonov**, candidate of economic sciences, assistant at the department of philosophy and methodology of economics, of the faculty of economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID 0000-0002-1684-5142; AuthorID 1165730. *E-mail: filimonov.i.v@mail.ru*

**Valeriy A. Samsonov**, 2nd category engineer at the laboratory of training and research press laboratory of the faculty of economics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; ORCID 0000-0001-7078-9420, AuthorID 1153095. *E-mail: v.a.samsonov@mail.ru*

## Механизм развития социально-экономических взаимоотношений на сельских территориях

Е. М. Кот<sup>1</sup>, Ф. В. Маханьков<sup>2</sup>✉, А. С. Лылов<sup>3</sup>, М. В. Ларин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия

<sup>3</sup> Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: [mfvsayt@gmail.com](mailto:mfvsayt@gmail.com)

**Аннотация.** Цель – проведение всестороннего анализа проблем и перспектив развития сельских территорий России, а также предложение конкретных мер по улучшению текущей ситуации и повышению качества жизни сельского населения. **Методы.** В данной работе применены как общенаучные, так и специфические методы исследования, включая библиометрию, сравнительный анализ, классификацию, синтез, дедукцию, а также экономико-математические и статистические методы. **Научная новизна.** Предложены подходы, влияющие на качество работы механизма государственного регулирования и поддержку сельхозпроизводителей. Отдельное место занимает обсуждение роли цифровых и информационных технологий в повышении эффективности сельскохозяйственного производства. Авторами представлены варианты использования технологий Big Data, интернета вещей и искусственного интеллекта для оптимизации производственных процессов, увеличения урожайности и снижения затрат. Показано, что внедрение современных технологий может значительно повысить конкурентоспособность российского сельского хозяйства на мировом рынке. **Результаты.** Проведен критический анализ действующих программ развития сельских территорий, выявлены основные причины их низкой эффективности. Рассмотрены понятия, относящиеся к социально-экономическим процессам, происходящим на сельских территориях и влияющим на их развитие. Проведена смысловая оценка значимости терминов. Особое внимание уделяется вопросу замещения термина «сельские территории» термином «сельские поселения», поскольку последний лучше отражает суть проблемы и способствует более точному восприятию нормативных документов. Также подчеркивается важность учета интересов различных групп населения при разработке и внедрении программ развития, включая представителей малого и среднего бизнеса, фермеров и владельцев личных подсобных хозяйств. Проведен анализ участников программ развития сельских территорий.

**Ключевые слова:** сельские территории, сельская местность, механизм государственного регулирования, организационно-экономический механизм, развитие экономики агропромышленного комплекса

**Для цитирования:** Кот Е. М., Маханьков Ф. В., Лылов А. С., Ларин М. В. // Механизм развития социально-экономических взаимоотношений на сельских территориях // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1734–1747. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1734-1747>.

## The mechanism of development of socio-economic relations in rural areas

E. M. Kot<sup>1</sup>, F. V. Makhankov<sup>2</sup>✉, A. S. Lylov<sup>3</sup>, M. V. Larin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia

<sup>3</sup>Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

✉E-mail mfvsayt@gmail.com

**Abstract.** The purpose is to conduct a comprehensive analysis of the problems and prospects of rural development in Russia, as well as to propose specific measures to improve the current situation and improve the quality of life of the rural population. **Methods.** This work uses both general scientific and specific research methods, including bibliometry, comparative analysis, classification, synthesis, deduction, as well as economic, mathematical and statistical methods. **Scientific novelty.** The approaches affecting the quality of the mechanism of state regulation and support for agricultural producers are proposed. A special place is occupied by the discussion of the role of digital and information technologies in improving the efficiency of agricultural production. The authors present options for using Big Data technologies, the Internet of Things and artificial intelligence to optimize production processes, increase productivity and reduce costs. It is shown that the introduction of modern technologies can significantly increase the competitiveness of Russian agriculture in the world market. **Results.** A critical analysis of existing rural development programs has been carried out, and the main reasons for their low efficiency have been identified. The concepts related to the socio-economic processes taking place in rural areas and affecting their development are considered. A semantic assessment of the significance of the terms has been carried out. Special attention is paid to the issue of replacing the term “rural territories” with the term “rural settlements”, since the latter better reflects the essence of the problem and contributes to a more accurate perception of regulatory documents. The importance of taking into account the interests of various groups of the population in the development and implementation of development programs, including representatives of small and medium-sized businesses, farmers and owners of private farms, is also emphasized. The analysis of participants in rural development programs is carried out.

**Keywords:** rural territories, rural areas, mechanism of state regulation, organizational and economic mechanism, development of the economy of the agro-industrial complex

**For citation:** Kot E. M., Makhankov F. V., Lylov A. S., Larin M. V. The mechanism of development of socio-economic relations in rural areas. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1734–1747. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1734-1747>. (In Russ.)

### Постановка проблемы (Introduction)

Развитие сельских территорий в Российской Федерации является актуальной задачей, над решением которой трудятся ученые разных поколений. Существующие подходы к разрешению сложившихся годами проблем не позволяют снять все разногласия в сфере экономики сельских территорий для обеспечения их развития. Разрешение одного разногласия обостряет взаимоотношения по другим спорным вопросам, если не учитываются все проблемы комплексно. Утвержденные и принятые в работу программы развития порождают новые противоречия. Ценности, которые взяты за основу при построении программ развития, не отражают интересы участников, поэтому мероприятия саботируются, создается нефункциональная структура и нерационально строится система приоритетов в социально-экономических процессах. Формулировки и термины в нормативно-правовой документации не имеют одной смысловой нагрузки и по-разному,

неоднозначно воспринимаются участниками проектов, что препятствует гармоничному внедрению программ развития.

Проблемы в понимании терминов приводят к рассогласованности действий субъектов в организационном механизме развития территорий. Существует мнение, что термин «сельские территории» следует поменять на «сельские поселения». Замена названия повлияет на понимание проблемы и толкование нормативно-правовых актов. Территория определяет земельное пространство, зафиксированное документально в определенных границах. Можно ли считать территорию сельской без проживающих на ней людей? Ответ на этот вопрос однозначен: нельзя. Поэтому причина деградации сельских территорий скрывается в отсутствии у людей желания жить и работать на землях сельскохозяйственного назначения. Изучение мотивационных факторов развития сельских территорий показывает слабое использование всего потенциала



сельхозпроизводителя. В разработанных программах развития не рассматривается развитие трудового ресурса и его потенциала. Слабо представлена система контроля над исполнением мероприятий по развитию, размыто понятие ответственности субъектов комплексного управления территориями. Такие нестыковки в ходе проведения мероприятий по развитию сельских территорий встречаются и по другим направлениям [1]. Для того чтобы исключить повторяющиеся из раза в раз срывы, необходимо проводить детальную оценку текущих процессов и их результатов. Кроме этого, следует избавиться от разночтения терминов и определений и перейти на понятный для всех язык терминов [2–9].

Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ не содержит термина «сельские территории», Федеральный закон «О развитии сельского хозяйства» от 29.12.2006 № 264-ФЗ уточняет, что под «сельские территории» попадают «территории сельских поселений и межселенных

территорий». Понятие «Устойчивое развитие сельских территорий», использованное в концепции до 2020 года, подразумевает постоянные улучшения. Такие результаты могут обеспечить системность в государственной политике и материальная поддержка условий для развития. Под условиями подразумевается наличие необходимой ресурсной базы, обеспечивающей развитие социально-экономической среды. Экономика генерирует средства, необходимые для устойчивого развития всех сфер деятельности, осуществляемых на сельских территориях. Наиболее интересными можно считать формулировки, которые изложили в своих работах Е. Г. Анимича и М. Ю. Присяжный. Комплексное рассмотрение сущности сельской местности как объекта, включающего в себя географическую, экономическую, социальную и экологическую составляющие, дает полное представление о взаимосвязях и взаимодействиях [10; 11].

Таблица 1

**Основные принципы потребительского права**

Принципы	Необходимые условия и мероприятия
Право на удовлетворение базовых, основных потребностей	Обеспечение доступа к основным потребностям через организацию производства и снабжения из других регионов
Право на безопасность	Создание системы безопасности и обеспечение безопасности проживания на сельских территориях
Право на получение информации	Обеспечение доступа к достоверной информации и информационное обслуживание населения сельских территорий
Право на выбор	Ассортимент и доступность общественных ценностей обеспечивает свободный выбор и альтернативу для выбора
Право быть услышанным	Наличие возможностей и свободы изложения собственных позиций
Право на возмещение ущерба	Любой обоснованный ущерб должен быть возмещен за счет виновной стороны
Право на получение образования для потребителей	Наличие системы образования, доступной для потребителя и построенной на культурных ценностях сообщества
Право на здоровую окружающую среду	Экологическая деятельность, рациональное использование и потребление ресурсов

Источник: составлено авторами на основе анализа данных<sup>1</sup>.

Table 1

**Basic principles of consumer law**

Principles	Necessary conditions and activities
The right to meet basic, basic needs	Ensuring access to basic needs through the organization of production and supply from other regions
The right to safety	Creating a security system and ensuring the safety of living in rural areas
The right to receive information	Ensuring access to reliable information and information services for the population of rural areas
The right to choose	The range and accessibility of public values provides free choice and an alternative to choose from
The right to be heard	The availability of opportunities and freedom to express one's own positions
The right to compensation for damages	Any reasonable damage must be compensated at the expense of the guilty party
The right to education for consumers	Availability of an education system accessible to the consumer and based on the cultural values of the community
The right to a healthy environment	Environmental activities, rational use and consumption of resources

<sup>1</sup> Закон РФ от 07.02.1992 № 2300-1 (ред. от 08.08.2024) «О защите прав потребителей». URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_305](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_305) (дата обращения: 16.11.2024).

Source: compiled by the authors based on analysis<sup>1</sup>.

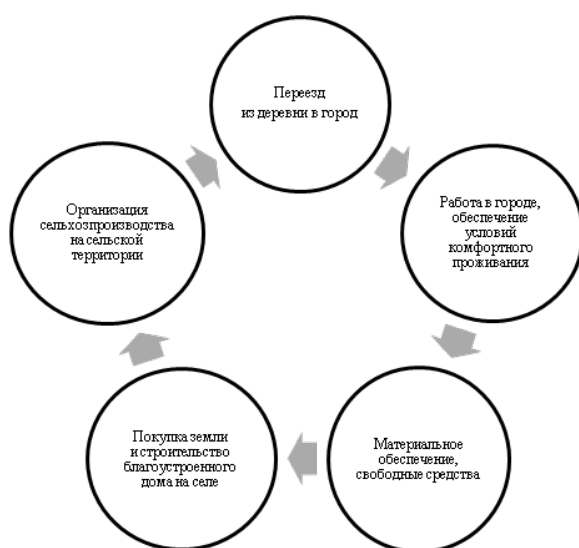


Рис. 1. Миграция сельского населения

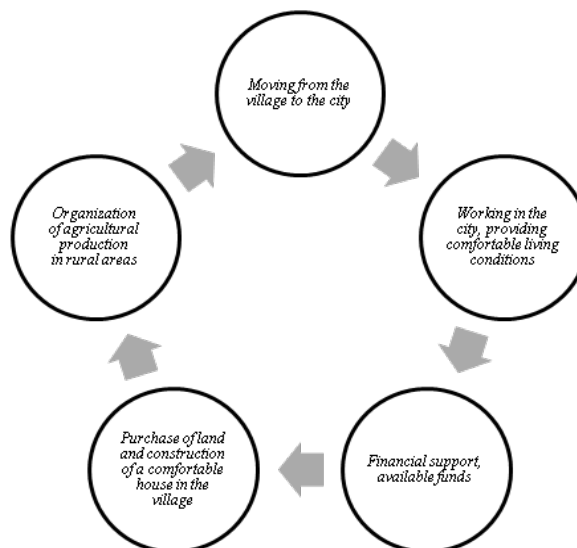


Fig. 1. Migration of the rural population

Ученые, исследующие терминологию в законодательных актах, видят много вариантов различия. И это только одна проблема из множества существующих. Государственные программы развития формируют механизмы взаимоотношений субъектов, способствующие стабильному решению существующих проблем, а не порождению новых. Для этого следует на каждом этапе понимать актуальный вектор развития в сторону цели. Российские научные достижения позволяют это сделать и подобрать необходимые исследовательские инструменты [12–14]. Следует более внимательно изучить разработанные и принятые в работу государственные программы, так как в них сложно определить объект, в отношении которого планируются изменения. Мероприятия, запланированные к реализации, имеют слабую корреляцию с поставленными целями. Правовые акты, устанавливающие границы, в которых действуют программы развития, опираются на разные определения и понятия, размывая целевые критерии. Смещается концентрация внимания на цифровизацию, автоматизацию и другие инновационные решения в ущерб главной ценности создания благоприятной среды для проживания и деятельности человека. Не используются в разработках программ основные принципы потребительского права, зафиксированные в 1985 году на генеральной ассамблее ООН (таблица 1).

Разработанные международным сообществом принципы доказали свою состоятельность и должны использоваться как качественные критерии для создаваемых механизмов развития взаимоотношений. Данные принципы следует считать мировым экспертным мнением.

В системе потребления сельский работник является производителем и потребителем ценностей, обеспечивающих продовольственную безопасность [15]. Повышение уровня жизни сельского

населения является частью процесса производства сельскохозяйственной продукции на стадии формирования трудового ресурса. Развитие сельских территорий необходимо рассматривать как потенциальные возможности для развития государственной экономики [16; 17]. При изменении взглядов на сельские территории как на объект государственного значения изменяются подходы к управлению процессами, обеспечивающими социально-экономическое развитие.

Серьезной проблемой для развития сельских территорий является попытка реализовать идеи изменений, не отвечающих интересам сельского населения и ухудшающих условия жизни. Копируя городские устои и принципы, мы лишаемся сельской идентичности [19]. Переселение из деревни в город происходит из-за неблагоприятных социально-экономических условий. К этому относятся плохие бытовые условия проживания, отсутствие благоустроенного жилья, отсутствие работы, обеспечивающей средства для удовлетворения жизненно необходимых потребностей, и другие факторы, понижающие привлекательность села. Сложившаяся ситуация по перераспределению трудового ресурса между селом и городом имеет определенную закономерность и последовательность (рис. 1).

Недостаточность материального обеспечения провоцирует активное население села переезжать в город для поиска работы, обеспечивающей достаточный для удовлетворения возникающих потребностей доход [19]. После зарабатывания достаточных средств для удовлетворения существующих и вновь появившихся потребностей происходит смещение интересов в сторону истоков. Жизнь на селе воспринимается как отдых, сельскохозяйственные работы – как хобби. Приобретается земля в сельской местности, строится благоустроенный дом. Человек без поддержки государства создает

на сельской территории условия для комфортного проживания. Параллельно разрабатывается земля, организуется производство сельскохозяйственной продукции. Человек возвращается в сельскую местность в виде фермера, дачника или туриста. Данное исследование показывает, что сокращение сельского населения связано с условиями, не позволяющими сельскому жителю обеспечить себе источник дохода, способного удовлетворить существующие потребности. При развитии промышленного производства на селе решается проблема с обеспечением работой населения, но возникает проблема с урбанизацией территорий. Тенденция сокращения пахотных земель за счет перевода их в земли под индивидуальное жилищное строительство для городских жителей сокращает потенциал сельских территорий и развитие сельского хозяйства. Сельскохозяйственные земли превращаются в рекреационные. Подобное явление связано с попаданием земли в непрофильное использование. Целью непрофильного собственника земли становится получение быстрой прибыли от продажи под строительство второстепенного для собственника жилья. Это приводит к нерациональному использованию плодородных земель и подмене ценностей. Люди свое желание жить в сельской местности удовлетворяют строительством частных загородных домов. Такие действия частично перераспределяют финансовые потоки из города в деревню, но не могут существенно влиять на развитие сельских территорий.

#### **Методология и методы исследования (Methods)**

В работе использованы общенаучные и специальные методы исследования, в частности библиометрический, сравнительный анализ, классификация, синтез, дедукция, экономико-математические и статистические методы.

#### **Результаты (Results)**

Предлагаемые подходы к развитию сельских территорий отличаются смещением центра внимания к основному потребителю ценностей сельских территорий – сельскому жителю. Он является основой сельской среды и субъектом для ее социально-экономического формирования. Территории начинают называться сельскими после того, как их заселяет человек с намерениями проживать там и использовать существующие ресурсы для получения жизненно необходимых ценностей. Слово «сельский» происходит от слова «село». То есть мы говорим о территориях, где проживают люди, занимающиеся сельским хозяйством и производством продукции, являющейся ценностью для общества. Для своей деятельности они используют свой опыт, навыки и компетенции, выраженные в виде трудового ресурса, и землю как предмет производства, обладающую плодородием и природными ресурсами. Рациональное использование ресурсной базы, присутствующей на сельских территориях, опре-

деляет потенциал и вектор направления развития экономики.

Анализ термина «Сельские территории» показывает главенствующую роль сельского жителя, потребителя и производителя продукции в сельскохозяйственной среде. Мы видим, что без участия человека, занимающегося сельским хозяйством, территория может иметь любой статус, кроме сельской. Поэтому основой развития территорий должны стать взаимоотношения, обеспечивающие благоприятные условия жизнедеятельности сельского общества.

Проанализируем реперные точки, на которые необходимо обратить внимание при проведении государственной политики развития сельских территорий. Система приоритетов и влияния государства на социально-экономическую среду должна минимизировать противоречия во взаимоотношениях среди субъектов. Экономика сельских территорий должна генерировать ценности и средства для обеспечения социальных, экономических, экологических и других процессов, обеспечивающих комплексное развитие всех направлений деятельности на селе [20–22]. Комплексный подход к организации процессов по рациональному распределению ресурсов обеспечит постоянное улучшение и развитие среды. Развитие социальной среды, влияющей на рост населения и качество трудового ресурса, необходимо для развития производства. От качества производственных взаимоотношений зависит развитие не только экономики, но и социальной среды. Благоприятные условия для жизнедеятельности сельского населения улучшают качество трудового ресурса, повышают производительность труда и делают экономику сельских территорий эффективной.

Увеличение уровня заработной платы на селе – важный аспект, который может решить проблемы развития сельских территорий без сложных программ развития. Но из-за отсутствия понятного механизма государственного регулирования и неэффективного распределения средств в сельском хозяйстве оплата труда в смете затрат стоит не на первом месте. Примером привлечения работников в производство высокой оплатой труда без создания достойных социальных условий могут послужить производственные процессы, организованные на территориях Крайнего Севера. Люди готовы жертвовать комфортом, получая заработную плату выше, чем они получали бы, находясь в обычных условиях. Возможности повышения уровня оплаты труда зависят от продуктивности и эффективности процессов, но более важную роль в принятии такого рода решений играют отношение в обществе к ценности данного направления. Процессы Крайнего Севера производят дорогостоящую продукцию, способную быть ликвидной при высокой

себестоимости. Стоимость сельскохозяйственной продукции, несмотря на гарантированный спрос, имеет репутацию доступной из-за ответственности государства, поэтому ее ценность в обществе недооценена и не настолько высока, чтобы обеспечивать ее производителей высоким уровнем заработной платы.

На рыночную стоимость сельскохозяйственной продукции влияют конъюнктура рынка и социальное лобби, обеспечивающее потребителю доступную цену на продукты первой необходимости. Государственный механизм регулирования не отражает интересы аграриев, ограничивая закупочные цены и компенсируя потери по факту. Такой подход рождает чувство социальной несправедливости у жителей сельских территорий и ослабляет мотивацию жить и трудиться на селе. При решении общесоциальных вопросов по борьбе с голодом происходит ущемление интересов работников сельских территорий. Данный факт показывает потребность системы в отлаженном организационно-экономическом механизме, обеспечивающем высокое положение в обществе аграриев и развитие агропромышленного комплекса. Государство искусственно занижает доходы сельскохозяйственного производителя, решая общечеловеческие потребности общества по доступности цен на товары базовой потребности и первой необходимости. Компенсация возложенной на сельхозпроизводителя нагрузки, порождающей убытки, частично компенсируется перераспределением бюджетных средств на поддержку сельскохозяйственного производства с опозданием на производственный цикл. Происходит двойное ущемление возможностей социального развития сельских территорий. Ограничения не дают ритмично развиваться сельскому хозяйству, сокращая рентабельность производства и делая агропромышленный сектор неэластичным. Ранее описанная взаимосвязь между социальной средой и экономикой дает возможность сделать вывод о пагубном влиянии данных взаимоотношений и на экономическое, и на социальное развитие. Сельскохозяйственная экономика лишена возможности быть самостоятельной, самодостаточной и финансировать социальное развитие и качество своего трудового ресурса. Направленные на компенсации бюджетные средства оказывают влияние на поддержание существующего уровня, но не в состоянии развивать производство, так как поступают к следующему производственному циклу, по которому результаты эффективности еще неизвестны. Может помочь предупреждающая компенсация убытков, что больше подходит для плановой экономики, имеющей свои недостатки и преимущества. Средства от экономики сельских территорий размываются и неэффективно используются без понятного и прозрачного организацион-

но-экономического механизма развития сельских территорий.

Процесс разработки государственных программ развития сложный и требует комплексного, рационального и взвешенного подхода со стороны компетентных разработчиков, опирающихся на экспертные заключения и инновационные технологии. Эксперты должны лично сталкиваться с существующими проблемами сельских территорий, а искусственный интеллект – анализировать полученную информацию. Понять и обозначить существующие проблемы возможно при отработанном механизме взаимодействия между заказчиком и разработчиком. Использование опыта участников сельскохозяйственных процессов изменит качество этих программ, а следовательно, и результаты от их внедрения.

Механизм государственной поддержки является составной частью организационно-экономического механизма развития сельских территорий. Данный факт обоснован влиянием государства на основные показатели хозяйственной деятельности предприятий сельскохозяйственной отрасли, являющиеся главным фактором развития. А рациональное использование ресурсной базы является потенциалом организационно-экономического механизма. Развитие формируется на особенностях местных ресурсов, а использование кластерного подхода обеспечит территориальные преимущества. Изменение подхода к государственной поддержке требует понимания участников процессов. Использование бюджетных средств на компенсацию потерь менее эффективно, чем направление средств на предотвращение потерь. Следует разработать подходы, которые мотивируют развитие производства и перераспределяют риски по реализации готовой продукции между заинтересованными лицами, в том числе и государством.

Организационно-экономический механизм обеспечивает организационные мероприятия для построения структуры взаимоотношений и экономического роста для развития сельских территорий. Необходимо выяснить, почему это не используется регулятором взаимоотношений на селе и что этому мешает. Решением существующих проблем должны заниматься все участники взаимоотношений. Создание организационно-экономического механизма, учитывающего все интересы участников процесса развития и ресурсные возможности территорий, является выходом из сложившейся ситуации. Предлагаемый механизм обеспечит комплексное решение государственных задач, обеспечивающих единый вектор усилий участников. Образное, детальное видение проблем обеспечивает механизму эффективно регулировать взаимоотношения на всех этапах социально-экономического развития сельских территорий.





Рис. 2. Механизм взаимодействия государственной поддержки производителей через регулирование спроса

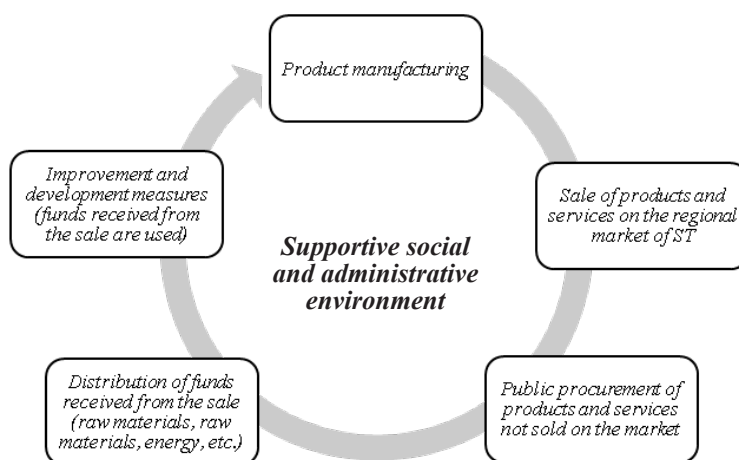


Fig. 2. The mechanism of interaction of state support for producers through demand regulation

Существующая система развития территорий требует кардинальных изменений в организации и поддержке существующих процессов на уровне внутренних и внешних взаимоотношений. Государственное регулирование обладает данной функцией, но отсутствие структурированных механизмов не позволяет в полном объеме реализовать существующий функциональный потенциал.

Оценка эффективности государственного влияния на развитие социально-экономических процессов показывает нерациональное использование существующих инструментов по ограничениям, мотивации, стимулированию и поддержке. Из-за отсутствия выстроенных на основе проблематики задач стратегические цели не фиксируются и уходят на второй план. Оперативные и текущие цели теряют взаимосвязь со стратегическими. В итоге страдает стабильность взаимоотношений на долгосрочный период развития. Выстроенные процессы развития без механизмов развития непредсказуемы в плане достижения целей [23]. Организационные проекты закрываются, дублируются и разрабатываются новые с повторяющимися ошибками. Стремление достигнуть промежуточного результата любой ценой обрекает на провал весь проект. Сельское хозяйство является самым наглядным

примером безответственного и нерационального использования природных ресурсов. Производственные процессы рассматриваются усеченно, до выпуска готовой продукции. Результат сельскохозяйственной деятельности может быть ничтожным по сравнению с ущербом, нанесенным окружающей среде, и затратами на восстановление экологического равновесия. При формировании цены на готовую продукцию в себестоимости не учитываются расходы на компенсацию побочного ущерба обществу и окружающей среде. А так как продукция считается в основном жизненно важной, стоит задача снизить цену для конечного потребителя, невзирая на последствия. Последствия снижения цены реализации выражаются в дефиците средств на оплату труда и развитие производства. Низкий уровень оплаты труда работникам сельхозпредприятий делает их труд непривлекательным. В таких условиях, как следствие, создаются нерациональные механизмы взаимоотношений, порождающие цепную реакцию для новых проблем. Регулятор цен на сельхозпродукцию ограничивает производителя в средствах и в возможностях самостоятельно развивать производство и систему бережного отношения к окружающей среде. Ограничения делают производство на сельских территориях зависимым.

Работа на таком производстве не может обеспечить человека необходимыми для достойного существования средствами, что делает ее непрестижной. В связи с этим идет отток рабочей силы из села в город, где условия привлекательнее. Сельскохозяйственная экономика лишается трудового ресурса.

Если сравнить сельское хозяйство с другими отраслями экономики, то они находятся в более выгодном положении. На сегодняшний день наблюдается тенденция сокращения государственной поддержки в агропромышленном секторе. Поэтому речь может идти только о поддержке и фиксации существующего уровня производства. Чтобы влиять на процесс в течение всего цикла, необходимо постоянно корректировать и осуществлять оперативный контроль изменений показателей, характеризующих развитие. Организационный механизм обеспечивает стартапы и расширение, улучшение существующих производств. Регулирование конъюнктуры сельскохозяйственных рынков обеспечит равномерное удовлетворение спроса по ассортименту и удовлетворение потребностей в производ-

стве ценностей. Предусмотрительное отношение к сезонным колебаниям и влиянию сетевых компаний снизит потери от реализации продукции, произведенной на сельских территориях. Государственная поддержка как основной регулятор организационно-экономического механизма развития создаст на сельских территориях среду постоянного развития.

Для обеспечения комплексного развития государство в лице региональной власти и органов самоуправления в рамках программного развития гарантирует развитие производства продукции через гарантию полной реализации. Цены реализации для сельхозпроизводителя должны формироваться на основе понесенных издержек, включающих в себя достойную оплату труда и добавочную стоимость обеспечивающей развитие производства. Доходы от производства сельскохозяйственной продукции обеспечивают интерес инвесторов и развитие производства. Аграрная политика государства определяет правила работы организационно-экономического механизма, способного улучшить и развить сельское хозяйство на сельских территориях (рис. 2).



Рис. 3. Распределение готовой сельскохозяйственной продукции, произведенной на сельских территориях

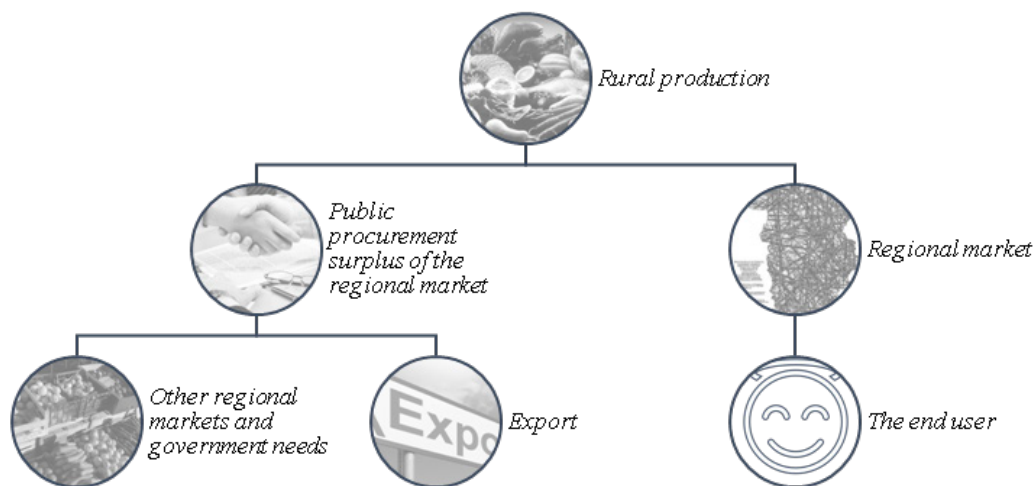


Fig. 3. Distribution of finished agricultural products produced in rural areas

Производитель, действуя в рамках государственной программы развития, производит продукцию, необходимую для общества. Государство гарантирует реализацию всей произведенной продукции в рамках программы развития. Если емкость местного рынка не соответствует объему произведенной продукции, включается государственный механизм распределения остатков через государственный закуп. Выкупленная государством продукция распределяется по другим региональным рынкам. Возможны варианты реализации на склады неприкосновенного запаса и экспорта в дружественные страны. Такая система поддержки способна пополнить бюджет и помочь экономике сельских территорий развиваться самостоятельно (рис. 3).

Государство берет на себя риски по сбыту всей продукции, произведенной на сельских территориях, тем самым поддерживает производство и постоянное развитие территорий. На производителя ложится ответственность за качество и объемы производства, необходимые для выполнения разработанных программ развития. Цена на продукцию формируется из расчета ее себестоимости и наценки, обеспечивающей развитие и прибыль производителя-инвестора. Уровень заработной платы должен быть не ниже уровня в конкурирующих за трудовой ресурс отраслях. Заработная плата, полученная работником, непосредственно участвующим в процессе производства сельскохозяйственной продукции, должна обеспечить достойный уровень жизни. Заработная плата управленческого персонала должна коррелировать со средним уровнем заработной платы по предприятию. Дивиденды собственников и прибыль инвесторов не должны превышать разумного уровня и принципов распределения средств. Такой подход к расходам на оплату труда и распределению инвестиционного дохода благоприятно повлияет на темпы развития сельских территорий и экономики. Государственная гарантия снизит предпринимательские риски в сельском хозяйстве и повысит производительность труда. Достойная оплата труда позволит работникам села самостоятельно обеспечить себя оптимальными условиями проживания. Нагрузка на бюджет в плане строительства социального жилья снизится. Предпринимательская активность и интерес инвесторов к агробизнесу повысятся. Описанные принципы и подходы к развитию сельских территорий, обеспечат непрерывные процессы саморазвития социально-экономической среды. Влияние государства на сельскохозяйственные рынки и производство через регулирование цены и спроса на продукцию с учетом себестоимости, темпов развития, уровня жизни работников и рыночной конъюнктуры позволит создать систему рационального использования средств государственной поддержки. Развитие сельских территорий невозможно рассматривать отдельно от

развития сельского хозяйства, занимающего 60 % экономики сельских территорий.

Инновационное развитие сельскохозяйственной отрасли является приоритетным направлением, позволяющим достигать поставленных целей. Информационные технологии решают вопросы по дефициту рабочей силы, производительности труда, росту экономики и развитию сельских территорий. Информационные технологии должны применяться в подготовленной здоровой экономике. Эффективность применения инновационных разработок возможна в комплексе с накопленным сельскохозяйственным опытом и пониманием сути процессов в сельском хозяйстве. Сельскохозяйственными компетенциями обладают работники села, не имеющие опыта работы с информационными технологиями, поэтому переподготовка персонала является задачей, позволяющей раскрыть человеческий потенциал. Сложнейшей задачей инновационного развития является интеграция сельского хозяйства и персонала в цифровую среду. Цифровая среда должна интегрироваться в физическое пространство, улучшая и ускоряя существующие процессы. Изменения в процессах не должны разрушать сложившиеся производственные условия. Просматривается тенденция номинального использования цифровых платформ, созданных для ускорения коммуникационных процессов и процессов обмена большими данными. Можно заметить увеличение расходов при неизменяющемся результате. Отсутствие навыков и знаний у пользователей цифровых платформ снижает эффективность их использования или увеличивает необоснованную нагрузку на весь существующий процесс производства. При интеграции в цифровые технологии очень важно качество обратной связи с пользователями. Это дает возможность разработчикам создать понятный адаптированный цифровой продукт. Такие условия будут делать экономические процессы понятными, быстрыми и продуктивными. Не решив задачу адаптации, мы не сможем создать единый, эффективный, понятный для всех механизм взаимодействия в сельском хозяйстве на базе цифровой платформы. Для использования информационных технологий сельхозпроизводитель должен обладать необходимыми компетенциями, позволяющими ему корректно сформулировать задачу перед разработчиками информационных платформенных ресурсов. При понимании возможностей цифровой среды работниками сельского хозяйства эффективность применения цифровых технологий возрастет. Цифровые технологии делают процесс улучшения непрерывным. Работа по выявлению проблем и поиску решений, интегрированная в цифровое пространство ускоряет достижение цели. Цифровые двойники производственных отношений исключают ошибки в управленческих решениях.

**Финансовые потери в сельскохозяйственной отрасли от применения технологии Big Data в Пермском крае**

Подотрасль сельского хозяйства	Объемы производства, тонн	Увеличение объемов, %	Недополученный продукт, тонн	Недополученные средства, млн руб., по минимальным ценам
Производство зерновых культур	282 300	30	84 690	499,67
Производство молока	466 667	15	70 000	1 728
Всего недополучено средств по двум направлениям				2 227,67
Субсидирование затрат в АПК Пермского края 2023 года.				3 374,2

Источник: составлено авторами на основе анализа данных сайта Министерства АПК Пермского края.

Table 2

**Financial losses in the agricultural sector from the use of Big Data technology in the Perm Region**

The sub-sector of agriculture	Production volumes, tons	Increase in volumes, %	Lost product, tons	Lost funds, millions of rubles, at minimum prices
Production of grain crops	282 300	30	84 690	499.67
Milk production	466 667	15	70 000	1 728
In total, funds were not received in two directions				2 227.67
Subsidizing costs in the agro-industrial complex of the Perm Region in 2023.				3 374.2

Source: compiled by the authors based on the analysis of data from the website of the Ministry of Agriculture of the Perm region.

Подготовка универсальных специалистов требует детальной оценки потребностей в компетенциях и разработки индивидуальных программ обучения [23]. Самым эффективным обучением считается прикладное обучение без отрыва от производства. Услуги консультантов-аналитиков, осуществляющих обучение непосредственно на рабочем месте, имеют высокую стоимость из-за индивидуального подхода. Высокая стоимость такого обучения препятствует массовому характеру. Повлиять на принятие решения по организации прикладного индивидуального обучения может демонстрация полученного эффекта в виде результата по улучшению производства и увеличению дохода за счет новых компетенций сотрудников. Преимущество такого обучения заключается в индивидуальном подходе к функционалу работника, участвующего в производственном процессе. Специалист не отрывается от выполнения своих должностных обязанностей и повышает качество своих навыков и компетенций. Эффективность приобретенных компетенций можно проверить сразу в процессе. Если предлагаемое обучение неактуально и не влияет на повышение производительности труда, то его можно приостановить и изменить или полностью от него отказаться. В данном случае компания экономит средства на обучение персонала. Персонал не теряет времени на обучение с отрывом от производства, приобретая компетенции, не влияющие на улучшение производственного процесса. Обучение становится полезным для производства, а не формальным, для галочки. Обученные по индивидуальному плану сотрудники могут создать внутренний центр обучения для сотрудников компании. Консалтинговые услуги могут стать хорошим инструментом для внедрения

передовых технологий в производственную систему предприятия. Возможность оперативного влияния на качество трудового ресурса, адаптированного в цифровой среде сельского хозяйства, должно способствовать развитию сельских территорий.

Использование возможностей технологий Big Data обеспечит полноту сбора информации и ее анализ. Сельское хозяйство является одним из перспективных направлений для использования Big Data. Хорошие результаты дает применение сбора больших данных в растениеводстве по урожайности культур через сбор и анализ метеорологических условий, плотность посадки растений, глубину посадки, методы обработки, параметры полива и другие. Внедрение аналитических сервисов на базе Big Data увеличивает урожайность зерновых культур более чем на 30 %. В молочной промышленности данные технологии увеличивают надой более чем на 15 %.

Анализ информации с сайта Министерства АПК Пермского края показал, что эффект от внедрения технологий Big Data составляет порядка 66 % от всех средств, направленных из бюджетов разных уровней на субсидирование затрат в АПК Пермского края (таблица 2). Эти недополученные деньги нужны экономике сельских территорий Пермского края для реализации программы развития сельского хозяйства и развития сельских территорий. Рациональное использование возможностей, связанных с технологиями и организацией управления, сделает экономику сельских территорий самостоятельной и интересной для инвесторов. Направлением для развития должно стать предпринимательство. Необходимо обратить внимание на развитие частного бизнеса в виде фермерских хозяйств и личного подсобного хозяйства на сельских территориях.



Таблица 3

Варианты использования аналитического сервиса

ЭКОНОМИКА

1-й вариант	2-й вариант
<p>Сервисы специализированных на аналитических сервисах крупных компаний на основе собственных данных, данных, предоставленных клиентом, а также данных, полученных с помощью специальных устройств.</p> <p>Проведение аналитической работы. Далее по результатам анализа формируются рекомендации, настраивается ПО для техники с целью контроля на ПК.</p> <p>Сбор данных во время процесса для контроля над расходом ресурсов.</p> <p>Специалисты компании проводят мониторинг, консультируют фермеров и выполняют техническую поддержку оборудования в течение всего периода подписки на сервис.</p> <p>В результате весь процесс выращивания культур максимально автоматизируется</p>	<p>Программное обеспечение, разработанное для самостоятельной работы клиентов с большими данными.</p> <p>Вся необходимая для анализа информация заносится клиентом в систему, объединяясь с данными государственной ИС.</p> <p>В результате анализа собранной информации программа рекомендует оптимальные пути ведения хозяйства</p>

Источник: составлено авторами на основе анализа данных [24].

Table 3  
Options for using the analytical service

The 1st option	The 2nd option
<p>The services are specialized in the analytical services of large companies based on their own data, data provided by the client, as well as data obtained using special devices.</p> <p>Conducting analytical work. Further, based on the results of the analysis, recommendations are formed, software for equipment is configured for the purpose of control on a PC.</p> <p>Data collection during the process to monitor resource consumption.</p> <p>The company's specialists monitor, advise farmers and provide technical support for equipment during the entire subscription period for the service.</p> <p>As a result, the entire process of growing crops is automated as much as possible.</p>	<p>Software designed for independent work of clients with Big Data.</p> <p>All the information necessary for the analysis is entered by the client into the system, combining with the data of the state IP.</p> <p>As a result of the analysis of the collected information, the program recommends optimal ways of farming.</p>

Source: compiled by the authors based on data analysis [24].

Персонал государственного и муниципального аппарата должен инициировать использование новейших технологий и повышение эффективности хозяйствования субъектов на вверенных территориях. Необходимо государственное и муниципальное управление сделать ответственным. Специалисты, осуществляющие государственные функции, должны обладать необходимыми компетенциями и профессионально управлять взаимоотношениями между субъектами территорий. Результатом деятельности должно стать развитие вверенных территорий и создание условий для успешного освоения территориальных ресурсов и производства востребованных товаров.

Возможны разные варианты применения больших данных. Для принятия обоснованного варианта требуется осознанное решение, подтвержденное экспертным мнением (таблица 3).

#### Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Технологии обработки больших данных имеют огромный потенциал. Его следует активнее использовать в системе государственного регулирования, особенно при развитии сельских территорий. Реализация государственных программ развития требует принятия эффективных управленческих решений. Организационный механизм взаимодей-

ствия государственного управления, муниципального управления, управления предприятиями сельскохозяйственной отрасли и другими участниками процессов должен генерировать синергию для развития. Аналитика больших данных позволяет своевременно выявлять проблемы в производственных системах и подсистемах управления. Другие информационные технологии в виде робототехники и интернет вещей снизят влияние человеческого фактора на результаты производственной деятельности. Эти технологии помогают укомплектовать производство меньшим количеством специалистов и решить проблему с недостатком трудовых ресурсов. Искусственный интеллект на основе собранных данных обеспечит оптимизацию процессов. Работа в сельском хозяйстве станет более производительной, квалифицированной, высокотехнологичной и престижной. Сельскохозяйственный труд становится более привлекательным и превращается в развлечение, хобби и отдых как смена деятельности. Отсутствие противоречий в естественном расширении спектра влияния государственного регулирования говорит о перспективности развития взаимоотношений между государством и агропроизводителем в рамках комплексного развития сельских территорий.

Организация производственной деятельности с использованием новейших технологий в системах управления может увеличить эффективность и рациональность мероприятий в несколько раз и создать второе (после Китая) экономическое чудо в мире.

### Библиографический список

1. Миролюбова Т. В., Коцеев Д. А. Системно-пространственная методика оценки влияния промышленного кластера на социально-экономическое развитие региона // *Journal of New Economy*. 2022. Т. 23, № 4. С. 69–86. DOI: 10.29141/2658-5081-2022-23-4-4.
2. Зелинская М. В., Новиков В. С. Особенности понимания комплексного развития сельских территорий в условиях нестабильности социально-экономических преобразований // *Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика*. 2022. № 2. С. 22–30. DOI: 10.53598/2410-3683-2022-2-300-22-30.
3. Зырнова Т. В., Кот Е. М., Загурский А. О. Сельские территории в условиях пространственной трансформации // *Проблемы и перспективы развития сельского хозяйства и сельских территорий: сборник статей XI Международной научно-практической конференции*. Саратов, 2023. С. 130–133.
4. Коваленко Е. Г., Потапкин П. Ю. Организационно-экономический механизм развития малого бизнеса на сельских территориях // *Управленческий учет*. 2021. № 9-2. С. 552–559. DOI: 10.25806/uu9-22021552-559.
5. Косинский П. Д., Юрзина Т. А. Формирование механизма социальной ответственности бизнеса в контексте развития сельских территорий региона // *Фундаментальные исследования*. 2020. № 6. С. 65–69. DOI: 10.17513/fr.42779.
6. Лукьянова М. Т. Прогнозирование факторов производства для эффективного социально-экономического развития организаций в сельских территориях региона // *Российский электронный научный журнал*. 2020. № 1. С. 258–268. DOI: 10.31563/2308-9644-2020-35-1-258-268.
7. Красильникова Л. Е., Рушицкая О. А., Баландин Д. А., Кружкова Т. И. Отраслевое развитие сельских территориальных систем России в условиях современной экономической неопределенности // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 3. С. 404–416. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-404-416.
8. Печатнова А. П. Развитие сельских территорий: реалии и перспективы [Электронный ресурс] // *Молодой ученый*. 2014. № 8. С. 390–392. URL: <https://moluch.ru/archive/67/11354> (дата обращения: 18.07.2024).
9. Якимова Л. А., Стрельцова А. В. Развитие малого предпринимательства на сельских территориях: социально-экономический аспект // *Baikal Research Journal*. 2023. Т. 14, № 3. С. 1057–1068. DOI: 10.17150/2411-6262.2023.14(3).1057-1068.
10. Gusmanov R. U., Stovba E. V., Lukyanova M. T., et al. Creating Optimal Conditions for the Development of Agribusiness by Scenario Modeling of the Production and Industry Structure of Agricultural Formations // *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2023. Vol. 18, No. 4. Pp. 1025–1034. DOI: 10.18280/ijssdp.180405.
11. Полуянова Н. В., Киреева Н. А., Кублин И. М., Прущак О. В. Региональная социально-экономическая политика и устойчивое развитие: приоритеты развития сельских территорий // *Экономика устойчивого развития*. 2021. № 4. С. 144–152. DOI: 10.37124/20799136\_2021\_4\_48\_144.
12. Rushchitskaya O., Kulikova E., Kot E., Kruzhkova T. Sustainable practices and technological innovations transforming agribusiness dynamics // *E3S Web of Conferences*. 2024. Vol. 542. Article number 03003. DOI: 10.1051/e3sconf/202454203003.
13. Семин А. Н., Сбитнев Н. А. К вопросу об устойчивом и конкурентном развитии сельского хозяйства и сельских территорий в условиях новых вызовов и трансформационной экономики // *Агропродовольственная политика России*. 2024. № 2-3 С. 25–30. DOI: 10.35524/2227-0280\_2024\_02-03\_25.
14. Хайдарова Г. Г. Организационно-экономический механизм управления устойчивостью агроэкономической системы и развития сельских территорий // *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2023. Т. 3, № 1. С. 50–57. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.01.03.006.
15. Белоусова Е. А., Кайбичева Е. И. Перспективы инкрементального подхода в стратегическом планировании социально-экономического развития сельских муниципальных образований // *Управленец*. 2022. Т. 13, № 1. С. 49–67. DOI: 10.29141/2218-5003-2022-13-1-4.
16. Пиляева О. В. Современные технологии в сельском хозяйстве // *Эпоха науки*. 2021. № 27. С. 10–12.
17. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 06.06.2024).
18. Добровлянин В. Д., Антинескул Е. А. Цифровизация сельского хозяйства: текущий уровень цифровизации в Российской Федерации и перспективы дальнейшего развития // *Цифровые модели и решения*. 2022. Т. 1, № 2. DOI: 10.29141/2782-4934-2022-1-2-5.
19. Zhuravleva L., Zarubina E., Ruchkin A., et al. Development of the agrarian and industrial complex of Russia through the use of new technologies // *E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Confer-*

ence “Ensuring the Technological Sovereignty of the Agro-Industrial Complex: Approaches, Problems, Solutions” (ETSAIC2023). Ekaterinburg, 2023. Vol. 395. Article number 05007. DOI: 10.1051/e3sconf/202339505007.

20. Газетдинов М. Х., Газетдинов Ш. М., Семичева О. С. Механизмы влияния социально-экономических факторов сельских территорий на результаты аграрного производства // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 2. С. 119–123. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-119-123.

21. Головина С. Г. Социальные сети и сельские сообщества: место и роль в сельском развитии // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов: сборник материалов XXVI Международной научно-практической конференции. Москва ; Санкт-Петербург, 2024. С. 166–170.

22. Семин А. Н., Третьяков А. П., Лылов А. С. Сельские территории: проблемы и перспективы развития. Москва: КОЛЛОК, 2021. 224 с.

23. Анимидца Е. Г., Шарыгин М. Д. Региональная социально-экономическая география: теория, методология, практика. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1994. 180 с.

24. Присяжный М. Ю. Социально-географические исследования сельской местности в России [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2011. № 4. С. 127–133. URL: <https://moluch.ru/archive/27/2901> (дата обращения: 18.07.2024).

### Об авторах:

**Екатерина Михайловна Кот**, доктор экономических наук, доцент, заведующая кафедрой бухгалтерского учета и аудита, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0001-8931-2542, AuthorID 648308. E-mail: [emkot.urgau@gmail.com](mailto:emkot.urgau@gmail.com)

**Федор Васильевич Маханьков**, член-корреспондент Международной академии аграрного образования, магистр, ведущий научный сотрудник, преподаватель кафедры менеджмента, Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова, Пермь, Россия; ORCID 0009-0004-6149-9092, AuthorID 1254209. E-mail: [mfvsayt@gmail.com](mailto:mfvsayt@gmail.com)

**Антон Сергеевич Лылов**, кандидат экономических наук, доцент кафедры конкурентного права и антимонопольного регулирования, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-8068-753X, AuthorID 777824. E-mail: [las@usue.ru](mailto:las@usue.ru)

**Михаил Вячеславович Ларин**, аспирант, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-1964-2041, AuthorID 1227583. E-mail: [lar.mic@yandex.ru](mailto:lar.mic@yandex.ru)

### References

1. Mirolyubova T. V., Koshcheev D. A. System-spatial methodology for assessing the impact of an industrial cluster on the socio-economic development of a region. *Journal of New Economics*. 2022; 23 (4): 69–86. DOI: 10.29141/2658-5081-2022-23-4-4. (In Russ.)

2. Zelinskaya M. V., Novikov V. S. Features of understanding complex development rural territories in conditions of instability of socio-economic transformations. *Bulletin of the Adyghe State University. Series 5: Economics*. 2022; 2: 22–30. DOI: 10.53598/2410-3683-2022-2-300-22-30. (In Russ.)

3. Zyryanova T. V., Kot E. M., Zagurskiy A. O. Rural territories in conditions of spatial transformation. *Problems and prospects of development of agriculture and rural territories: collection of articles of the XI scientific and practical International Conference*. Saratov, 2023. Pp. 130–133. (In Russ.)

4. Kovalenko E. G., Potapkin P. Yu. Organizational and economic mechanism of small business development in rural areas. *Managerial Accounting*. 2021; 9-2: 552–559. DOI: 10.25806/uu9-22021552-559. (In Russ.)

5. Kosinskiy P. D., Yurzina T. A. Establishment of a mechanism for social responsibility business in the context of rural development in the region. *Fundamental Research*. 2020; 6: 65–69. DOI: 10.17513/fr.42779. (In Russ.)

6. Lukyanova M. T. Forecasting of production factors for effective socio-economic development of organizations in rural areas of the region. *Russian Electronic Scientific Journal*. 2020; 1: 258–268. DOI: 10.31563/2308-9644-2020-35-1-258-268. (In Russ.)

7. Krasilnikova L. E., Ruschitskaya O. A., Balandin D. A., Kruzhkova T. I. Sectoral development of rural territorial systems of Russia in conditions of modern economic uncertainty. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (3): 404–416. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-03-404-416. (In Russ.)

8. Pechatnova A. P. Development of agricultural territories: religions and prospects. *Young Scientist* [Internet]. 2014 [cited 2024 Jul 18]; 8: 390–392. Available from: <https://moluch.ru/archive/67/11354>. (In Russ.)

9. Yakimova L. A., Streltsova A. V. Development of small business in rural areas: socio-economic aspect. *Baikal Scientific Journal*. 2023; 14 (3): 1057–1068. DOI: 10.17150/2411-6262.2023.14(3).1057-1068. (In Russ.)

10. Gusmanov R. U., Stovba E. V., Lukyanova M. T., et al. Creating Optimal Conditions for the Development of Agribusiness by Scenario Modeling of the Production and Industry Structure of Agricultural Formations. *International Journal of Sustainable Development and Planning*. 2023; 18 (4): 1025–1034. DOI: 10.18280/ijstdp.180405.

11. Poluyanova N. V., Kireeva N. A., Kublin I. M., Prushchak O. V. Regional socio-economic policy and sustainable development: priorities for rural territories development. *The economics of Sustainable Development*. 2021; 4: 144–152. DOI: 10.37124/20799136\_2021\_4\_48\_144. (In Russ.)
12. Ruschitskaya O., Kulikova E., Kot E., Kruzhkova T. Sustainable practices and technological innovations transforming the dynamics of agribusiness. *Web conferences E3S*. 2024; 542: 03003. DOI: 10.1051/e3sconf/202454203003.
13. Semin A. N., Sbitnev N. A. On the issue of sustainable and competitive development of agriculture and rural areas in the context of new challenges and transformational economy. *Agro-Food Policy of Russia*. 2024: № 2–3: 25–30. DOI: 10.35524/2227-0280\_2024\_02-03\_25. (In Russ.)
14. Khaydarova G. G. organizational and economic mechanism for managing the sustainability of the agro-economic system and rural development. *Economics and Management: Problems, Solutions*. 2023; 3 (1): 50–57. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.01.03.006. (In Russ.)
15. Belousova E. A., Kaybicheva E. I. Perspective evaluative incremental approach in strategic planning social-extraveconomical development of Rural Municipalities. *Manager*. 2022; 13 (1): 49–67. DOI: 10.29141/2218-5003-2022-13-1-4. (In Russ.)
16. Pilyaeva O. V. Modern technologies in agriculture. *Epoche of Science*. 2021; 27: 10–12. (In Russ.)
17. Federal State Statistics Service: the official site [Internet] [cited 2024 Jun 06]. Available from: <http://www.gks.ru>. (In Russ.)
18. Dobrovlyanin V. D. Digitalization of agriculture: the current level of digitalization in the Russian Federation and prospects for further development. *Digital Models and Solutions*. 2022; 1 (2). DOI: 10.29141/2782-4934-2022-1-2-5. (In Russ.)
19. Zhuravleva L., Zarubina E., Ruchkin A., et al. Development of the Russian agro-industrial complex through the use of new technologies. *E3S Web conferences: International scientific and practical conference “Ensuring technological sovereignty of the agro-industrial complex: approaches, problems, solutions” (ETSIAIC2023)*. Ekaterinburg, 2023. Vol. 395. Article number 05007. DOI: 10.1051/e3sconf/202339505007.
20. Gazetdinov M. Kh., Gazetdinov Sh. M., Semicheva O. S. Mechanisms of influence of socio-economic factors of rural areas on the results of agricultural production. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2022; 17 (2): 119–123. DOI: 10.12737/2073-0462-2022-119-123. (In Russ.)
21. Golovina S. G. Social networks and rural communities: place and role in rural development. *Actual problems of society, economics and law in the context of global challenges: Collection of materials of the XXVI International Scientific and Practical Conference*. Moscow, Saint Petersburg 2024. Pp. 166–170. (In Russ.)
22. Semin A. N., Tretyakov A. P., Lylov A. S. Rural territories: problems and prospects of development. Moscow: KOLLOK, 2021. 224 p. (In Russ.)
23. Animitsa E. G., Sharygin M. D. Regional socio-economic geography: theory, methodology, practice. Perm: Publishing House of Perm University, 1994. 180 p. (In Russ.)
24. Prisyazhnyy M. Yu. Socio-Geographical Studies of Rural Areas in Russia. *Young Scientist* [Internet]. 2011 [cited 2024 Jul 18]; 4: 127–133. Available from: <https://moluch.ru/archive/27/2901>. (In Russ.)

#### **Authors' information:**

**Ekaterina M. Kot**, doctor of economic sciences, associate professor, head of the department of accounting and auditing, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0001-8931-2542, AuthorID 648308. *E-mail: emkot.urgau@gmail.com*

**Fedor V. Makhankov**, corresponding member of the International Academy of Agricultural Education, master's degree, leading researcher, lecturer at the department of management, Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russia; ORCID 0009-0004-6149-9092, AuthorID 1254209. *E-mail: mfvsayt@gmail.com*

**Anton S. Lylov**, candidate of economic sciences, associate professor of the department of competition law and antitrust regulation, ORCID 0000-0002-8068-753X, AuthorID 777824. *E-mail: las@usue.ru*

**Mikhail V. Larin**, postgraduate, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-1964-2041, AuthorID 1227583. *E-mail: lar.mic@yandex.ru*



## Методика оценки инновационного развития регионального сельского хозяйства

Т. Ю. Серебрякова<sup>✉</sup>, Е. В. Журавлев

Чебоксарский кооперативный институт (филиал) АНОО ВО Центросоюза РФ «Российский университет кооперации», Чебоксары, Россия

<sup>✉</sup>E-mail: [serebrtata@yandex.ru](mailto:serebrtata@yandex.ru)

**Аннотация.** Развитие агропромышленного комплекса как отдельного региона, так и в целом Российской Федерации, в настоящее время тесно связано с внедрением инноваций как в технологиях сельскохозяйственного производства, так и в управление сельскохозяйственными процессами. **Цель** исследования заключается в изучении состояния инновационных преобразований в сельском хозяйстве Чувашской Республики на основе сформированной для этого методики. **Методы** – гипотеза, анализ, синтез, моделирование, экстраполяция, сравнение. **Научная новизна.** Актуальность исследования состоит в важности понимания как непосредственного влияния инновационных решений на развитие сельского хозяйства в регионе, так и оценки их достаточности – это основа для понимания новизны исследования, состоящей в обосновании применения авторских показателей, характеризующих инновационное состояние регионального сельского хозяйства и его непосредственное влияние на показатели состояния экономики сельскохозяйственной отрасли. **Результаты.** Одним из показателей степени внедрения и распространения инноваций в агропромышленном комплексе является уровень инновационного потенциала региона. Факторы, от которых зависит инновационный потенциал, могут быть объединены в основные группы, характеризующие определенные аспекты внедрения последних научно-технических достижений в сельское хозяйство. Определены значения показателей, их оценка по балльной системе и теснота связи с экономическими данными о результатах функционирования сельского хозяйства. Расчеты показали наличие связи между данными, характеризующими инновационное развитие отрасли и ее экономическими достижениями. Исследование проведено за 2019–2023 гг. Анализ и оценка полученных показателей для сельского хозяйства Чувашской Республики показывают недостаточный инвестиционный потенциал с тенденциями к ухудшению.

**Ключевые слова:** агропромышленный комплекс (АПК), сельское хозяйство, индикаторы, инновационный потенциал, регион, инновации

**Для цитирования:** Серебрякова Т. Ю., Журавлев Е. В. Методика оценки инновационного развития регионального сельского хозяйства // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 12. С. 1748–1762. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1748-1762>.

**Дата поступления статьи:** 22.04.2024, **дата рецензирования:** 13.09.2024, **дата принятия:** 29.09.2024.

## Methodology for assessing the innovative development of regional agriculture

T. Yu. Serebryakova<sup>✉</sup>, E. V. Zhuravlev

Cheboksary Cooperative Institute (branch) of the Russian University of Cooperation, Cheboksary, Russia

<sup>✉</sup>E-mail: [serebrtata@yandex.ru](mailto:serebrtata@yandex.ru)

**Abstract.** The development of the agro-industrial complex of both a separate region and the Russian Federation as a whole is currently closely linked to the introduction of innovations in both agricultural production technologies and agricultural process management. **The purpose** of the study is to study the state of innovative transformations in agriculture of the Chuvash Republic on the basis of the methodology developed for this purpose. **Methods** are

hypothesis, analysis, synthesis, modeling, extrapolation, comparison. **Scientific novelty.** The relevance of the study lies in the importance of understanding both the direct impact of innovative solutions on the development of agriculture in the region and assessing their sufficiency – this is the basis for understanding the novelty of the study, which consists in justifying the use of author's indicators characterizing the innovative state of regional agriculture and its direct impact on indicators of the state of the economy of the agricultural sector. **Results.** One of the indicators of the degree of introduction and dissemination of innovations in the agro-industrial complex is the level of innovative potential of the region. The factors on which the innovation potential depends can be combined into main groups that characterize certain aspects of the introduction of the latest scientific and technical achievements in agriculture. The values of the indicators, their assessment according to the point system and the closeness of the connection with the economic data on the results of the functioning of agriculture are determined. Calculations have shown that there is a connection between the data characterizing the innovative development of the industry and its economic achievements. The study was conducted in 2019–2023. The analysis and evaluation of the obtained indicators for agriculture of the Chuvash Republic shows insufficient investment potential with a tendency to deterioration.

**Keywords:** agro-industrial complex (AIC), agriculture, indicators, innovation potential, region, innovations

**For citation:** Serebryakova T. Yu., Zhuravlev E. V. Methodology for assessing the innovative development of regional agriculture. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (12): 1748–1762. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1748-1762>. (In Russ.)

**Date of paper submission:** 22.04.2024, **date of review:** 13.09.2024, **date of acceptance:** 29.09.2024.

### Постановка проблемы (Introduction)

В современных реалиях развитие региональной экономики требует активного внедрения инновационных процессов во всех сферах и отраслях, что, в свою очередь, сопряжено с формированием эффективного и оперативного внедрения достижений в практику конкретных предприятий и отраслей. Особое значение имеет внедрение инновационных процессов в аграрной отрасли, так как сельское хозяйство играет важную роль в обеспечении продовольственной независимости и экономического развития как отдельных регионов, так и страны в целом. Созданию эффективной инновационной системы в агропромышленном комплексе России препятствует влияние негативных факторов, таких как несоответствие технической оснащенности, инфраструктуры сельских поселений научным достижениям, их потенциальным возможностям для применения в сельском хозяйстве, а также результативности уже проверенных научных достижений. Так, собственные научные изыскания в сельском хозяйстве зачастую связаны с адаптацией имеющихся зарубежных технологий в отечественное сельское хозяйство, а не с разработкой новых, отечественных, которые дадут возможность развить не только сельское хозяйство, но и научный потенциал нашего государства. Сельское хозяйство может развиваться по пути интенсификации и (или) экстенсификации. В нашей демографической ситуации, естественно, первый путь предпочтителен по понятным причинам. На развитие агропромышленного комплекса существенное влияние оказывают внедряемые новейшие технологии, дающие возможность автоматизировать многие процессы, а

также использовать селекционные достижения как в растениеводстве, так и в животноводстве, направленные на получение не просто высокого урожая, привеса и т. п., но и продуктов растениеводства, животноводства с заданными потребительскими свойствами. Также можно говорить о применении цифровизации при вспашке земель, уборке урожая и т. п., что дает возможность применения беспилотной сельскохозяйственной техники. Сельскохозяйственный инновационный потенциал территории, с его региональными особенностями, географическими и климатическими условиями, должен оказывать существенное влияние на сельскохозяйственное производство и его эффективность. Объектом исследования выбрана сельскохозяйственная отрасль Чувашской Республики.

### Методология и методы исследования (Methods)

Методы исследования – общенаучные методы: гипотеза, анализ, синтез, моделирование, экстраполяция, сравнение. Непосредственно расчетная часть сформирована на основе статистических показателей состояния инновационной деятельности в сельскохозяйственной отрасли республики.

### Результаты (Results)

Анализ актуальных публикаций по проблематике инновационного потенциала в целом и в сельскохозяйственной отрасли показывает, что дискуссия о теоретико-прикладных положениях в отношении оценки инновационного потенциала региональной экономики позволяют дополнительно исследовать как теоретические, так и практические аспекты категории «инновационный потенциал сельскохозяйственной отрасли» и сформировать методику его оценки для регионального уровня в целях

определения влияния на эффективность сельскохозяйственной отрасли. Данную проблему активно исследуют зарубежные экономисты. Французские ученые подчеркивают: «Глобальная цель сельского хозяйства и связанного с ним агропродовольственного сектора – развитие устойчивых сельскохозяйственных и продовольственных систем и при этом баланс в стремлении к тройным результатам, а именно экономическим и производственным показателям, сохранении окружающей среды в ее различных аспектах и социальной приемлемости как для фермеров, так и для общества. Инновации необходимо анализировать с точки зрения их последствий для этих различных показателей» [1].

Оценка работ отечественных экономистов, таких как Д. В. Бражниченко, С. В. Гладкий [2], В. И. Гайдук, С. А. Калитко, О. С. Глуценко [3], Н. В. Уколова [4], А. В. Голубев [5], К. С. Терновых, В. В. Куренная, А. В. Агибало [6], К. Э. Тюпаков, Л. А. Белова, М. В. Вертий, В. С. Курносов, других ученых России и Беларуси [7–11], а также зарубежных коллег, утверждающих: «Развитие инновационности в сельском хозяйстве не должно обеспечиваться только управлением процессами или каким-либо другим отдельным компонентом развития. Это должен быть комплексный подход, охватывающий весь спектр аспектов этой деятельности, от научных исследований до их внедрения в производство и последующей оценки их эффективности, а также формирования государственных программ поддержки инновационных предприятий» [12; 13], позволила сделать вывод, что инновационный потенциал сельскохозяйственной отрасли включает в себя набор экономических ресурсов, способных реализовать и стимулировать инновации в сельском хозяйстве. Также важны организационно-экономические механизмы и инновационная инфраструктура, которые обеспечивают успешную инновационную деятельность в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции в пределах региона. Кроме того, при оценке инновационного потенциала регионального сельского хозяйства следует принять во внимание готовность сельскохозяйственных субъектов воспринять и применить новейшие достижения аграрных и животноводческих технологий, что обеспечивается степенью вовлеченности сельскохозяйственных предприятий в инновационную деятельность, их опытом практического взаимодействия с курирующими эти вопросы властными структурами и общественными и профессиональными организациями. Такое согласованное взаимодействие хозяйствующих субъектов и органов власти играет ключевую роль в достижении поставленных отраслевых целей по реализации стратегии инновационного развития сельского хозяйства в республике. При этом предполагается достижение баланса между отраслевыми потреб-

ностями и удовлетворенностью бизнеса, задачами властных регулирующих органов и удовлетворением потребителей продукции агропромышленного комплекса как результата внедрения передовых технологий в сельском хозяйстве.

Таким образом, для оценки развития сельского хозяйства в Чувашии в контексте инновационных преобразований целесообразно определить инновационный потенциал регионального сельского хозяйства. Его характеризуют следующие структурные элементы: природные, материально-технические, инвестиционные, кадровые, информационные, технологические, финансовые, научные, организационные, институциональные, управленческие и многие другие, которые предлагается разбить на группы (рис. 1).

Активизация выделенных на рис. 1 составляющих компонентов регионального сельскохозяйственного инновационного потенциала возможна через специальные методы управления, такие как разработка стратегических региональных программ развития сельского хозяйства, приобретение инновационных разработок и их внедрение, формирование источников финансирования, а также, как считают исследователи, «маркетинг и диффузия инноваций, инвестирование, создание налоговых стимулов и др.» [14]. Вместе с этим необходимо учитывать, что новшества должны внедряться на системной основе – только в этом случае новые технологии принесут эффект и достигнут поставленных целей интенсификации сельскохозяйственного производства. Показателями эффективности политики внедрения инноваций могут служить увеличение количества хозяйствующих субъектов, активно внедряющих передовые технологии; рост доли продукции, полученной с использованием современных технологий; создание соответствующей инновационной среды, развитие инфраструктуры для продвижения новых достижений в сельскохозяйственном производстве, обеспечение конкурентоспособности сельскохозяйственной отрасли и выход на международный уровень.

Для оценки и расчета сводного экономического показателя степени инновационного развития регионального сельского хозяйства предлагается разделить все его составляющие на четыре основные группы: экономические ресурсы, организационный механизм, согласованность интересов участников, степень результативности поставленных целей. В рамках каждой выделенной группы проводится оценка ее основных параметров, которые максимально отображают ее характеристики.

По полученным расчетным значениям каждого отдельного критерия оценки выделенной группы факторов уровня инновационного потенциала регионального сельского хозяйства каждому показателю присваивается значение от 0 до 1: если по-

лученное значение соответствует «нормальному» критерию, то присваивается оценка 1; если динамика показателя без изменения или соответствует среднему значению в отрасли – оценка 0,5; при отрицательной динамике показателя за расчетный период и его расчетному значению ниже критического в отрасли – оценка 0. При этом необходимо отметить, что полученные показатели не являются сопоставимыми друг с другом, так как они разные как в единицах измерения, так и способах их расчета и оценки. Поэтому для определения сводного показателя уровня инновационного потенциала регионального сельского хозяйства необходимо применить принцип аддитивности, предполагающий, что полученное значение совокупной характеристики группы – это сумма всех отдельных значений составляющих ее факторов [15].

Вместе с тем сводный показатель уровня инновационного потенциала регионального сельского хозяйства предлагается определять как среднее арифметическое, скорректированное на весовое значение признака группы факторов. Например, если рассматриваются четыре основные группы (компоненты) инновационного развития, каждая из них будет иметь удельный вес 0,25. Выбор шага градации для оценки уровня инновационного потенциала сельского хозяйства региона обусловлен следующими факторами:

1. Использование четырех уровней оценки (критический, низкий, средний, высокий) позволяет детально охарактеризовать состояние инновационного развития отрасли. Более дробная градация (например, 5-6 уровней) усложнила бы интерпретацию результатов и не добавила бы существенной информативности.

2. Интервалы между уровнями выбраны равными (0,25) для простоты расчетов и наглядности. Выбранный шаг интервала позволяет четко разграничить диапазоны значений показателя инновационного потенциала.

3. Выбранные границы уровней соответствуют логике оценки: 0–0,25 – критический уровень, когда инновационная деятельность практически отсутствует; 0,26–0,50 – низкий уровень, когда инновационная активность недостаточна; 0,51–0,75 – средний уровень, когда инновационные процессы развиваются, но не в полной мере; 0,76–1,00 – высокий уровень, когда инновационный потенциал реализуется эффективно.

В целом разработанная четырехуровневая градация с равными интервалами 0,25 позволяет достаточно наглядно и обоснованно оценить состояние инновационного развития сельского хозяйства региона и является компромиссом между детализацией оценки и простотой интерпретации результатов.

В таблице 1 приведен пример расчета уровня организации управления инновационным потенциалом регионального сельского хозяйства.

Таким образом, путем вычисления средних значений показателей для каждой составляющей и последующего расчета совокупного общего показателя можно оценить инновационный потенциал регионального сельского хозяйства.

В процессе исследования была показана связь и дана оценка влияния инновационного развития сельского хозяйства Чувашской Республики на динамику сельскохозяйственной отрасли.

Республика традиционно является аграрной, занимает пятое место среди регионов Приволжского федерального округа по производству и поставке сельскохозяйственной продукции. Доля населения, проживающего на сельских территориях республики, составляет 35,8 %.

За период 2019–2023 гг. наблюдается рост продукции сельского хозяйства, как в целом по Российской Федерации на 43,8 % (рис. 2), так и по Чувашской Республике – на 53,1 %, что обусловлено ростом производства и переработки продукции растениеводства на 77,4 % и животноводства на 31,0 %.

Таблица 1

**Градация уровня инновационного потенциала регионального сельского хозяйства**

Уровень организации управления инновационным потенциалом АПК региона	Интервал комплексного показателя
Критический	0–0,25
Низкий	0,26–0,50
Средний	0,51–0,75
Высокий	0,76–1,00

Источник: составлено авторами на основе [2].

Table 1

**Gradations of the level of innovative potential of regional agriculture**

Level of management organization of the innovative potential of the region's agricultural sector	Interval of the comprehensive indicator:
Critical	0–0.25
Low	0.26–0.50
Medium	0.51–0.75
High	0.76–1.00



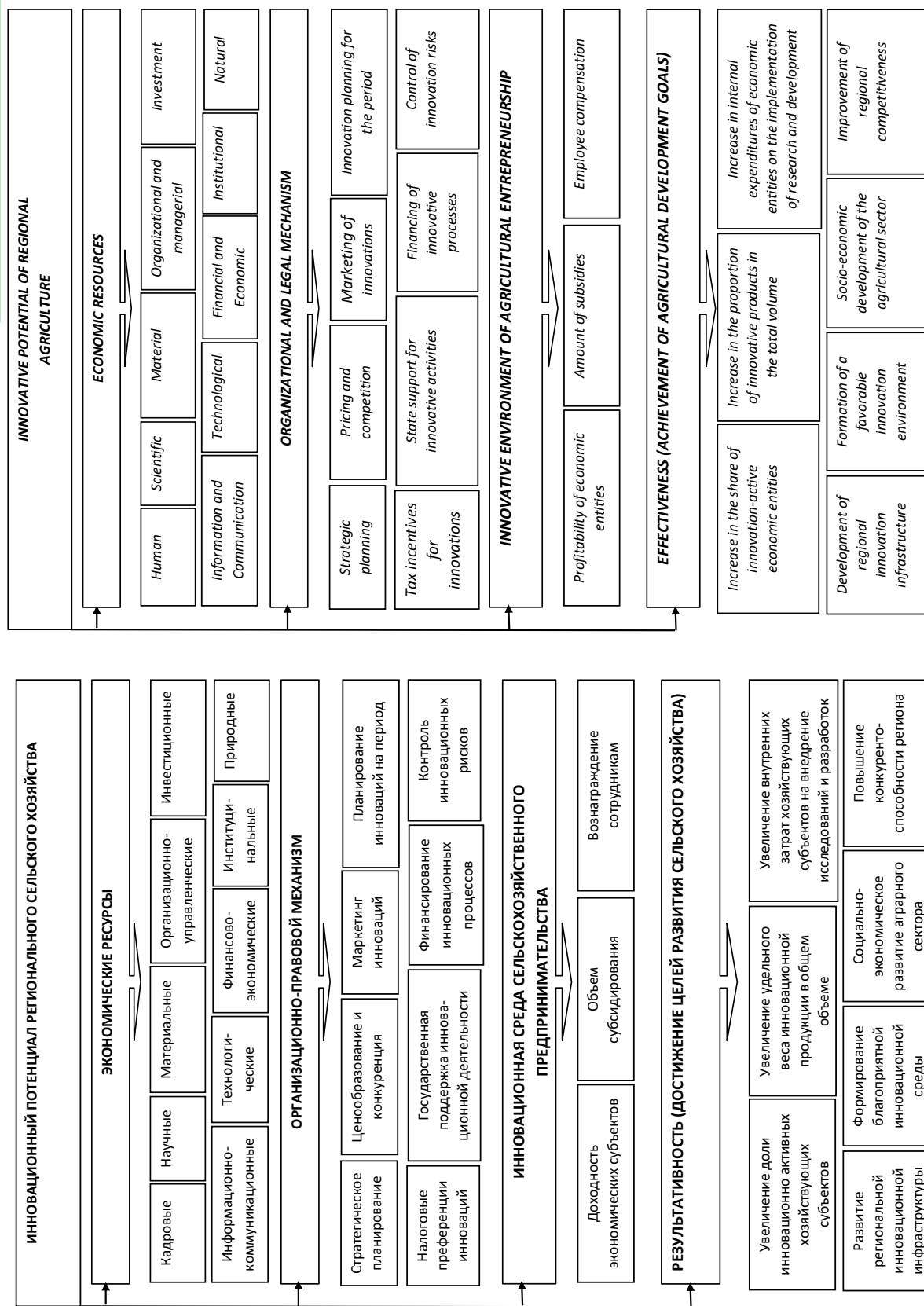


Fig. 1. Components of the innovative potential of regional agriculture

Рис. 1. Составляющие инновационного потенциала регионального сельского хозяйства  
 Источник: составлено авторами на основе [3]

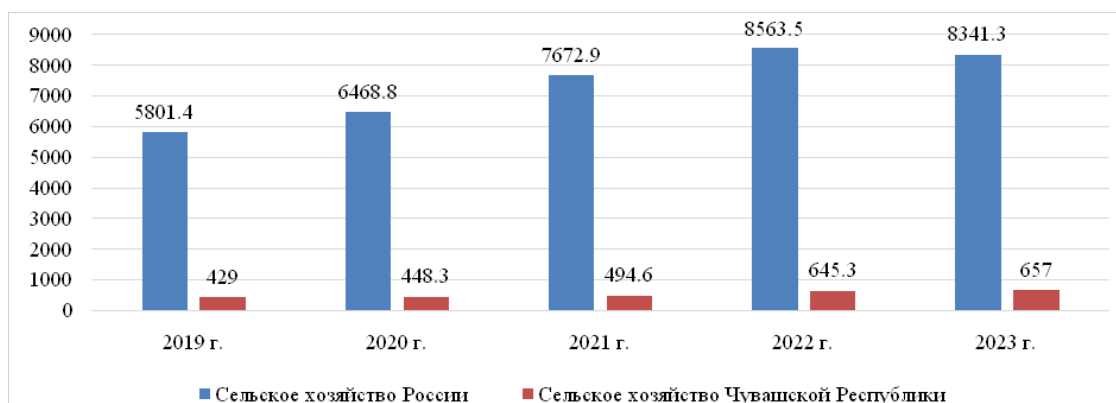


Рис. 2. Выпуск продукции сельского хозяйства Российской Федерации и Чувашской Республики за 2019–2023 гг., млн руб. Источник: [16]

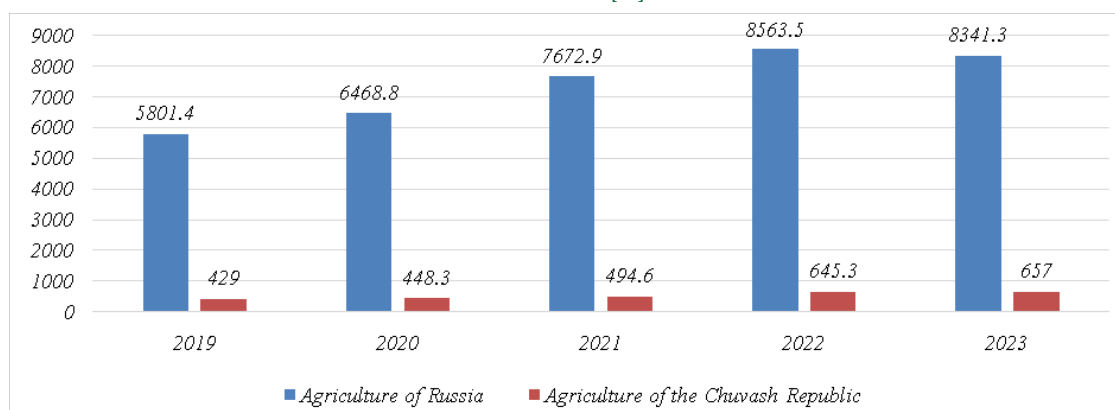


Fig. 2. Agricultural output of the Russian Federation and the Chuvash Republic

Source: [16]

В 2023 году в республике намолочено 1008,4 тыс. тонн зерна (в 1,8 раза больше уровня 2019 года), овощей – 143,0 тыс. тонн (107,8 %), картофеля собрано 328,9 тыс. тонн (107,8 %). На показатели валового сбора сельскохозяйственных культур повлияла рекордная урожайность зерновых – 32,8 ц/га (171,7 %), овощей открытого грунта – 329,9 ц/га (105,5 %), картофеля – 191,9 ц/га (103,8 %). Динамично развивается овощеводство закрытого грунта, где за 2023 г. произведено 29,2 тыс. тонн (105,4 %). Производство животноводческой продукции во всех категориях хозяйств за 2022 год составило: скота и птицы в живом весе – 116,8 тыс. тонн (101,2 % к 2019 году), молока – 461,7 тыс. тонн (102,8 %), яиц – 359,3 млн штук (115,8 %). Средний надой молока от 1 коровы в 2023 году составил 7040 кг (107,0 %).

Пищевая и перерабатывающая промышленность Чувашской Республики – одна из сфер экономики, призванная обеспечить устойчивое снабжение населения необходимыми высококачественными, полноценными и безопасными продуктами питания, которая представлена 9 отраслями. Количество действующих организаций составляет 235, в том числе 212 предприятий пищевой, перерабатывающей промышленности и 23 предприятия, выпускающих напитки. На долю пищевой и перерабатывающей промышленности приходится почти 16 % от общего объема обрабатывающих произ-

водств в Чувашии, производится более 9 тыс. видов продукции. Пищевыми и перерабатывающими предприятиями обеспечен рост производства: крупы – в 1,9 раза, масла подсолнечного нерафинированного – в 1,5 раза, сыров и продуктов сырных – в 1,4 раза, муки – на 8,9 %, плодоовощных консервов – на 5,2 %.

Экспортерами продукции из Чувашии являются ООО «МегаЮРМА», АО «АККОНД», ООО «ЧМКФ „Вавилон“», ОАО «Букет Чувашии», ОАО «Группа компаний КМК», ООО «КМК» и другие. Наиболее востребована чувашская продукция в следующих странах: Китай (47,0 % – доля в экспорте), Беларусь (10,7 %), Польша (9,3 %), Азербайджан (5,1 %), Таджикистан (5,0 %).

Успехи отмечены в фермерских хозяйствах, которые представлены 10 300 личных подсобных хозяйств, зарегистрированных в качестве самозанятых, и 1500 фермерских хозяйств.

Показатель энергообеспеченности за счет приобретения техники за 2019–2023 годы вырос до 129,5 л. с. на 100 га посевных площадей (без учета списанной техники). Улучшен возрастной состав сельхозтехники: так, за 2019–2023 годы доля новой техники сроком службы до трех лет увеличилась: тракторов – с 11,4 % до 29,3 %, зерноуборочных комбайнов – с 15,7 % до 28,8 %, кормоуборочных комбайнов – с 16,0 % до 27,6 %.

Таблица 2

**Затраты на инновационную деятельность организаций по Чувашской Республике по видам инновационной деятельности за 2019–2022 гг., млн руб.**

ЭКОНОМИКА

Годы	Общие (капитальные и текущие) расходы на инновационную деятельность	В том числе:									
		Исследование и разработка новых продуктов, услуг и методов их производства (передачи), новых производственных процессов	Приобретение основных средств, связанных с инновационной деятельностью	Маркетинг и создание бренда	Подготовка персонала для инновационной деятельности	Дизайн	Инжиниринг, включая подготовку технико-экономических обоснований испытания	Разработка и приобретение программ для ЭВМ и баз данных, связанных с инновационной деятельностью	Приобретение прав на патенты, лицензий на использование изобретений, промышленных образцов, полезных моделей, селекционных достижений, топологий интегральных микросхем и т.п.	Планирование, разработка и внедрение новых методов ведения бизнеса, организации рабочих мест и организации внешних связей	Прочие затраты, связанные с осуществлением инновационной деятельности
2019	9212,5	2376,2	6352,1	8,8	9,6	... <sup>1)</sup>	193,6	83,6	8,7	... <sup>1)</sup>	165,4
2020	4925,5	2513,7	1846,8	... <sup>1)</sup>	6,0	19,1	158,6	60,0	19,8	... <sup>1)</sup>	295,2
2021	5088,2	2329,3	1669,1	5,5	6,0	10,2	156,5	80,5	40,2	5,5	785,4
2022	6685,6	2703,9	3064,8	20,4	4,9	0,7	142,2	318,8	243,8	1,5	184,7

Примечание. <sup>1)</sup> Данные не публикуются в целях обеспечения конфиденциальности первичных статистических данных, полученных от организаций в соответствии с Федеральным законом от 29.11.07 № 282-ФЗ «Об официальном статистическом учете и системе государственной статистики в Российской Федерации» (п. 5 ст. 4; п. 1 ст. 9).

Источник: составлено авторами на основе [16].

Table 2

**Costs of innovative activities of organizations in the Chuvash Republic by type of innovative activity for 2019–2022, million rubles**

Years	Total (capital and current) expenses for innovation activities	Including:									
		Research and development of new products, services and methods of their production (transfer), new production processes	Purchase of machinery, equipment and other fixed assets related to investment activities	Marketing and brand creation	Training of personnel for innovative activities	Design	Engineering, including the preparation of technical-economic justification of the test	Development and acquisition of computer programs and data bases related to innovation activities	Acquisition of rights to patents, licenses for the use of inventions, etc.	Planning, development and implementation of new business practices,	Other costs associated with the implementation innovation activities
2019	9212.5	2376.2	6352.1	8.8	9.6	... <sup>1)</sup>	193.6	83.6	8.7	... <sup>1)</sup>	165.4
2020	4925.5	2513.7	1846.8	... <sup>1)</sup>	6.0	19.1	158.6	60.0	19.8	... <sup>1)</sup>	295.2
2021	5088.2	2329.3	1669.1	5.5	6.0	10.2	156.5	80.5	40.2	5.5	785.4
2022	6685.6	2703.9	3064.8	20.4	4.9	0.7	142.2	318.8	243.8	1.5	184.7

Note. <sup>1)</sup> Data are not published in order to ensure the confidentiality of primary statistical data received from organizations in accordance with Federal Law No. 282-FZ dated 11/29/07 "On Official Statistical Accounting and the System of State Statistics in the Russian Federation" (paragraph 5, Article 4; paragraph 1, Article 9).

Source: compiled by the authors based on [16].

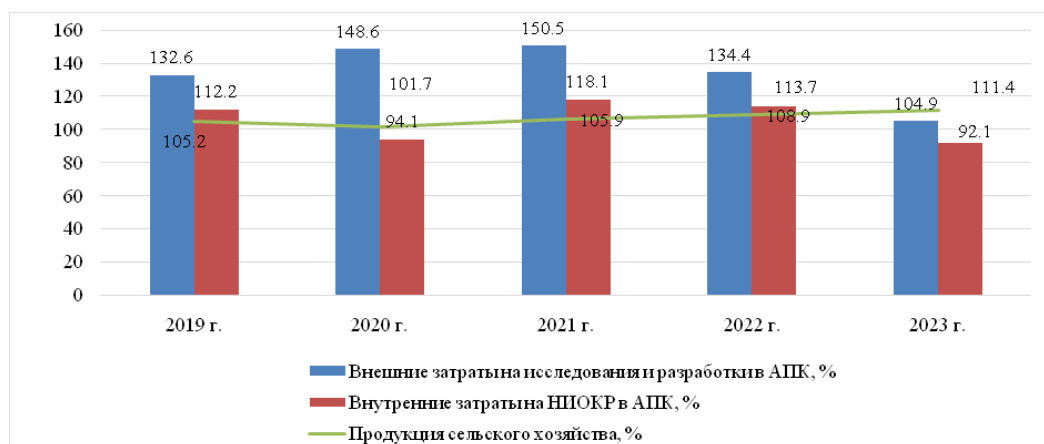


Рис. 3. Динамика продукции сельского хозяйства, внутренних и внешних затрат на инновации и НИОКР за 2019–2023 гг.

Источник: составлено авторами на основе [16]

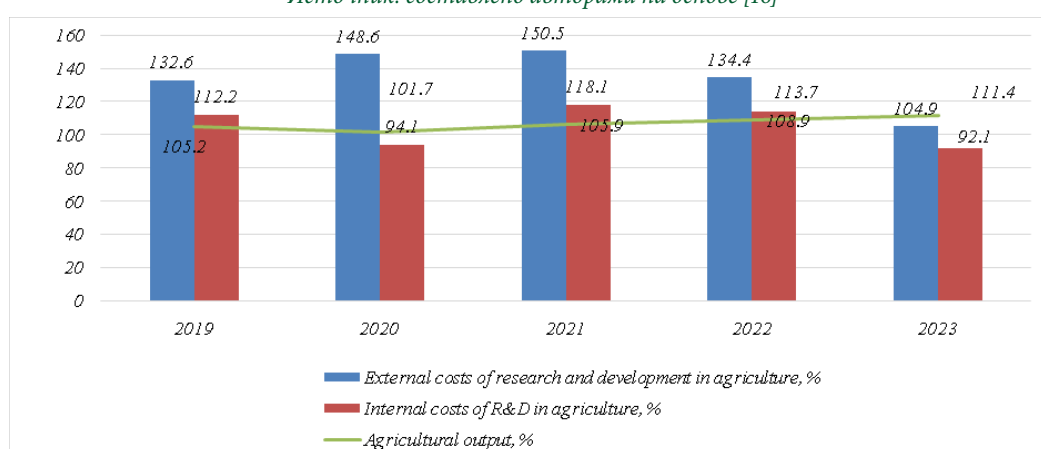


Fig. 3. Dynamics of agricultural production, internal and external costs of innovation and R&D for 2019–2023  
Source: compiled by the authors based on [16].

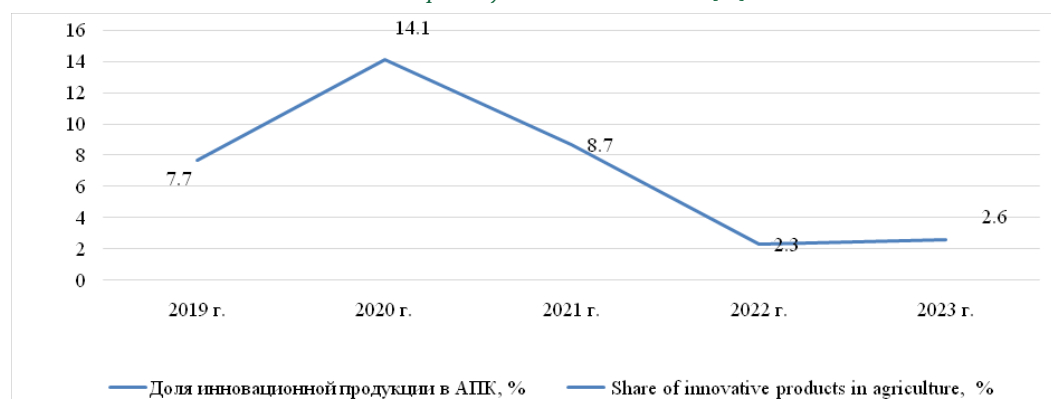


Рис. 4. Доля инновационной продукции в АПК Чувашской Республики за 2019–2023 гг., %  
Источник: составлено авторами на основе изучения данных Министерства сельского хозяйства Чувашской Республики  
Fig. 4. The share of innovative products in the agro-industrial complex of the Chuvash Republic in 2019–2023, %  
Source: compiled by the authors based on a study of data from the Ministry of Agriculture of the Chuvash Republic

При господдержке аграрии Чувашии приобрели 583 единицы сельскохозяйственной техники и оборудования на сумму более 2,0 млрд рублей. В 2023 году в агропромышленном комплексе республики реализован 91 инвестиционный проект производственных объектов на сумму 1,9 млрд рублей с организацией 156 рабочих мест, созданы 4000 скотомест.

Деятельность правительства Чувашской Республики направлена на создание экономических стимулов для внедрения инноваций в агропромышленный сектор. В период с 2019 по 2023 год численность персонала, занятого НИОКР во всех отраслях республики, увеличилась на 5,23 %. Объем НИОКР также вырос (на 29,73 %), но затраты на них в целом по всем отраслям республики за 2019–2022 годы



снизились на 27,4 % (с 9212,5 до 6 685,5 тыс. руб.). Максимальный объем исследовательских работ был зафиксирован в 2019 году [9]. В целом затраты на деятельность хозяйств, имеющие инновационное содержание, осуществляются в связи с приобретением машин, оборудования, прочих основных средств, созданных с учетом передовых достижений и агропромышленных требований к технике. Авторами в таблице 2 обобщены разрозненные данные по затратам на НИОКР из опубликованного на сайте правительства Чувашской Республики реестра проектов устойчивого развития Чувашской Республики по всем отраслям, поскольку отдельно инвестиции в НИОКР для сельского хозяйства не обобщаются органами статистики, что, на наш взгляд, не обеспечивает должный контроль как инновационной деятельности в сельском хозяйстве, так и целей управления эффективностью сельскохозяйственного производства.

В настоящее время в Чувашии реализуются два основных инновационных проекта в сфере сельского хозяйства, которые учтены в направлении Е «Окружающая среда» реестра проектов устойчивого развития республики. Первый – «Создание новых востребованных горько-ароматических сортов хмеля в целях селекционного импортозамещения» [16]. Он уже находится на стадии реализации: с 2023 года в регионе действует Центр компетенций в хмелеводстве, на базе которого создается инфраструктура для развития отрасли: заложены маточники, открыта лаборатория по комплексному анализу культуры, ведется работа по созданию новых сортов. Задача – до 2035 года вывести 6 востребованных горько-ароматических сортов хмеля и провести генетическую паспортизацию 5 сортов хмеля. Второй проект – «Разработка и внедрение системы энергоэффективных технологий в молочном животноводстве». Он тоже уже реализуется на базе ООО «ЧебоМилк» с 2019 года, цель – распространить практику организации использования вторичных источников тепловой энергии от КРС, применения экономичных систем для охлаждения молока, а также энергоэффективных решений в навозоудалении. Также реализуется проект по снижению выделения метана при пищеварительном процессе крупного рогатого скота. На базе ООО «Слава картофелю» действует научная лаборатория по селекции и выводу новых урожайных сортов картофеля.

Корреляция между увеличением объемов производства сельскохозяйственной продукции республики и динамикой затрат на НИОКР представлена на рис. 3. Данные показывают, что за период 2019–2023 гг. наблюдалось устойчивое снижение финансирования затрат на внедрение новейших достижений в сельскохозяйственном производстве и НИОКР. В структуре источников финансирования преобладают собственные средства организаций,

составляя более 61 %, в то время как объем средств из федерального бюджета покрывает лишь 5 % расходов на НИОКР. Доля финансирования из местных и региональных бюджетов, а также из Фонда поддержки инновационной деятельности – менее 1 %. Кроме того, как показывают данные рис. 3, доля организаций АПК, осуществляющих инновационную деятельность, незначительная: в основном технологические инновации наблюдаются в животноводстве и вспомогательной деятельности в области производства сельскохозяйственных культур и послеуборочной обработки сельхозпродукции. В 2019–2020 годах велась инновационная деятельность в растениеводстве, но с 2020 года деятельность из-за ковидных ограничений была приостановлена. Отрицательная динамика показывает недостаточное внедрение инноваций в аграрном секторе экономики.

Как показывают данные рис. 4, доля инновационной сельскохозяйственной продукции незначительная, при этом имеет отрицательную динамику, снижаясь с 7,7 % в 2019 году до 2,6 % в 2023 году. Это отражает недостаточное внедрение новейших технологий в аграрном секторе экономики. Максимального значения в 14,1 % доля инновационной продукции в общем объеме региональной валовой продукции достигла в 2020 году.

#### **Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)**

Одним из ключевых факторов для успешного развития сельскохозяйственной отрасли является внедрение передовых разработок и технологических решений, которые дадут эффективный результат деятельности как отдельных предприятий, так и отрасли в целом на всех уровнях региональной и национальной экономики. В Чувашской Республике нет отдельной региональной программы по развитию инноваций в региональном АПК, но показатели обобщаются в особом разделе республиканской программы «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынка сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Чувашской Республики», посвященном инновациям. Системно обобщенной информации о внедрении технологий в сельскохозяйственную отрасль нет, что затрудняет планирование, распределение усилий, контроль и оценку деятельности региональных властей и частных компаний по внедрению достижений науки и техники в аграрную отрасль.

По данным бухгалтерской отчетности за 2023 год, удельный вес прибыльных сельскохозяйственных организаций в общем количестве составил 91,4 % (90,2 % в 2021 году). Чистая прибыль за 2023 год составила по предварительным оценкам 3416,4 млн рублей (100,6 % к 2021 году). Применение механизма государственной поддержки сельскохозяйственного производства позволило обеспечить минимальный уровень рентабельности

сельскохозяйственного производства, но он явно недостаточен для развития отрасли. Наблюдается снижение уровня рентабельности в 2022 году по сравнению с 2021 годом, что объясняется ростом затрат на производство (от повышения цен на ГСМ, удобрения и т. п.) при снижении закупочных цен на сельскохозяйственную продукцию.

Обращаясь к представленному на рис. 1 составу групп и факторов, влияющих на инновационный потенциал сельского хозяйства региона, принято допущение, что сводный показатель уровня инновационного потенциала сельского хозяйства Чувашской Республики на 21 % зависит от эффективности использования экономических ресурсов региона, на 45 % – от основных характеристик функционирования организационного механизма, на 18 % – от согласованности интересов участников инновационного процесса, на 16 % – от влияния параметра результативности инновационных целей. Опираясь на него, для оценки состояния сельского хозяйства Чувашской Республики разработано корреляционное уравнение, включающее индикативные значения приведенных выше факторов и их весовое значение:

$$Y = 0,21X_1 + 0,45X_2 + 0,18X_3 + 0,16X_4, \quad (1)$$

где  $X_1$  – фактор использования экономических ресурсов в сельском хозяйстве региона;

$X_2$  – фактор организационно-экономического механизма в сельском хозяйстве региона;

$X_3$  – фактор согласованности интересов участников инновационного процесса;

$X_4$  – показатель результативности инновационных целей.

По методике, описанной в начале статьи, были определены экономические показатели степени инновационного развития с опорой на таблицы 1, 2 и рис. 1. Сводный показатель степени инновационного развития определен по формуле 1.

В целом в 2019 году значение сводного показателя степени инновационного потенциала в агропромышленном комплексе региона было средним – выше 0,50 (таблица 3, рис. 5). Однако в 2020 году он резко снизился до 0,29. В последующие годы незначительно подрос, но остался в пределах низкого значения с тенденцией к стабилизации (таблица 2). Результат расчетов представлен в итоговой строке таблицы 3 и на рис. 5.

Результаты анализа указывают на снижение сводного экономического показателя степени инновационного развития сельского хозяйства Чувашской Республики, что отражает отсутствие инновационных изменений в аграрном секторе экономики региона. Это, возможно, обусловлено в том числе на первоначальном этапе (2020 год) началом пандемии коронавирусной инфекции, специальной военной операции на территории Украины.

Рассматривая более подробно расчеты в таблице 3, можно отметить, что с 2019 по 2023 год наблюдается снижение эффективности использования экономических ресурсов в сельском хозяйстве Чувашской Республики с 2019 года к 2023 году, причем с резким снижением в 2020 году и постепенным подъемом в дальнейшем. Это снижение связано, скорее всего, с пандемией. Можно предположить, что подъем показателя до допандемийных значений не произошел в связи с ограничениями, введенными правительством РФ и международными санкциями, которые привели к уменьшению инновационной активности и возможностей сельскохозяйственных предприятий в регионе. Особенно резко снизилась результативность деятельности организаций в связи с применением и внедрением инновационных технологий. Этот показатель к 2023 году резко снизился из-за уменьшения доли инновационной продукции в общем объеме производства и снижения инвестиций предприятий в развитие производства и исследования, что оказывает существенное влияние на сводный показатель.

В целях оценки корреляции производства сельскохозяйственной продукции и значения уровня инновационного потенциала на рис. 6 приведено наложение этих показателей по Чувашской Республике за 2019–2023 гг. из таблицы 3 и рис. 3.

Уровень инновационного потенциала снижался с 0,51 в 2019 году до 0,29 в 2020 году с подъемом в 2023 году при неуклонном росте производства продукции сельского хозяйства. Это говорит об отсутствии влияния инновационных технологий на сельскохозяйственное производство и, по сути, о том, что пока инновации не являются эффективным инструментом для развития сельского хозяйства.

С другой стороны, инновационные решения, внедрение новых технологий не могут принести мгновенного результата. Необходимо время и массовое использование передовых технологий. Единичный опыт не оказывает принципиального влияния на эффективность сельского хозяйства и производство его продукции.

Таким образом, уровень инновационного потенциала аграрного производства Чувашской Республики слишком незначителен и не может обеспечивать приемлемый рост сельскохозяйственного производства, что пока не позволит региону занять лидирующие позиции в этом секторе экономики. Несмотря на то, что выпуск продукции сельского хозяйства Чувашской Республики демонстрирует положительную динамику, снижение уровня инновационного потенциала указывает на необходимость стратегических изменений по отношению к передовым технологиям в сельском хозяйстве.

Таблица 3

**Порядок расчета сводного экономического показателя степени инновационного развития регионального сельского хозяйства Чувашской Республики за 2019–2023 годы**

Экономика

Показатель	Годы				
	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Экономические ресурсы</b>					
Доля работников с высшим образованием	0,5	0	0	0,5	0,5
Доля персонала, принимающего участие во внедрении инноваций	0,5	0	0	0	0
Фондовооруженность труда	0,5	0	0	0,5	0,5
Коэффициент годности основных средств	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Коэффициент обновления основных средств	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Доля инвестиций в основной капитал в общей сумме внутреннего регионального продукта (ВРП)	0,5	0	0	0	0
Доля затрат на информационно-коммуникационные технологии в ВРП	0	0	0	0,5	0,5
Итоговый критерий	0,43	0,14	0,14	0,36	0,36
<b>Организационно-правовое регулирование</b>					
Наличие стратегии внедрения инноваций	1	1	1	1	1
Наличие нормативно-правовой базы поддержки внедрения инноваций	1	1	1	1	1
Наличие краткосрочных планов поддержки внедрения инноваций в сельское хозяйство	0	0	0	0	0
Наличие региональных органов, регулирующих и контролирующих инновационную деятельность экономических субъектов	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Объем финансирования в развитие инновационного потенциала	0	0	0	0	0
Итоговый критерий	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Инновационная среда сельскохозяйственного предпринимательства</b>					
Доля рентабельных организаций	0,5	0	0	0,5	0,5
Отсутствие просроченных налоговых платежей на отчетную дату в общей сумме налоговых платежей	0	0	0	0	0
Сумма субсидий и компенсационных выплат товаропроизводителям	0,5	0	0	0	0
Размер оплаты труда работников	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Отсутствие задолженности по оплате труда	0	0,5	0,5	0	0
Итоговый критерий	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Результативность (достижение целей развития сельского хозяйства)</b>					
Доля хозяйствующих субъектов, внедривших (внедряющих) инновационные технологии	1	0	0	0,5	0,5
Доля товаров, произведенных по инновационным технологиям, в общем объеме продаж	1	0	0	0	0
Затраты хозяйствующих субъектов на внедрение новых технологий, исследования и разработки	1	0	0	0	0
Рентабельность с учетом господдержки	1	0	0	0	0
ВРП на душу населения	0,5	0	0,5	0	0
Итоговый критерий	0,9	0	0,1	0,1	0,1
Сводный экономический показатель степени инновационного развития сельского хозяйства Чувашской республики	0,51	0,29	0,31	0,35	0,35

Источник: составлено авторами на основе [3], данных Министерства сельского хозяйства Чувашской Республики, Чувашистата.

Table 3

**The procedure for calculating the summary economic indicator of the degree of innovative development of the regional agriculture of the Chuvash Republic for 2019–2023**

Indicator	Years				
	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Economic resources</b>					
The proportion of employees with higher education	0.5	0	0	0.5	0.5
The share of personnel involved in the implementation of innovations	0.5	0	0	0	0
Labor stock ratio	0.5	0	0	0.5	0.5
The shelf life of fixed assets	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

The coefficient of renewal of fixed assets	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
The share of investments in fixed assets in the total amount of the domestic regional product (GRP)	0.5	0	0	0	0
The share of information and communication technology costs in GRP	0	0	0	0.5	0.5
The final criterion	0.43	0.14	0.14	0.36	0.36
<b>Organizational and legal regulation</b>					
Availability of an innovation strategy	1	1	1	1	1
Availability of a regulatory framework to support the introduction of innovations	1	1	1	1	1
Availability of short-term plans to support the introduction of innovations in agriculture	0	0	0	0	0
The presence of regional bodies regulating and controlling the innovative activities of economic entities	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
The amount of financing for the development of innovative potential	0	0	0	0	0
The final criterion	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>Innovative environment of agricultural entrepreneurship</b>					
The share of profitable organizations	0.5	0	0	0.5	0.5
Absence of overdue tax payments as of the reporting date in the total amount of tax payments	0	0	0	0	0
The amount of subsidies and compensation payments to producers	0.5	0	0	0	0
The amount of remuneration for employees	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
No wage arrears	0	0.5	0.5	0	0
The final criterion	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>Effectiveness (achievement of agricultural development goals)</b>					
The share of business entities that have implemented (are implementing) innovative technologies	1	0	0	0.5	0.5
The share of goods produced using innovative technologies in total sales	1	0	0	0	0
The costs of economic entities for the introduction of new technologies, research and development	1	0	0	0	0
Profitability, taking into account state support	1	0	0	0	0
GRP per capita	0.5	0	0.5	0	0
The final criterion	0.9	0	0.1	0.1	0.1
Summary economic indicator of the degree of innovative development of agriculture in the Chuvash Republic	0.51	0.29	0.31	0.35	0.35

Source: compiled by the authors based on [3], data from the Ministry of Agriculture of the Chuvash Republic, Chuvashstat.

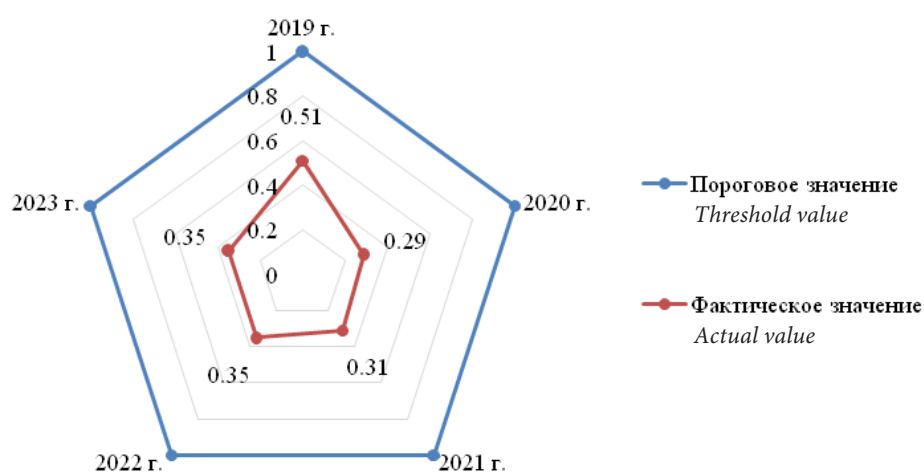


Рис. 5. Сводный показатель уровня инновационного потенциала сельского хозяйства Чувашской Республики за 2019–2023 гг.

Источник: составлено авторами на основе таблицы 3

Fig. 5. Summary indicator of the level of innovative potential of agriculture in the Chuvash Republic for 2019–2023

Source: compiled by the authors based on Table 3



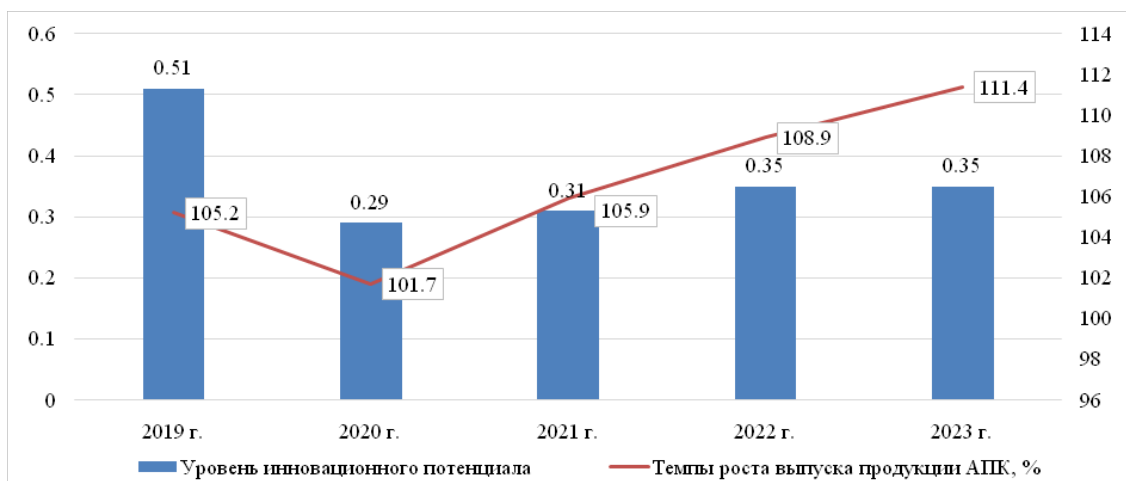


Рис. 6. Соотношение уровня инновационного потенциала сельского хозяйства Чувашской Республики и динамики роста продукции АПК Чувашской Республики за 2019–2023 гг.

Источник: составлено авторами на основе рис. 2, 5

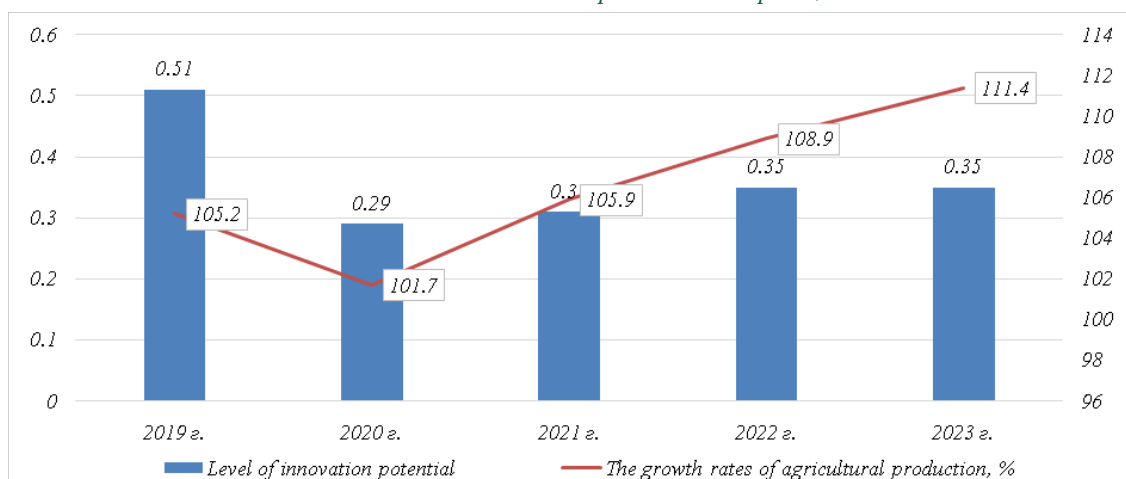


Fig. 6. Relationship between the level of innovation potential in agriculture of the Chuvash Republic and the dynamics of growth in agricultural production of the Chuvash Republic for 2019–2023

Source: compiled by the authors based on Figures 2, 5

### Библиографический список

1. Elame F., Lionbuy H., Benassi M. Technological and managerial innovations in agriculture to ensure food security in the face of climate change // In: Band S. A. (ed.) Strategic management of agriculture for climate change mitigation and adaptation. Springer, Than. DOI: 10.1007/978-3-031-32789-6\_12.
2. Бражниченко Д. В., Гайдук В. И., Гладкий С. В. Инвестиции в инновационную деятельность как фактор повышения конкурентоспособности предприятия // Московский экономический журнал. 2020. № 1. С. 292–301. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10049.
3. Бражниченко Д. В., Гайдук В. И., Глушенко О. С., Калитко С. А. Совершенствование механизмов управления инновационной деятельностью в АПК // Московский экономический журнал. 2019. № 9. С. 454–464.
4. Уколова Н. В., Монахов С. В., Шиханова Ю. А., Калашников И. Б., Милованов А.Н. Инновационная активность национальной экономики: вопросы теории и практики // Экономика и предпринимательство. 2019. № 1 (102). С. 111–116.
5. Голубев А. В. Что тормозит инновационное и технологическое развитие российского АПК // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В. П. Горячкина». 2019. № 6 (94). С. 46–52.
6. Терновых К. С., Куренная В.В., Агибало А.В. Развитие инноваций в сельском хозяйстве: тенденции, перспективы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (65). С. 96–103.
7. Тюпаков К. Э., Белова Л. А., Вертий М. В., Курносков В. С. Совершенствование инвестиционной политики в АПК как условие обеспечения экономической безопасности государства // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2019. № 11 (56). С. 104–112.

8. Худякова Е. В., Никаноров М. С., Степанцевич М. Н. К вопросу о методике оценки экономической эффективности внедрения цифровых инноваций в сельское хозяйство // Экономика сельского хозяйства России. 2023. № 2. С. 37–44. DOI: 10.32651/232-38.

9. Варфоломеева В. А., Архипова И. И. Инновационная деятельность в сельском хозяйстве: проблемы и пути их решения // Экономика и управление: проблемы, решения. 2022. Т. 4, № 8 (128). С. 18–23. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2022.08.04.003.

10. Минаева Н. Н. Использование инноваций в растениеводстве Республики Беларусь как направление повышения его устойчивости // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 4. С. 5–10.

11. Минаева Н. Н. Применение инноваций в животноводстве белорусскими аграрными организациями как направление повышения их устойчивости // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 28–32.

12. Taishykova Z., Tolysbayevab M., Zhumanazarovc K., Ibraimovac S., Mizambekovad Z. Management of innovation processes in agriculture // Band, Prospects for Global Development. 2024. Vol. 33. Article number 100566. DOI: 10.1016/j.wdp.2024.100566.

13. Pigford A.-A. E., Hickey G. M., Klerkx L. Beyond agricultural innovation systems? Exploring an agricultural innovation ecosystems approach for niche design and development in sustainability transitions // Agricultura Systems. 2018. Vol. 164. Pp. 116–121. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.04.007.

14. Богачев А. И. Инновационная деятельность в сельском хозяйстве России: современные тенденции и вызовы [Электронный ресурс] // Вестник НГИЭИ. 2019. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnaya-deyatelnost-v-selskom-hozyai-stve-rossii-sovremennyyetendentsii-i-vyzovy> (дата обращения: 01.04.2024).

15. Орлова Н. В., Серова Е. В., Николаев Д. В. [и др.] Инновационное развитие агропромышленного комплекса в России. Agriculture 4.0: доклад к XXI Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества ВШЭ. Москва: НИУ ВШЭ, 2020. 128 с.

16. Официальный сайт Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Чувашской Республике. URL: <https://21.rosstat.gov.ru/science> (дата обращения: 01.04.2024).

#### Об авторах:

**Татьяна Юрьевна Серебрякова**, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономики, Чебоксарский кооперативный институт (филиал) АНОО ВО Центросоюза РФ «Российский университет кооперации», Чебоксары, Россия; ORCID 0000-0003-3823-8447, AuthorID 7546-5423.

E-mail: [serebrtata@yandex.ru](mailto:serebrtata@yandex.ru)

**Евгений Владиславович Журавлев**, аспирант кафедры экономики, Чебоксарский кооперативный институт (филиал) АНОО ВО Центросоюза РФ «Российский университет кооперации», Чебоксары, Россия; ORCID 0009-0002-8886-5908, AuthorID 3934-4819. E-mail: [zhuravleveugeny@outlook.com](mailto:zhuravleveugeny@outlook.com)

#### References

1. Elame F., Lionbuy H., Benassi M. Technological and managerial innovations in agriculture to ensure food security in the face of climate change. In: Band S. A. (ed.) *Strategic management of agriculture for climate change mitigation and adaptation*. 2023. Springer, Than. DOI: 10.1007/978-3-031-32789-6\_12.

2. Brazhnichenko D. V., Gayduk V. I., Gladkiy S. V. Investments in innovative activity as a factor of increasing competitiveness of the enterprise. *Moscow Economic Journal*. 2020; 1: 292–301. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10049. (In Russ.)

3. Brazhnichenko D. V., Gaiduk V. I., Glushchenko O. S., Kalitko S.A. Improving the mechanisms of innovation management in the agro-industrial complex. *Moscow Economic Journal*. 2019; 9: 454–464. DOI: 10.24411/2413-046X-2020-10049 (In Russ.)

4. Ukolova N. V., Monakhov S. V., Shikhanova Yu. A., Kalashnikov I. B., Milovanov A. N. Innovative activity of the national economy: issues of theory and practice. *Economics and Entrepreneurship*. 2019; 1 (102): 111–116. (In Russ.)

5. Golubev A. V. What slows down the innovative and technological development of the Russian agro-industrial complex. *Vestnik of Moscow Goryachkin State Agroengineering University*. 2019; 6 (94): 46–52. (In Russ.)

6. Ternovykh K. S., Kurenayaya V. V., Agibalo A. V. Development of innovations in agriculture: trends, prospects. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2020; 2 (65): 96–103. (In Russ.)

7. Tyupakov K. E., Belova L. A., Vertiy M. V., Kurnosov V. S. Improvement of investment policy in agriculture as a condition for ensuring the economic security of the state. *Economics, Labor, Management in Agriculture*. 2019; 11 (56): 104–112. (In Russ.)

8. Khudyakova E. V., Nikanorov M. S., Stepansevich M. N. On the issue of the methodology for assessing the economic effectiveness of the introduction of digital innovations in agriculture. *Economics of Agriculture of Russia*. 2023; 2: 37–44. DOI: 10.32651/232-38. (In Russ.)
9. Varfolomeeva V. A., Arkhipova I. I. Innovative activity in agriculture: problems and solutions. *Economics and Management: Problems, Solutions*. 2022; 4 (8): 18–23. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2022.08.04.003. (In Russ.)
10. Minina N. N. The use of innovations in crop production of the Republic of Belarus as a way to increase its sustainability. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022; 4: 5–10. (In Russ.)
11. Minina N. N. The use of innovations in animal husbandry by Belarusian agricultural organizations as a way to increase their sustainability. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2022; 3: 28–32. (In Russ.)
12. Taishykova Z., Tolysbayevab M., Zhumanazarovc K., Ibraimovac S., Mizambekovad Z. Management of innovation processes in agriculture. *Band, Prospects for Global Development*. 2024; 33: 100566. DOI: 10.1016/j.wdp.2024.100566.
13. Pigford A.-A. E., Hickey G. M., Klerkx L. Beyond agricultural innovation systems? Exploring an agricultural innovation ecosystems approach for niche design and development in sustainability transitions. *Agricultural Systems*. 2018; 164: 116–121. DOI: 10.1016/j.agsy.2018.04.007.
14. Bogachev A. I. Innovative activity in agriculture of Russia: current trends and challenges. *Bulletin of the NGIEI* [Internet]. 2019 [cited 2024 Apr 01]; 5. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsionnaya-deyatelnost-v-selskom-hozyai-stve-rossii-sovremennyyetendentsii-i-vyzovy>. (In Russ.)
15. Orlova N. V., Serova E. V., Nikolaev D. V., et al. Innovative development of the agro-industrial complex in Russia. Agriculture 4.0: Report for the XXI April International Scientific Conference on Problems of Economic and Social Development of the Higher School of Economics. Moscow: National Research University Higher School of Economics, 2020. 128 p. (In Russ.)
16. The official website of the Territorial Body of the Federal State Statistics Service for the Chuvash Republic [Internet] [cited 2024 Apr 01]. Available from: <https://21.rosstat.gov.ru/science>. (In Russ.)

**Authors' information:**

**Tatyana Yu. Serebryakova**, doctor of economic sciences, professor, professor at the department of economics, Cheboksary Cooperative Institute (branch) of the Russian University of Cooperation, Cheboksary, Russia; ORCID 0000-0003-3823-8447, AuthorID 7546-5423. *E-mail: serebrtata@yandex.ru*

**Evgeniy V. Zhuravlev**, postgraduate of the department of economics, Cheboksary Cooperative Institute (branch) of the Russian University of Cooperation, Cheboksary, Russia; ORCID 0009-0002-8886-5908, AuthorID 3934-4819. *E-mail: zhuravleveugeny@outlook.com*

**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: 10.12.2024 г. Усл. печ. л. 21,9. Авт. л. 17,0.

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**



